

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SAN MARTIN  
COMISION NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
“Prof. Jorge A. Sabato”**

**Influencia del tamaño de probeta en los resultados de  
ensayos mecánicos y de fractura (\*)**

**por Ing. Federico Villanueva**

**Directores**

**Ing. Enrique Chomik**

**Ing. Darío Ciriani**

**(\*) Tesis para optar al título de Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales**

**República Argentina**

**2023**

# 1 AGRADECIMIENTOS

---

A mis directores Enrique Chomik y Darío Ciriani por su apoyo constante en la realización de la maestría y la posibilidad de seguir formándome en el campo de los materiales.

A Hugo Daniel Acosta por su ayuda en la fabricación de todo lo necesario para los ensayos, incluso asistiendo al taller en medio de la pandemia.

A Ramón Castillo Guerra, por su ayuda y sus consejos para la metalografía del material.

Al personal de la Gerencia de Materiales, a la División de Metalografía y la División de Microscopía Electrónica especialmente a Gonzalo Zbihlei y Ana Lucía Marzocca. A Dannisa Chalfoun del Departamento de Corrosión. A Guillermo Anteri de la División Hidrógeno en Materiales. A Claudio Ziobrowsky. A Andrés Pantarotto y Gastón Bocca, quienes me entregaron los más de tres mil litros de nitrógeno líquido necesarios para los ensayos. A la División Daño por Radiación, en especial a Luciano Attorresi y Fermin Ramos, por su ayuda en los ensayos de impacto Charpy.

A la División Fractura, en donde desde mi llegada a la CNEA siempre promovieron y ayudaron a mi capacitación.

A mis compañeros del taller de la División Fractura y Fundición, quienes siempre que necesité algo nunca dudaron en ayudarme.

Al personal docente y no docente del Instituto Sabato, los cuales, a pesar de la pandemia, ante cualquier consulta siempre estuvieron presentes.

A mis compañeros de maestría, quienes fueron fundamentales durante la pandemia.

A Cesar Belinco y Carlos Semino. Ellos me dieron las oportunidades para poder tomar los primeros pasos laboralmente en el mundo de los materiales y nunca hubiera llegado a donde estoy sin su ayuda.

Por último, a mi familia, siempre presente con su apoyo incondicional.

## 2 RESUMEN

---

La presente tesis se enmarca en el estudio constante de la División Fractura de la Gerencia de Materiales de la CNEA respecto de la caracterización de ensayos mecánicos en probetas pequeñas que den resultados comparables a los realizados con probetas estandarizadas. En programas de vigilancia de los recipientes de presión de reactores (RPR) y en nuevos estudios de materiales para fusión nuclear la reducción del tamaño de las muestras es mandatorio.

Para lograr este objetivo la tesis se centra en la realización un estudio comparativo con probetas de diferentes tamaños y geometrías en ensayos de tracción y fractura, esto último a través de la construcción de la Master Curve. Es así que se elaboró un programa donde se tomaron muestras de un cupón de un RPR y se fabricaron 20 probetas de tracción con 10 geometrías distintas para ensayar y analizar sus resultados a temperatura ambiente. Además, se realizaron 55 ensayos de tracción a altas y bajas temperaturas para caracterizar el material y obtener los datos necesarios para generar la Master Curve. Respecto de esto último, se ensayaron 22 probetas de Charpy para obtener, a través de la curva de transición dúctil frágil, una temperatura inicial de ensayo en fractura. Por último, para la construcción de 2 Master Curve con distintos tamaños y geometrías de probetas, se realizaron 12 ensayos de fractura a bajas temperaturas en probetas SE(B) de 0.65T de espesor y 25 en probetas PCCv.

Para la realización de estos ensayos, se diseñaron y fabricaron los dispositivos necesarios de acuerdo a la norma ASTM E8/E8M-16a para tracción y ASTM 1921-22 para fractura. Además, se crearon programas para la obtención de los parámetros requeridos para la preparación de las probetas y el análisis de las mismas posterior al ensayo. Asimismo, fue necesario calibrar y sistematizar la medición de las superficies de fractura de probetas de Charpy y SE(B) a través de un escáner.

Finalmente, se analizaron los parámetros más importantes de cada ensayo. En tracción las tensiones de fluencia, máxima y de rotura y las elongaciones uniforme y total fueron tenidos en cuenta y comparados con los observados en la bibliografía.

El mismo trabajo se realizó con la Master Curve, cuyo resultado principal es la  $T_0$ . Sin embargo, los ensayos permitieron realizar análisis complementarios relevantes que exigen un mayor estudio que queda pendiente para futuros trabajos.

Palabras clave: probeta pequeña, tracción, elongación, fluencia, master curve, fractura, zona de transición

### 3 ABSTRACT

---

The present work is part of the constant study of the Fracture Division of the Materials Management of the CNEA regarding the characterization of mechanical tests in small specimens that give comparable results to those performed with standardized specimens. In reactor pressure vessel (RPV) surveillance programs and in new studies of materials for nuclear fusion sample size reduction is mandatory.

To achieve this objective, the thesis focuses on conducting a comparative study with specimens of different sizes and geometries in tensile and fracture tests, the latter one through the construction of the Master Curve. Thus, a program was developed where samples were taken from a coupon of an RPV and 20 tensile specimens with 10 different geometries were manufactured to test and analyze their results at room temperature. In addition, 55 high and low temperature tensile tests were performed to characterize the material and obtain the data needed to generate the Master Curve. For the latter, 22 Charpy test specimens were tested to obtain, through the ductile to fragile transition curve, an initial fracture test temperature. Finally, for the construction of 2 Master Curve with different specimen sizes and geometries, 12 fracture tests at low temperatures were carried out on 0.65T thick SE(B) specimens and 25 PCCv specimens.

For these tests, the necessary devices were designed and manufactured according to ASTM E8/E8M-16a for tensile test and ASTM 1921-22 for fracture test. In addition, software programs were created to obtain the parameters required for the preparation of the test specimens and their analysis after the test. It was also necessary to calibrate and systematize the measurement of the fracture surfaces of Charpy and SE(B) specimens through a scanner.

Finally, the most important parameters of each test were analyzed. In tensile test, yield, maximum and fracture stresses and uniform and total elongations were taken into account and compared with those observed in the literature.

The same work was done with the Master Curve, whose main parameter is  $T_0$ . However, these tests allowed relevant complementary analyses that require further study that remains pending for future work.

Keywords: small specimen, tensile test, elongation, yield, master curve, fracture, transition zone

## 4 OBJETIVO

---

El objetivo de la presente tesis es la elaboración y ejecución de un plan de ensayos de tracción, y de fractura para Master Curve en probetas de distintas geometrías y tamaños. El fin del programa de ensayos es la comprobación de que la variabilidad planteada no modifica los valores de las propiedades mecánicas obtenidas del material, es decir, cambiar el tamaño o geometría no implica un cambio en los resultados de los ensayos.

La validez de este procedimiento tiene como consecuencia que se puedan utilizar probetas pequeñas y de distintas geometrías a las estándar, las cuales son imprescindibles en todas las aplicaciones donde haya una fuerte restricción en la cantidad de material, como programas de vigilancia de RPR de reactores nucleares o en la caracterización de materiales para fusión.

# ÍNDICE

1	Agradecimientos.....	iii
2	Resumen.....	iv
3	Abstract.....	vi
4	Objetivo.....	viii
5	Índice de figuras.....	xii
6	Índice de Tablas.....	xv
7	Abreviaturas.....	xvi
8	Fundamentos teóricos.....	1
8.1	Daño por radiación.....	1
8.1.1	Reactores de fisión y RPR.....	1
8.1.2	Reactores de fusión.....	3
8.1.3	Programa de vigilancia.....	3
8.2	Tracción.....	5
8.2.1	Máquina de ensayo e instrumentos de medición.....	6
8.2.2	Probetas.....	7
8.2.3	Procedimiento de ensayo.....	7
8.2.4	Análisis y puntos característicos.....	8
8.3	Fractura y Master Curve.....	10
8.3.1	Fractura.....	10
8.3.2	Master Curve.....	25
9	Procedimiento.....	31
9.1	Elección y análisis del material.....	31
9.1.1	Seccionamiento y fabricación de probetas.....	32
9.2	Ensayos de tracción.....	38
9.3	Ensayos complementarios.....	42
9.3.1	Ensayos de tracción para la obtención de la curva de propiedades mecánicas en función de la temperatura.....	42
9.3.2	Ensayos de tracción para la obtención de la curva de propiedades mecánicas en función de la temperatura para la Master Curve.....	44
9.3.3	Ensayos de Charpy.....	44
9.3.4	Medición del módulo elástico.....	47
9.4	Master Curve.....	49
9.4.1	Probetas 0.65T.....	49
9.4.2	Probetas PCCv.....	51

10	Cálculo de datos .....	53
10.1	Tracción .....	53
10.2	Tracción a altas y bajas temperaturas.....	55
10.3	Charpy y tracción para Master Curve.....	59
10.4	Master Curve .....	62
10.4.1	Probetas 0.65T.....	62
10.4.2	Probetas PCCv .....	65
11	Análisis de resultados .....	68
11.1	Tracción .....	68
11.1.1	Tensión de fluencia y tensión máxima .....	68
11.1.2	Estricción .....	72
11.1.3	Elongación .....	74
11.1.4	Fluencia discontinua.....	76
11.2	Tracción A diferentes Temperaturas.....	79
11.3	Master Curve .....	80
11.3.1	Diferencias entre C(T) y SE(B).....	80
11.3.2	Correcciones y limitantes por tamaño .....	80
11.3.3	Correcciones por el no uso del clip gage .....	86
11.3.4	Observaciones particulares .....	88
12	Conclusiones.....	90
12.1	Tracción .....	90
12.2	Master Curve .....	90
13	Trabajos a futuro .....	92
13.1	Tracción .....	92
13.2	Master Curve .....	92
14	Apéndice I.....	94
14.1	Tracción .....	94
14.2	Fractura .....	97
15	Apéndice II.....	98
16	Apéndice III.....	101
17	Apéndice IV.....	121
18	Apéndice V.....	157
19	Apéndice VI.....	176
20	Apéndice VII.....	212
21	Apéndice VIII.....	287

22	Apéndice IX.....	299
22.1	Cálculo del módulo elástico a partir de las velocidades del material .....	299
22.2	Cálculo del módulo elástico a partir de los ensayos de tracción .....	300
23	Apéndice X.....	302
24	Apéndice XI – Software .....	306
24.1	Cálculo de dimensiones.....	306
24.2	Cálculo de Fatiga .....	307
24.2.1	Requerimientos de la norma.....	308
24.2.2	Solicitud de datos del programa.....	308
24.2.3	Ajustes y presentación de datos .....	309
24.3	Compliance y análisis del gráfico de ensayo .....	310
24.3.1	Cálculo de largo de fisura .....	311
24.3.2	Cálculo de área, carga máxima y largo de fisura en el ensayo.....	316
24.4	Cálculo de <b>K<sub>JC</sub></b> y Master Curve.....	318
24.4.1	MC 1 – Carga de datos.....	318
24.4.2	MC 2 – Cálculo de <b>J<sub>C</sub></b> , <b>K<sub>JC</sub></b> y <b>K<sub>JClimit</sub></b> .....	320
24.4.3	MC 3 – Chequeo con <b>K<sub>JClimit</sub></b> y normalización a <b>1T</b> .....	321
24.4.4	MC 4 – Cálculo de <b>T<sub>0</sub></b> .....	322
24.4.5	MC 5 y 6 – Criterio SINTAP y gráfico.....	323
25	Apéndice XII.....	324
26	Apéndice XIII.....	328
27	Apéndice XIV .....	330
28	Apéndice XV .....	332
28.1	Fundamentos.....	332
28.2	Resultados .....	334
29	Apéndice XVI .....	336
30	Referencias .....	354

## 5 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de circuito de funcionamiento básico una central PHWR con RPR.....	2
Figura 2 - Grafico del ensayo de tracción de la probeta T04.....	6
Figura 3 - Probetas de tracción. Arriba: rectangular. Abajo: redonda. Fig. 1 y 8 de [12].....	7
Figura 4 - Curva ingenieril con los puntos característicos.....	9
Figura 5 - Gráfico de tensión deformación medida a través de un extensómetro.....	10
Figura 6 - Agujero elíptico en una placa plana.....	12
Figura 7 - Placa de grandes dimensiones con una fisura pasantes de tamaño $2a$ ( $B \gg 2a$ ).....	12
Figura 8 - Modos de carga en una fisura.....	15
Figura 9 - Estado de tensiones cerca de la punta de una fisura en modo I.....	16
Figura 10 - Estimación de primer y segundo orden de la zona plástica.....	17
Figura 11 - Forma de la zona plástica en Modo I.....	18
Figura 12 - Zona plástica a lo ancho de la fisura.....	20
Figura 13 - Tenacidad en función del espesor.....	20
Figura 14 - La zona de transición dúctil frágil en aceros ferríticos.....	23
Figura 15 - Relación entre la resistencia a la fractura y la distancia de la punta de la fisura a los iniciadores de clivaje.....	24
Figura 16 - Esquema de la propagación de una fisura en la zona de transición dúctil-frágil.....	25
Figura 17 - Esquema de proceso de fabricación del RPR y obtención de muestras [24].....	31
Figura 18 - Tratamientos térmicos del material utilizado [23].....	32
Figura 19 - Bloque bruto.....	32
Figura 20 - Esquema general de ubicación de probetas en el bloque.....	33
Figura 21 - Ubicación de las probetas de tracción a temperatura ambiente.....	34
Figura 22 - Macrografía en los bloques del JFL.....	37
Figura 23 - Croquis de la extracción de probetas PCCv a partir de la 0.65T.....	38
Figura 24 - Durómetro Galileo utilizado para los ensayos de dureza.....	39
Figura 25 - Máquina utilizada para realizar los ensayos.....	40
Figura 26 - Dispositivos construido para ensayar probetas tipo REVE.....	40
Figura 27 - Ensayo de tracción en la probeta 18.....	41
Figura 28 - Probetas de comparativa en tracción ensayadas a temperatura ambiente.....	41
Figura 29 - Cámara ambiental y dispositivo para ensayos a altas y bajas temperaturas.....	43
Figura 30 - Ensayo a bajas temperaturas con nitrógeno líquido.....	43
Figura 31 - Probetas de tracción TF ensayadas.....	43
Figura 32 - Probetas de tracción rotas TFE.....	44
Figura 33 - Dispositivos e instrumentos para realizar los ensayos de Charpy.....	45
Figura 34 - Gráfico de calibración de sensores térmicos.....	46
Figura 35 - Dispositivo para medición de entalla lateral.....	47
Figura 36 - Probetas ensayadas.....	47
Figura 37 - Equipo de ultrasonido y palpador transversal.....	48
Figura 38 - Probetas 0.65T y dispositivos luego de realizado un ensayo.....	49
Figura 39 - Probetas 0.65T ensayadas.....	50
Figura 40 - Probeta PCCv montada sobre los dispositivos.....	51
Figura 41 - Probetas PCCv ensayadas.....	52
Figura 42 - Gráfico de propiedades mecánicas en función de la temperatura.....	58

Figura 43 - Gráfico de propiedades mecánicas en función de la temperatura para Master Curve .....	61
Figura 44 - Curva de transición dúctil frágil para valores de energía.....	62
Figura 45 - Gráfico de Master Curve de SE(B) 0.65T con valores normalizados a 1T.....	65
Figura 46 - Gráfico de Master Curve de PCCv con valores normalizados a 1T.....	67
Figura 47 - Gráfico de Master Curve de PCCv y SE(B) 0.65T con valores normalizados a 1T.....	67
Figura 48 – Promedio de tensiones de fluencia separadas por geometría y tamaño.....	69
Figura 49 – Promedio de tensiones máximas separadas por geometría y tamaño .....	69
Figura 50 - Promedio de tensiones de fractura separadas por geometría y tamaño. Los cuadrados rojos indican las probetas que no cumplen el criterio estadístico de igualdad .....	70
Figura 51 – Estadístico t por cada tipo de probeta .....	71
Figura 52 - Tensión de fluencia comparativa entre distintas geometrías de probeta .....	72
Figura 53 - Tensión máximas comparativas entre distintas geometrías de probeta .....	72
Figura 54 - Esquema de fractura de probetas rectangulares con distintas proporciones W/t [49] .....	72
Figura 55 - Reducción de área según tamaño de probeta .....	73
Figura 56 - Reducción de área según geometría de probeta .....	73
Figura 57 - Imágenes de fractura de probetas rectangulares [50].....	73
Figura 58 - Elongación plástica uniforme y posterior al cuello obtenidas a partir del LVDT .....	75
Figura 59 - Elongación plástica a rotura medida sobre la probeta y por LVDT .....	76
Figura 60 - Curvas de deformación plástica de probetas grandes, medianas y pequeñas .....	77
Figura 61 - Gráfico de tensiones de fluencia máxima, mínima o 0.2 según corresponda el caso .....	78
Figura 62 - Curva de ensayo de tracción observada (azul) y curva real (roja) [58] .....	78
Figura 63 - Curvas de ensayo de probetas tipo REVE. De izq. a der.: -135°C, 24°C, 350°C. ....	79
Figura 64 - Micrografías del plano L del bloque JFL. Se observa una matriz ferrítica abajo a la derecha y segregaciones que generan martensita abajo a la izquierda. ....	81
Figura 65 – Master Curve donde se ven representadas las $K_{jclimite}$ de cada tipo de probeta .....	82
Figura 66 - Gráfico con las curvas de $K_{jclim}$ con $M=200$ .....	83
Figura 67 - Fractografía SEM de la probeta 0.65T F16 ensayada a -88°C. ....	84
Figura 68 - Fractografía SEM de la probeta PCCv 23D ensayada a -120°C. ....	84
Figura 69 - Frente de fisura en probeta 0.65T F16.....	85
Figura 70 - Probeta 23D donde se observa el crack arrest. ....	88
Figura 71 - Probeta 23D. Medición del ligamento remanente luego del crack arrest.....	88
Figura 72 - De izq. a der., probetas de tracción redondas: grandes, medianas y pequeñas .....	94
Figura 73 - De izq. a der., probetas de tracción rectangulares: grandes, medianas y pequeñas.....	95
Figura 74 - De izq. a der., probetas de tracción cuadradas: grandes, medianas y pequeñas .....	96
Figura 75 - Probeta tipo REVE .....	97
Figura 76 - Probeta 0.65T .....	97
Figura 77 - Probeta PCCv o Charpy.....	97
Figura 78 - Recta de regresión a partir de los datos de la probeta T01 .....	300
Figura 79 - Gráfico de tangente hiperbólica con parámetros característicos.....	302
Figura 80 - Curva de transición de Energía.....	304
Figura 81 - Curva de transición de expansión lateral .....	305
Figura 82 - Curva de transición de porcentaje de área dúctil .....	305
Figura 83 - Segunda pestaña del programa "Calculo de dimensiones" .....	307
Figura 84 - Programa de fatiga: 1ra ventana.....	309
Figura 85 - Programa de fatiga: 2da ventana .....	310
Figura 86 - Programa de cálculo de largo de fisura: 1ra ventana.....	312
Figura 87 - Programa de cálculo de largo de fisura: 2da ventana.....	313

Figura 88 - Programa de cálculo de largo de fisura: 3ra ventana.....	313
Figura 89 - Programa de cálculo de largo de fisura: 4ta ventana.....	314
Figura 90 - Programa de cálculo de largo de fisura: 5ta ventana.....	314
Figura 91 - Programa de cálculo de área, carga máxima y largo de fisura: 3ra ventana .....	317
Figura 92 - Programa de cálculo de área, carga máxima y largo de fisura: 4ta ventana .....	318
Figura 93 - Programa de cálculo de área, carga máxima y largo de fisura: 5ta y 6ta ventana .....	318
Figura 94 - Ventana del programa MC1 .....	319
Figura 95 - Ventana del programa MC2 .....	320
Figura 96 - Ventana del programa MC3 .....	321
Figura 97 - Ventana del programa MC4 .....	322
Figura 98 - Programa de análisis de tracción: 1ra ventana .....	324
Figura 99 - Programa de análisis de tracción: 2da ventana .....	325
Figura 100 - Programa de análisis de tracción: 3ra ventana .....	327
Figura 101 - Medición del bloque patrón de 16,50 mm.....	328
Figura 102 - Escaneo de un bloque patrón de 4,50 mm .....	328
Figura 103 - Dispositivo para sujetar la probeta PCCv durante el escaneo .....	329
Figura 104 - Escaneo de la superficie de fractura de una probeta 0.65T.....	329
Figura 105 - Propagación de una fisura inestable .....	330
Figura 106 - Propagación inestable y arresto luego de la baja de la fuerza impulsora.....	331
Figura 107 - Gráficos con los criterios de aceptación de la t-student.....	333
Figura 108 - Estadístico t de la tensión de fluencia para cada tipo de probeta .....	334
Figura 109 - Estadístico t de la tensión de fractura para cada tipo de probeta.....	335
Figura 110 - Estadístico t de la tensión de máxima para cada tipo de probeta .....	335

## 6 ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 - Composición del JFL [23] .....	31
Tabla 2 - Listado de probetas fabricadas a partir del bloque JFL .....	35
Tabla 3 - Tensiones de los ensayos de tracción comparativos a temperatura ambiente.....	54
Tabla 4 - Deformaciones de las probetas de tracción comparativos a temperatura ambiente .....	55
Tabla 5 - Tensiones de fluencia y máximas de probetas de tracción ensayadas a diferentes temperaturas.....	56
Tabla 6 - Deformaciones de las probetas de tracción a diferentes temperaturas.....	57
Tabla 7 - Tensiones de probetas de tracción para la Master Curve.....	60
Tabla 8 - Resultados de ensayos de 0.65T con diferentes correcciones.....	64
Tabla 9 - Resultados de ensayos de PCCv con diferentes correcciones.....	66
Tabla 10 – $T_0$ obtenidas a través de diferentes correcciones y su desviación respecto de la corrección por rigidez e indentación.....	86
Tabla 11 – $T_0$ calculadas en las distintas secciones .....	88
Tabla 12 – Datos tomados del material de estudio para el cálculo de E .....	299
Tabla 13 – Módulos elásticos calculados .....	301
Tabla 14 – Parámetros obtenidos de la curva de transición dúctil-frágil.....	304
Tabla 15 - Datos de $\sigma_{0.2}$ para cálculo por t-student .....	333
Tabla 16 - Datos de $\sigma_f$ para cálculo por t-student.....	334

## 7 ABREVIATURAS

---

$\epsilon_T$	Elongación total porcentual
$\epsilon_{TG}$	Elongación total porcentual a rotura medida en el gráfico
$\epsilon_{TM}$	Elongación total porcentual a rotura medida sobre marcas en la probeta
$\epsilon_U$	Elongación uniforme plástica porcentual
$\sigma_{0.2}$	Tensión de fluencia 0,2%
$\sigma_{fr}$	Tensión de fractura
$\sigma_{LYS}$	Tensión de fluencia inferior
$\sigma_{UTS}$	Tensión máxima
$\sigma_{UYS}$	Tensión de fluencia superior
$J_C$	Integral J total
$J_E$	Integral J elástica
$J_P$	Integral J plástica
$K_{IC}$	K crítico elástico en modo I
$K_{JC}$	K crítico elastoplástico en modo I
$T_0$	Temperatura de referencia
BOF-RH	Basic Oxygen Furnace – Rheinstahl Heraeus
CMOD	Crack Mouth Opening Displacement (Desplazamiento de la abertura de la boca de la fisura)
DBTT	Ductile to brittle transition temperature (temperatura de transición dúctil-frágil)
$E$	Módulo elástico
EA	Energy Absorbed (Energía absorbida por impacto)
LE	Lateral Expansion (Expansión lateral)
LLD	Load Line Displacement (Desplazamiento de la línea de aplicación de carga)
LVDT	Linear variable differential transformer
LYP	Lower Yield Point (Punto de fluencia inferior)

MCD	Machine Crosshead Displacement (Desplazamiento del cabeza de la máquina)
MFEL	Mecánica de fractura lineal elástica
MFEP	Mecánica de fractura elasto-plástica
PHWR	Pressurized Heavy Water Reactor (Reactor de Agua Pesada presurizado)
PWR	Pressurized Water Reactor (Reactor de Agua Liviana presurizado)
RPR	Recipiente de Presión del Reactor
RT <sub>NDT</sub>	Reference temperature for nil ductility transition
SE(B)	Single Edge Bar (Probeta de flexión en 3 puntos)
SFA	Shear Fracture Area (Porcentaje de área dúctil)
USE	Upper Shelf Energy (Energía del umbral superior)
UYP	Upper Yield Point (Punto de fluencia superior)
$\nu$	Módulo de Poisson
Z	Estricción porcentual

## 8 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

---

### 8.1 DAÑO POR RADIACIÓN

Casi todos los materiales metálicos están hechos de átomos que se ordenan en granos de redes cristalinas. Estas redes poseen defectos puntuales, lineales o volumétricas de distinto tipo las cuales modifican las propiedades mecánicas del material.

Cuando un metal es sometido a una fuente de radiación de alta energía, especialmente neutrones, los átomos son golpeados y desplazados aleatoriamente de su posición original en la red. Este daño acumulado genera modificaciones en las propiedades mecánicas, las cuales causan, en la gran mayoría de las veces, una fragilización del material. Este daño depende de muchos factores, como intensidad de la radiación, energía de la partícula, temperatura del material, entre otros.

Los casos en donde se producen estas condiciones de alta intensidad de radiación neutrónica que afectan al material son muy pocos. A continuación, se presentan dos ejemplos [1].

#### 8.1.1 Reactores de fisión y RPR

El caso más conocido es el reactor de fisión nuclear. El funcionamiento de una central nuclear es básicamente el mismo que una central térmica. La diferencia con respecto de una central térmica de carbón, gas o fuel-oil es que el calor es originado a través de la fisión de átomos, los cuales son, generalmente,  $U_{235}$ . Existen varios diseños de centrales nucleares cuyo objetivo es el aprovechamiento de ese calor generado para producir energía eléctrica. Sin embargo, los ensayos de la tesis se realizaron en un material típico de reactores que poseen recipientes de presión (RPR), como son los Reactores de Agua Liviana Presurizado (PWR) o también los Reactores de Agua Pesada Presurizado (PHWR) tipo Atucha.

En Argentina, los reactores Atucha I y Atucha II son del tipo PHWR con recipiente de presión. En la Figura 1 se observa el caso de una central nuclear de este tipo. En la misma, figuran 2 circuitos. Uno de agua que pasa por el reactor (refrigerante

primario) y otro de agua y vapor (tubería de vapor) que pasa por la turbina del grupo generador (circuito secundario).

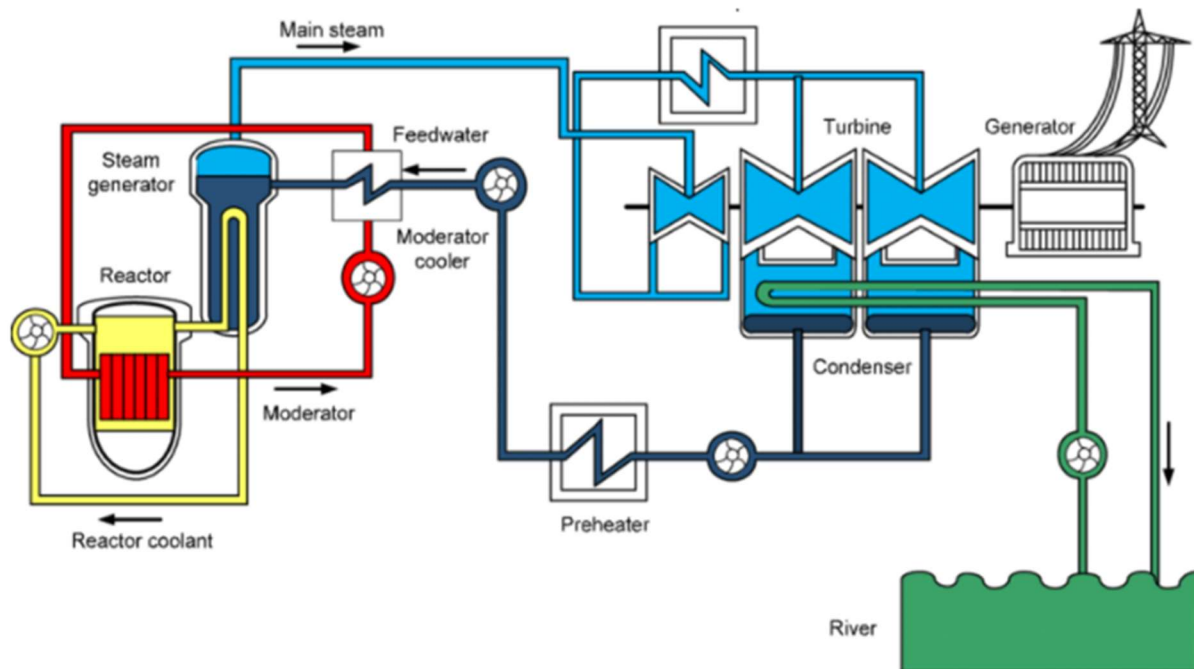


Figura 1 - Esquema de circuito de funcionamiento básico una central PHWR con RPR

El funcionamiento básico es el siguiente:

- El agua a alta presión pasa por el núcleo del reactor y se calienta.
- La misma se mantiene en estado líquido debido a las altas presiones.
- El agua a alta temperatura ingresa a los generadores de vapor, donde intercambia calor con el agua del circuito secundario (tubería de vapor)
- El agua del circuito secundario se transforma en vapor y entra a la turbina
- El vapor restante sale de la turbina, se condensa a través de un intercambiador de calor con agua de enfriamiento
- Luego es arrastrada por la bomba y vuelve a ingresar al generador de vapor

En este ciclo, la integridad del RPR es la más crítica debido a que soporta la presión del circuito primario, recibe altas dosis de radiación del núcleo, es la primera barrera de contención en caso de falla del elemento combustible y es un elemento no redundante del sistema. Por otro lado, el cambio del RPR no es viable económicamente y en caso de que este no ofrezca la seguridad necesaria de operación la planta debe ser dada de baja. Debido a esto, se presta especial atención

a la fabricación del RPR y se realiza un exhaustivo control de la degradación de las propiedades con un programa de vigilancia [2].

### 8.1.2 Reactores de fusión

Después de muchas décadas de investigación, comienza la etapa de construcción de un reactor de fusión nuclear a través del proyecto ITER. Este reactor es una iniciativa internacional donde participan la Unión Europea más 6 países extracomunitarios y contempla la construcción de un reactor de fusión que permita por primera vez confinar establemente plasma en condiciones de generar fusión de deuterio con tritio. Se busca generar un  $Q = 10$ , es decir, producir 10 veces más energía calórica que la introducida para el comienzo de la operación. Cabe destacar que el proyecto busca sólo la generación de energía térmica, no la conversión de la misma en electricidad [3].

A diferencia de los sistemas convencionales de producción de energía, la fusión nuclear utiliza una máquina llamada tokamak, la cual está diseñada para recolectar energía como calor absorbido en las paredes. Esto implica que los materiales que componen el reactor deben soportar fuerzas magnéticas (que contienen el plasma), tensiones termomecánicas y también grandes radiaciones neutrónicas de alta energía. Debido a esto, también se debe realizar un seguimiento de los cambios de propiedades en estos componentes. [4]

### 8.1.3 Programa de vigilancia

Los cambios en las propiedades de los materiales de los RPR debido a la radiación neutrónica son monitoreados mediante programas de vigilancia. Los mismos implican la fabricación y colocación de cápsulas dentro del reactor que contienen probetas de cupones representativos de las zonas sensibles del RPR. Pueden ser, por ejemplo, de los materiales base de los anillos y la soldadura. Toda central nuclear PWR tiene un programa de vigilancia y los resultados de los ensayos son utilizados para analizar postulados de accidentes o condiciones de transición en la operación. Las normas que se suelen utilizar son las ASTM, pero también las hay europeas [5].

El contenido de las cápsulas fue variando en el tiempo, debido a la continua búsqueda de realizar ensayos más representativos del material manteniendo un volumen pequeño. En la actualidad, la norma ASTM E185-16 [6] recomienda un mínimo de 15 probetas Charpy, 3 probetas de tracción y 8 de fractura para cada material base o soldadura. También la norma indica orientaciones y espesores de los cuales se extraen las probetas, en donde se tiene en cuenta fisuras postuladas y orientaciones de las mismas. A partir de estos ensayos, se puede realizar una comparativa de propiedades respecto del material sin irradiar. Uno de los parámetros más importantes es la  $RT_{NDT}$  (Reference temperature for nil ductility transition).

La  $RT_{NDT}$  es una temperatura característica que se obtiene de la realización de 2 series de ensayos: Drop Weight<sup>1</sup> y Charpy [7]. La  $RT_{NDT}$  es la mayor temperatura entre la  $T_{NDT}$  obtenida en ensayos de Drop Weight y  $T_{CV} - 33^{\circ}\text{C}$ , siendo  $T_{CV}$  la mayor temperatura entre  $T_{68J}$  y  $T_{0,9mm}$ , ambas obtenidas a través de la curva de transición dúctil frágil con ensayos de Charpy [8].

La  $RT_{NDT}$  es una temperatura de suma importancia, ya que se utiliza como una temperatura índice para la normalización de la resistencia a la fractura. De esta manera, conociendo la  $RT_{NDT}$  del material, se utiliza la ecuación (b) del código ASME Section XI Division 1 – A-4200 [9] y se obtiene la resistencia a la fractura del material ( $K_{Ic}$ ) en función de la temperatura:

$$K_{Ic} = 36,5 + 22,783 \exp[0,036(T - RT_{NDT})] \quad (8-1)$$

Esta curva de  $K_{Ic}$  experimenta un corrimiento hacia la zona de mayores temperaturas debido al daño por radiación neutrónica, y se debe monitorear este corrimiento mediante los programas de vigilancia.

Volviendo a la obtención de la  $RT_{NDT}$ , se asume que un corrimiento de la  $T_{41J}$  en la curva de transición obtenida mediante ensayos de Charpy es la misma que el desplazamiento en la  $RT_{NDT}$ . Esto da como resultado la posibilidad de realizar una comparativa entre la  $T_{41}$  antes y después de la irradiación y obtener la nueva curva de resistencia a la fractura.

---

<sup>1</sup> Para más información, ver punto 3.3.1.3 en referencia [6].

Sin embargo, en la continua búsqueda para disminuir el volumen de material y obtener resultados más precisos y menos conservativos, en recientes años se comenzó a utilizar la Master Curve como método de obtención de una temperatura índice de normalización alternativa de la curva de ASME. A partir de la Master Curve se obtiene una temperatura denominada  $T_0$ , la cual se ingresa en la ecuación (c) de la sección mencionada del código ASME cuya ecuación es:

$$RT_{NDT} = RT_{T_0} = T_0 + 19,4^{\circ}C \quad (8-2)$$

Este método requiere de un promedio de 8 probetas de fractura de tamaño de Charpy, lo cual es una disminución significativa respecto de las 15 necesarias para la obtención de la curva de transición dúctil frágil a través de ensayos de impacto.

## 8.2 TRACCIÓN

La determinación de las propiedades de resistencia y deformación de un material suelen ser obtenidas a través de un ensayo de tracción. Este es un ensayo básico en los laboratorios de caracterización de materiales. El mismo consiste en ejercer un desplazamiento axial sobre una probeta y registrar la fuerza en función del desplazamiento. (Figura 2). Las normas que estandarizan los parámetros de ensayo son IRAM/IAS U 500-102 [10], ISO 6892-1 [11] o ASTM E8/E8M [12] entre otras.

Si bien es un ensayo simple y muy antiguo, existen parámetros y consideraciones técnicas importantes a la hora de su realización. La velocidad, la alineación, la geometría de la probeta, la terminación superficial y tolerancia dimensional, etc, tienen una influencia importante y por lo tanto sus valores se encuentran estandarizados. A continuación, se señalan algunos principios que se tuvieron en cuenta a la hora de desarrollar la presente tesis.

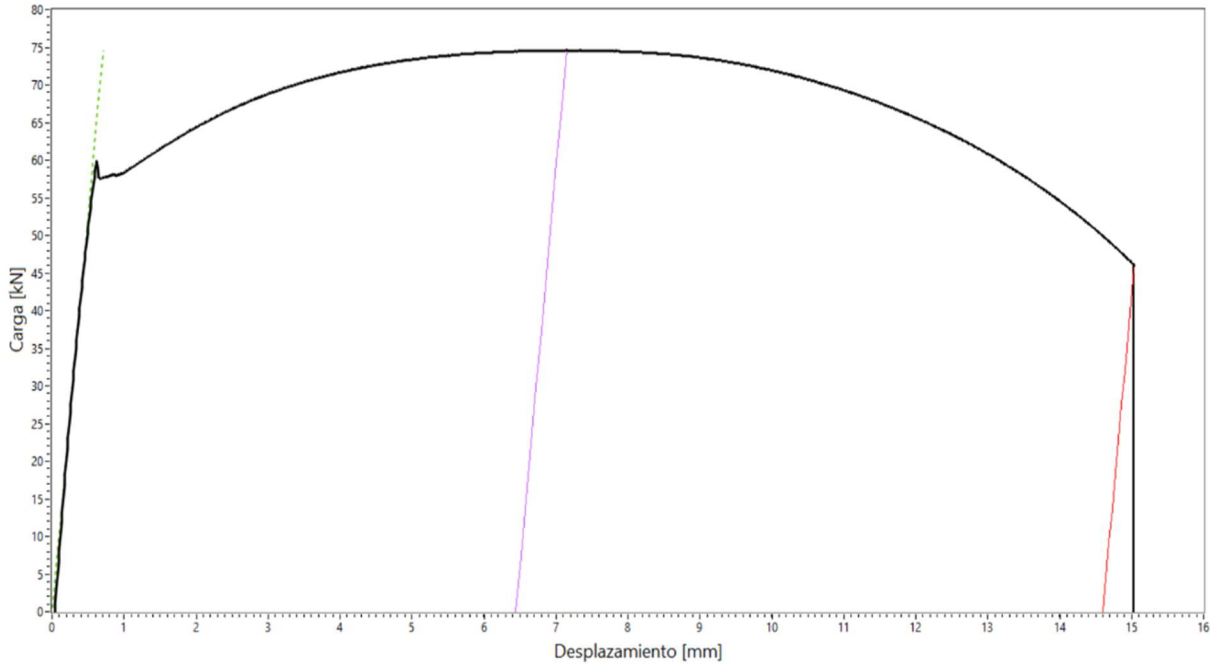


Figura 2 - Grafico del ensayo de tracción de la probeta T04

### 8.2.1 Máquina de ensayo e instrumentos de medición

La máquina a utilizar y los agarres de la probeta deben estar alineados y centrados para que la fuerza ejercida sobre la probeta sea axial. La precisión en la alineación depende de los datos buscados a partir del ensayo, como se verá más adelante. Se debe tener en cuenta la rigidez de la máquina a la hora del cálculo de datos de deformación a partir de la medición del desplazamiento de cabezales, ya que es un factor que incluye mucho en los resultados, especialmente en ensayos que se realizaron para la presente tesis.

Los instrumentos de medición deben estar calibrados y verificados de acuerdo a lo indicado por la norma. Existen algunos materiales que al presentar fluencia discontinua no requieren extensómetro para el cálculo de la tensión de fluencia. En caso contrario, se debe utilizar un extensómetro que tendrá una extensión que dependerá del tamaño de la probeta. Medir con extensómetros otorga una precisión mucho mayor a la hora de realizar cálculos de deformación, ya que se colocan directamente sobre la zona calibrada de la probeta y evitan errores de rigidez de la máquina o deformaciones propias de la probeta.

### 8.2.2 Probetas

Existen muchas propiedades que se conocen a partir de los ensayos de tracción que varían dependiendo del tipo de probeta a utilizada. Es por lo que, a la hora de realizar un ensayo, se debe especificar tipo de probeta y tamaño en el informe. Las normas IRAM e ISO de tracción, utilizan probetas que tienen una proporción de ancho (W) o diámetro (D) respecto del largo (G) distinta que otras probetas de, por ejemplo, la norma ASTM de tracción (Figura 3).

En la presente tesis, no sólo se compararon probetas estandarizadas dentro de la norma ASTM E8/E8M-16a [12], sino también otras geometrías y tamaños fuera de la misma. En todos los casos, como se mencionó antes, la fuerza ejercida en la probeta debe ser axial. Esta exigencia tiene como consecuencia que todas las probetas deben tener un radio de empalme entre la zona de agarre y la zona calibrada para evitar concentradores de tensión. También la zona calibrada (A en Figura 3) debe ser más larga que la longitud del extensómetro o del  $L_0$  para reducir el efecto de borde.

Estas consideraciones serán más profundamente analizadas en la sección 11.1.

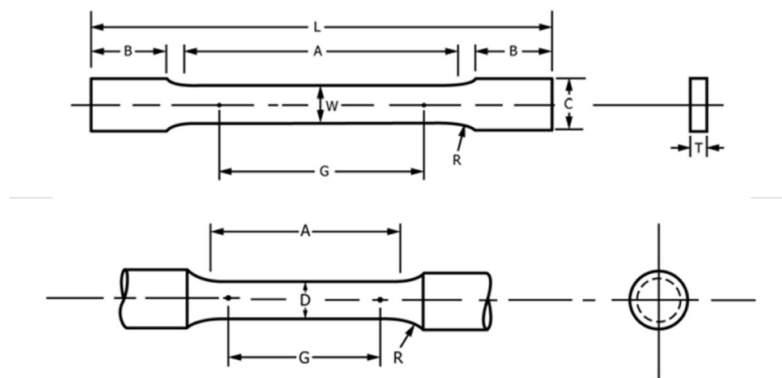


Figura 3 - Probetas de tracción. Arriba: rectangular. Abajo: redonda. Fig. 1 y 8 de [12]

### 8.2.3 Procedimiento de ensayo

Si bien el concepto del ensayo es simple, se deben tener en cuenta algunas consideraciones técnicas y parámetros a definir. Dependiendo de la máquina a utilizar, se debe dejar calentando la electrónica para que se establezca la señal, ya que se presenta una deriva del cero desde el encendido de la misma, el cual dependerá del tipo de electrónica e instrumentación utilizada.

Se debe marcar y medir sobre la zona calibrada de la probeta el  $L_0$ , el cual dependerá del tipo y tamaño de probeta. Si se realizan las marcas mediante la técnica de punzonado, las mismas van a generar una zona de concentración de tensiones, por eso la misma debe ser lo más chicas posible. También se deben tomar las medidas necesarias para realizar el cálculo de superficie inicial de la probeta.

El agarre de la probeta dependerá del tipo de probeta a ensayar. Pueden ser dispositivos especiales de agarre o mordazas universales con cuñas que sostienen probetas planas o redondas. En esta tesis se utilizaron ambos casos, ya que las más pequeñas, de tipo REVE (ver *Apéndice I*), se ensayaron mediante un dispositivo especial de agarre.

Por último, uno de los parámetros de ajuste más importante de un ensayo de tracción es la velocidad. El ensayo de tracción estandar es un método cuasiestático, por lo tanto, se debe aplicar un desplazamiento que se corresponda con esa premisa. Existen tres métodos para la elección de la velocidad de ensayo según la norma ASTM E8/E8M-16a [12]. Cabe destacar que la tensión de fluencia es más sensible a los cambios de velocidad que la tensión máxima, por lo tanto, la norma permite un aumento de velocidad del pistón una vez superada la fluencia.

La probeta se suele ensayar hasta la rotura. Luego de esto, se mide la misma y junto con el gráfico se obtiene los datos listados en el siguiente punto.

#### 8.2.4 Análisis y puntos característicos

Para obtener los puntos característicos de una curva de ensayo de tracción, primero debe normalizarse la misma dividiendo la fuerza por la sección previa al ensayo y la deformación por el  $L_0$  elegido previo al ensayo. Este proceso da como resultado la curva tensión-deformación, la cual se encuentra en la Figura 4 junto con los puntos más importantes.

Estos puntos son:

- 1) Tensión de fluencia superior ( $\sigma_{UYS}$ ): cuando la probeta pierde linealidad y comienza la deformación plástica puede darse el caso que la carga disminuya repentinamente y se presente la fluencia discontinua. La tensión máxima alcanzada antes de esa caída es la  $\sigma_{UYS}$ .

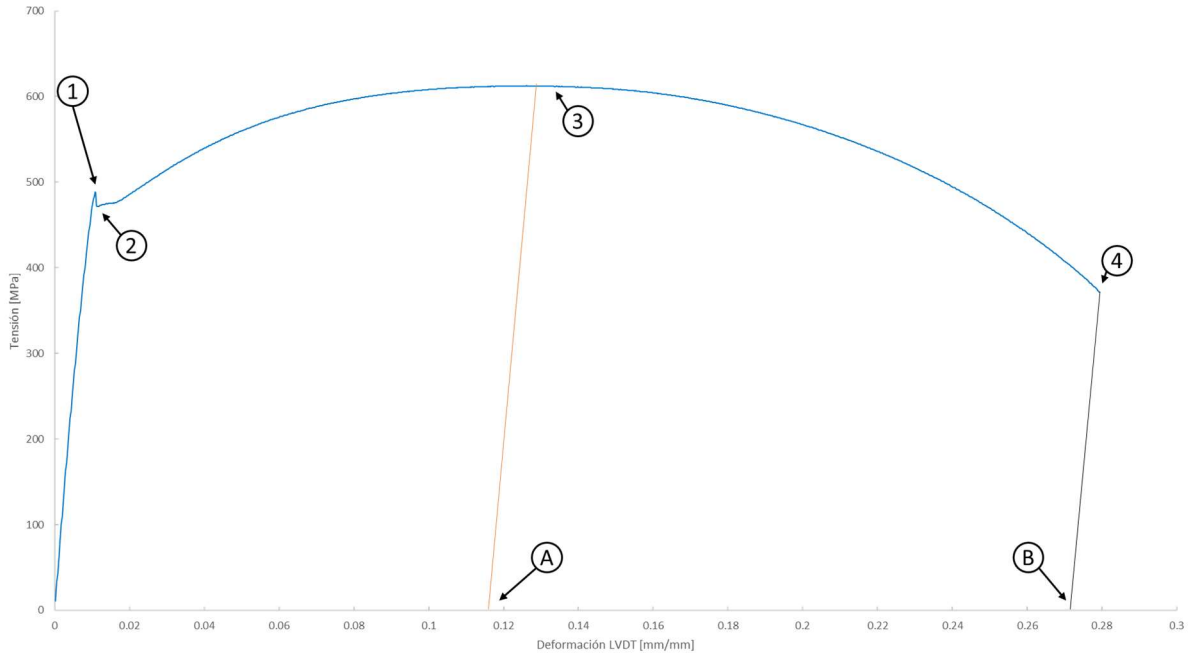


Figura 4 - Curva ingenieril con los puntos característicos

- 2) Tensión de fluencia inferior ( $\sigma_{LYS}$ ): en caso de que exista la  $\sigma_{UYS}$ , se encuentra también la  $\sigma_{LYS}$ , la cual consiste en la mínima tensión posterior a la  $\sigma_{UYS}$  y anterior al punto 3.
- 3) Tensión máxima ( $\sigma_{UTS}$ ): es la tensión máxima ingenieril alcanzada durante el ensayo. Físicamente se presenta en el mismo momento que comienza a formarse la estricción en la probeta.
- 4) Tensión de fractura ( $\sigma_{fr}$ ): es la tensión en el instante previo a la rotura de la probeta.
- 5) Tensión ingenieril o 0,2% ( $\sigma_{0,2}$ ): en caso de no haber fluencia discontinua, si la pérdida de linealidad es continua, se establece un criterio para definir el comienzo de la deformación plástica. Uno de esos criterios es realizar la intersección de una recta paralela a la elástica del ensayo que tenga un corrimiento de 0,2% de deformación unitaria. Para estos casos, está fuertemente recomendado el uso de extensómetro. Este punto se observa en la Figura 5.
- A) Elongación uniforme  $\epsilon_U$ : es la elongación plástica porcentual hasta el comienzo de la estricción o, lo que es equivalente, la tensión máxima.

B) Elongación total  $\varepsilon_T$ : es la elongación plástica porcentual hasta la rotura. Se puede calcular a partir del gráfico ( $\varepsilon_{TM}$ ) o se puede medir sobre la probeta uniéndola sus partes luego de realizado el ensayo ( $\varepsilon_{TM}$ ).

Existen otros puntos o datos que se pueden obtener a través de este ensayo, sin embargo, se limitó a mencionar los que suelen utilizarse como indicadores de que los resultados de ensayos son equivalentes o no para diferentes geometrías y tamaños de probetas [4].

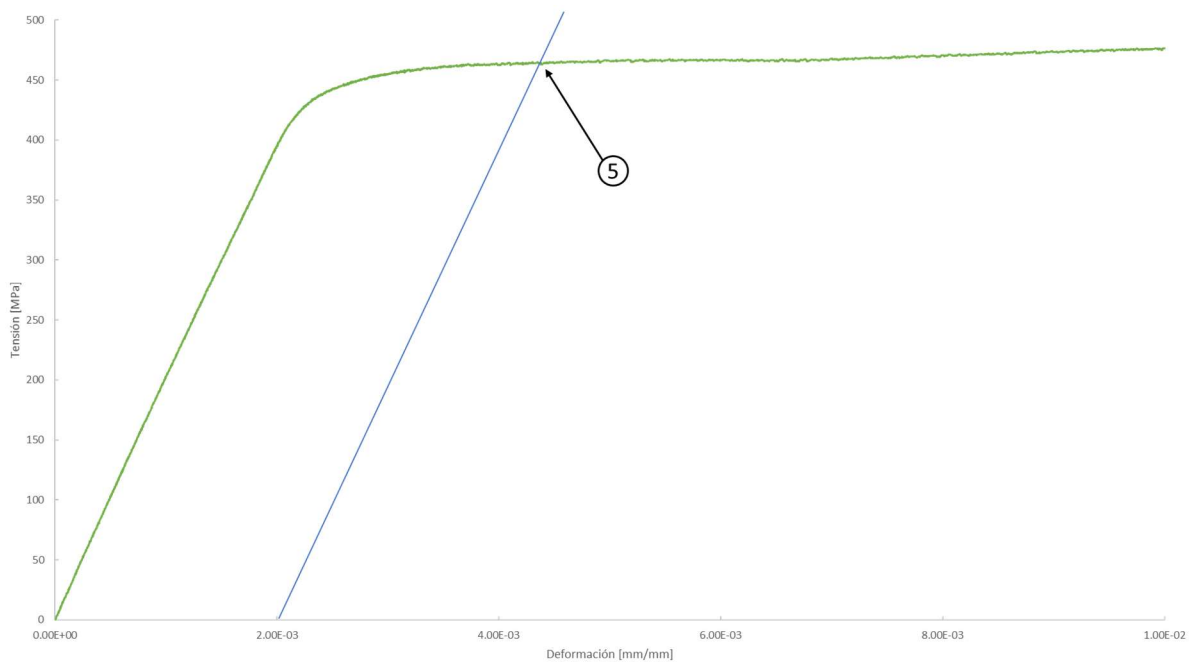


Figura 5 - Gráfico de tensión deformación medido a través de un extensómetro

## 8.3 FRACTURA Y MASTER CURVE

### 8.3.1 Fractura

#### 8.3.1.1 Comienzos

La mecánica de fractura surgió como disciplina a partir de los fenómenos de fractura que se sucedieron en los barcos Liberty durante la Segunda Guerra Mundial.

Debido a esto, se desarrollaron nuevos métodos de fabricación para construir barcos más rápidamente. Estos barcos, llamados Liberty, tenían un casco totalmente soldado a diferencia de las técnicas constructivas anteriores que utilizaban la unión entre placas por remache. Sin embargo, en 1943 en las aguas frías de la ruta entre

Siberia y Alaska, uno de estos barcos se rompió completamente en dos sin motivo aparente. De los 2700 barcos construidos, 400 tuvieron fracturas.

La investigación dio como resultados 3 factores combinados que provocaron estos accidentes:

- 1) La mala calidad de la soldadura debido a la poca capacitación de los soldadores.
- 2) La baja tenacidad del acero utilizado.
- 3) Errores de diseño, ya que los comienzos de las fracturas se dieron en las escotillas, cuyas esquinas cuadradas generaban zonas de concentración de tensiones

Sin embargo, las situaciones 2 y 3 eran habituales en los métodos de fabricación anteriores. La diferencia fue que al soldar las placas de acero y no remacharlas, la fisura encuentra un camino continuo para poder avanzar y generar una fractura catastrófica en el barco.

Una vez descubierto el problema, se reforzaron las esquinas de las escotillas y reforzaron sectores estratégicos con acero de mejor calidad. El resultado de estos errores fue el nacimiento del estudio de la mecánica de fractura.

En la mecánica de fractura, ya no se debe tener en cuenta exclusivamente el criterio de diseño hasta la falla por alcanzar la tensión de fluencia o tensión máxima, sino que se tiene en cuenta posibles defectos o fisuras en el material y la resistencia del material a la aplicación de carga ante esas fisuras. Se han desarrollado varios tipos de comportamiento no-lineal así como también defectos dinámicos, sin embargo, todos son una extensión de la mecánica de fractura lineal elástica (MFEL), la cual se explica a continuación.

### **8.3.1.2 Mecánica de fractura lineal elástica**

La primera evidencia cuantitativa del efecto de la concentración de tensiones en las fisuras fue enunciada por Inglis, el cual analizó una placa plana con un agujero elíptico, de longitud  $2a$  y de ancho  $2b$ , a la que se le aplica una tensión perpendicular al eje mayor de la elipse (Figura 6 [13]). Inglis asumió que el agujero no está influenciado por las condiciones de contorno de la placa, es decir, el ancho es mucho mayor a  $2a$  y la altura mucho mayor a  $2b$ .

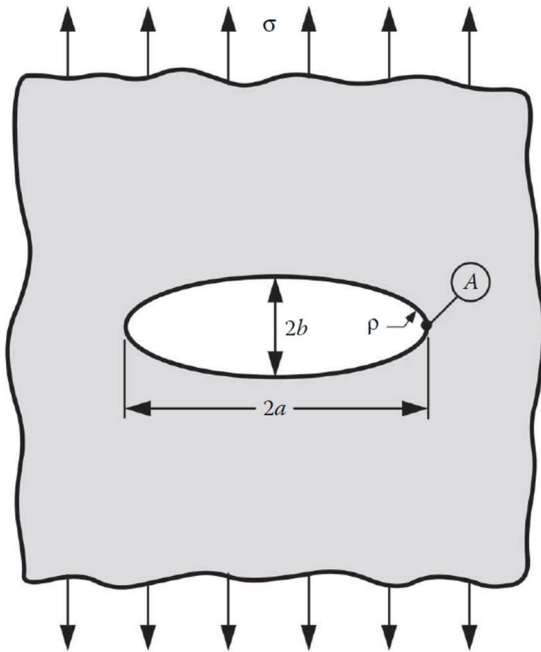


Figura 6 - Agujero elíptico en una placa plana

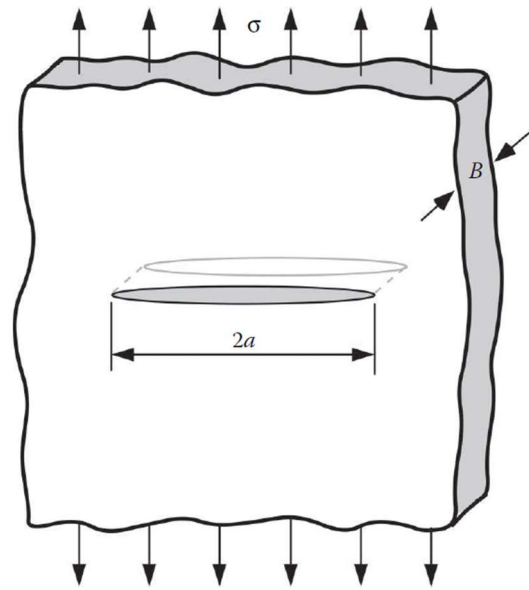


Figura 7 - Placa de grandes dimensiones con una fisura pasantes de tamaño  $2a$  ( $B \gg 2a$ )

Inglis planteó:

$$\sigma_A = 2\sigma \sqrt{\frac{a}{\rho}} \quad (8-3)$$

Donde:

$$\rho = \frac{b^2}{a} \quad (8-4)$$

$\rho$  es el radio de curvatura y  $\sigma_A/\sigma$  se lo define como el factor de concentración de tensiones  $k$ . Esta ecuación da una buena aproximación para la concentración de tensiones en una placa con una entalla que no es elíptica excepto en la punta. Si se aplica a una placa infinita con un radio  $\rho = 0$ , resulta un valor de tensión infinito.

Este resultado causó un alto grado de preocupación, ya que esto implicaba que, si un material contiene una fisura aguda, fallaría con la aplicación de una mínima carga. Debido a esta paradoja Griffith desarrolló una teoría de la fractura basada en la energía en vez de en la concentración de tensiones.

El planteo está basado en que la propagación en una placa ocurre cuando la energía elástica acumulada es suficiente para proporcionar todo el trabajo necesario para un incremento en el largo de fisura. Griffith propuso la siguiente ecuación que plantea la variación de energías basada en una placa de grandes dimensiones (Figura 7):

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot \sigma_f^2 \cdot a \cdot B}{E} = 4 \cdot B \cdot \gamma_s \quad (8-5)$$

Donde:

- E: módulo elástico
- $\gamma_s$ : energía superficial del sólido

Si el término de la izquierda es menor, no hay propagación. Pero si aumenta la tensión, se supera la energía necesaria para la propagación y la misma se vuelve inestable.

Este resultado de la ecuación de Griffith es coherente con otros trabajos que se realizaron a nivel atómico en los que se calculan las fuerzas de rotura del enlace interatómico. Los resultados no coinciden exactamente debido a que los defectos existentes en los materiales reducen la resistencia a la fractura, pero la expresión es semejante. Además, la aplicación de métodos numéricos por elementos finitos permitió confirmar la validez de los postulados de energía.

Sin embargo, la ecuación de Griffith es válida solamente para sólidos frágiles, ya que la fisura en el sólido debe ser lo suficientemente aguda en sus extremos como para crear la concentración de tensiones en su entorno, pero su ecuación no puede interpretar el comportamiento de los metales, en los que la energía necesaria para su fractura resultó ser varios órdenes de magnitud mayor que sus energías superficiales respectivas.

Ello se debe a que la concentración de tensiones en la punta de la fisura crea una zona plástica de tamaño importante, de manera que la ecuación que expresa la tensión de rotura debe corregirse, introduciendo el término energético debido a la deformación plástica.

Irwin y Orowan independientemente propusieron:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{2 \cdot E \cdot (\gamma_s + \gamma_p)}{\pi \cdot a}} \quad (8-6)$$

Donde se agrega el término  $\gamma_p$  que es el trabajo plástico por unidad de área.

Posteriormente, Irwin propone una solución que esencialmente es equivalente al modelo de Griffith, pero más conveniente para resolver los problemas de ingeniería, ya que permite realizar un análisis de la tasa de liberación de energía en metales a medida que hay un aumento en la extensión de la fisura.

Este análisis da como resultado la definición de una variable  $R$  que será la resistencia a la fractura del material en términos de energía superficial por área. Por otro lado, se tiene  $G$ , la cual es la tasa de liberación de energía a medida que avanza la fisura. Por lo tanto, se puede establecer un equilibrio entre ambos:

$$G = R \quad (8-7)$$

$$\frac{\pi \cdot \sigma^2 \cdot a}{E} = 2 \cdot W_f \quad (8-8)$$

En donde  $W_f = \gamma_s + \gamma_p$ .

El resultado de esta estructura de análisis es muy importante, ya que es la utilizada actualmente para definir la estabilidad de las fisuras en casos donde hay un desgarramiento dúctil de la misma.

### 8.3.1.2.1 Análisis tensional de la fractura

Como se mencionó anteriormente, cuando un sólido tiene una fisura y está sometido a tensiones y deformaciones, las tensiones se concentran alrededor de la punta de la fisura.

Los modos en los cuales se puede solicitar un material, y en particular una fisura, se observan en la Figura 8 [13]. La tensión normal perpendicular al plano de la fisura se denomina Modo I. Cuando los desplazamientos de las superficies de la fisura son perpendiculares al plano de la fisura, y los esfuerzos cortantes son paralelos al plano de la fisura tiene el nombre de Modo II. Por último, cuando los esfuerzos

cortantes son paralelos al plano de la fisura y los labios de esta se mueven en dirección paralela, se denomina Modo III. El siguiente análisis se centrará en particular en el Modo I, debido a que es el que más se produce en la ingeniería y, por lo tanto, el más estudiado.

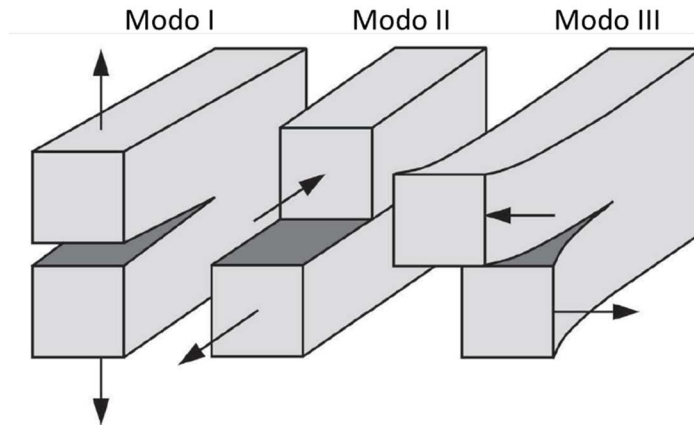


Figura 8 - Modos de carga en una fisura

En la Figura 9 [13] [14] se observa el estado de tensiones de una fisura en Modo I en un plano. La teoría de la elasticidad permite obtener el estado de tensiones existente en un elemento de la placa situado delante de la fisura, la cual está expresada en coordenadas polares.

El factor  $K_I$  es el denominado factor de intensidad de tensiones. Este define la magnitud de las tensiones en el fondo de la fisura, y depende del tipo de carga, tamaño y forma de la fisura y condiciones de contorno geométricas. Despejando se obtiene una expresión que se suele utilizar en la resolución de problemas de diseño:

$$K_I = f_{(g)} \sigma \sqrt{a \cdot \pi} \quad (8-9)$$

Donde  $f_{(g)}$  es un factor que depende sólo de la geometría del componente, de la fisura y contorno.

A partir de las expresiones de la fuerza motriz para la placa plana con fisura pasante y las obtenidas para ese mismo caso particular a partir de las ecuaciones de análisis tensional, se puede obtener una ecuación de suma importancia que relaciona las mismas:

$$K_I = \sqrt{G \cdot E'} \quad (8-10)$$

Siendo:

- $E'$  es igual a  $E$  en el caso de tensión plana
- $E'$  es igual a  $E/(1 - \nu^2)$  en el caso de deformación plana

Los casos de tensión plana y deformación planas serán explicados más adelante.

Por último, si se vuelven a observar las ecuaciones de la Figura 9, se deduce el mismo fenómeno mencionado unos párrafos atrás, una singularidad ( $r \rightarrow 0$ ) en la punta de la fisura donde la tensión es infinita. Esto será analizado en el siguiente punto.

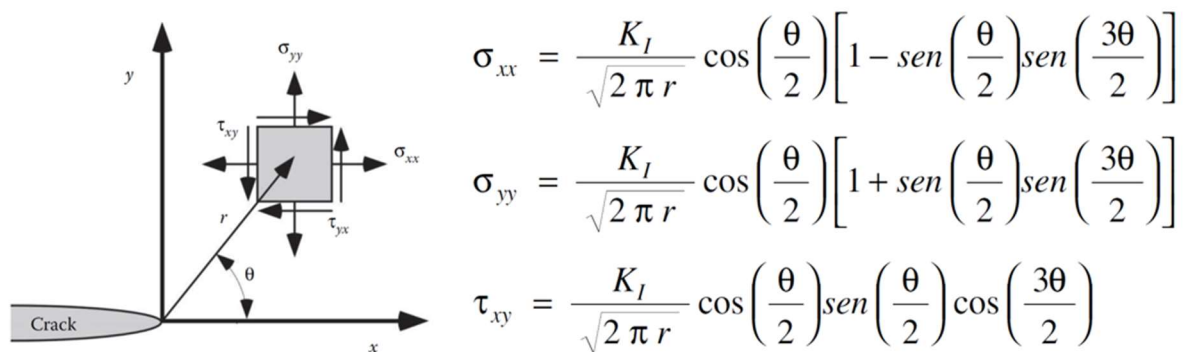


Figura 9 - Estado de tensiones cerca de la punta de una fisura en modo I

### 8.3.1.2.2 La plasticidad en el frente de fisura

Este tema es de suma importancia en la presente tesis, ya que los fenómenos de plasticidad en el frente de la fisura son los que afectan las restricciones a la hora de limitar los tamaños de probetas en la construcción de la Master Curve.

En los aceros y otros materiales que desarrollan una pequeña plasticidad en el frente de la fisura se puede aplicar la MFEL con pequeñas correcciones. En la práctica, todos los materiales, incluso pétreos, cerámicos y vidrios, son capaces de desarrollar un cierto grado de plasticidad en el frente de las fisuras, por pequeño que sea en el caso de los tres citados. En la medida en que se desarrolla esta plasticidad, se amortigua el valor extremo de la tensión en frente de fisura, y se mejora la resistencia frente a la fractura frágil.

Los materiales reales presentan tensiones finitas en el frente de las fisuras gracias a la plasticidad en los metales, lo cual proporciona un enroscamiento geométrico y una relajación de las tensiones en el frente de fisura.

Esto significa que siempre hay una región, alrededor del frente de fisura, en la que se produce una deformación plástica y consecuentemente no puede existir una tensión infinita. La región plástica es conocida como la zona plástica del frente de fisura. El análisis elástico de tensiones es cada vez menos exacto a medida que aumenta la región no elástica y crece la zona plástica del frente de fisura. Se pueden encontrar correcciones simples de la MFEL para plasticidades moderadas del frente de fisura, pero para plasticidades más grandes se deben tener en cuenta parámetros alternativos del comportamiento no lineal de los materiales.

Una primera aproximación del tamaño de la zona plástica puede hacerse de forma muy simple. La Figura 10 muestra la magnitud de la tensión  $\sigma_{yy}$  en el plano para  $\theta = 0$ . Hasta una distancia  $r_y$  desde el frente de fisura en la que la tensión es más alta que la tensión de límite elástico  $\sigma_{YS}$ , por lo tanto, la primera aproximación de la distancia  $r_y$  es el tamaño de la zona plástica que se obtiene sustituyendo  $\sigma_{YS}$ , en la ecuación por  $\sigma_{yy}$ , lo cual, luego de operar matemáticamente da como resultado:

$$r_y = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K_I}{\sigma_{YS}} \right)^2 \text{ Para el caso de tensión plana} \tag{8-11}$$

$$r_y = \frac{1}{6\pi} \left( \frac{K_I}{\sigma_{YS}} \right)^2 \text{ Para el caso de deformación plana} \tag{8-12}$$

Se observa claramente que en el caso de tensión plana la zona deformada es mayor. Se verá más adelante cuando ocurre un caso o el otro dentro de una fisura.

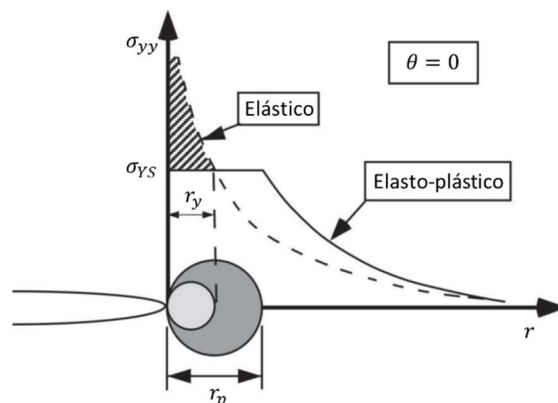


Figura 10 - Estimación de primer y segundo orden de la zona plástica

Estas ecuaciones de la zona plástica son estimaciones simples. Cuando ocurre la deformación plástica, las tensiones deben distribuirse para poder establecer un equilibrio. La región rallada de la Figura 10 representa fuerzas que debería estar

presentes en el material elástico, pero no pueden ser soportadas en un material elasto-plástico ya que, como se vio, excede la fluencia. Debido a esto, esas fuerzas deben ser acomodadas en el resto de las zonas, por lo cual se debe realizar un balance de fuerzas a través de una integral:

$$\sigma_{YS} r_p = \int_0^{r_y} \sigma_{yy} dr = \int_0^{r_y} \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} dr \quad (8-13)$$

Lo cual da como resultado:

$$r_p = \frac{1}{\pi} \left( \frac{K_I}{\sigma_{YS}} \right)^2 \quad \text{Para el caso de tensión plana} \quad (8-14)$$

Dando como resultado el doble de radio que la primera estimación. En el caso de deformación plana, se debe analizar no sólo el comportamiento para un  $\theta = 0$ , sino en todo el volumen, lo cual también permite ver la distribución de tensiones alrededor de la punta de la fisura. En la Figura 11 se observa la distribución de la zona de deformación plástica en los casos de tensión y deformación planas en Modo I siguiendo el criterio de Von Mises.

La diferencia para el tamaño y la forma son notables. En la condición de deformación plana se encuentra una zona plástica menor para el mismo  $K_I$ . Cabe destacar que se considera un comportamiento elastoplástico perfecto y por lo tanto la Figura 11 no es rigurosamente exacta. Dependiendo de coeficiente de endurecimiento del material, la zona plástica puede ser menor o mayor. Si tiene un mayor

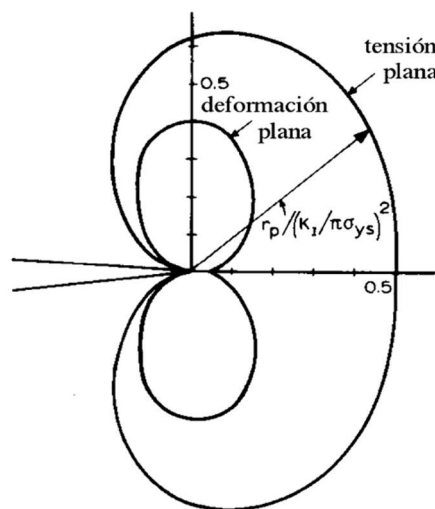


Figura 11 - Forma de la zona plástica en Modo I

endurecimiento por deformación, la zona plástica podrá soportar mayores tensiones lo cual dará una zona plástica menor.

### 8.3.1.2.3 Tensión plana o deformación plana

Para el caso de carga uniaxial, en una placa plana infinita sin fisuras el estado tensional es siempre de tensión plana, independientemente de su espesor. Además, en el caso de que exista una condición de deformación plana en el interior de una placa, siempre se tendrá una tensión plana en la superficie.

En la superficie, al no haber un material que restrinja la deformación, las tensiones perpendiculares no existen y por lo tanto  $\sigma_z = \sigma_3 = 0$  en la superficie. Si se tiene una condición de deformación plana en el interior, la tensión  $\sigma_3$  crece gradualmente desde 0 en la superficie hasta el valor de deformación plana en el interior. Esto trae como consecuencia que la zona plástica disminuya gradualmente desde la zona de tensión plana en la superficie hasta la zona del interior de deformación plana, como se observa en la Figura 12.

La carga exterior o tensiones en el contorno de la placa plana influyen en el tamaño de la zona plástica. Por otro lado, el tamaño de la zona plástica influye en el estado de tensiones en el frente de fisura. Como en la zona plástica se producen mayores desplazamientos se requiere un suministro de material por la conservación del volumen y hay un hundimiento superficial en los metales. Si este hundimiento es grande, es observable a simple vista.

Cuando la zona plástica es muy pequeña, o la placa es muy gruesa, la plastificación es muy difícil. Como se mencionó,  $\varepsilon_z$  es casi cero debido a la constricción del material elástico que le rodea. El resultado es que la pequeña zona plástica está en deformación plana. Las zonas plásticas grandes desarrollan tensión plana y las zonas plásticas pequeñas se encuentran más fácilmente en deformación plana. Esto implica que espesor de la placa tiene una gran influencia en su estado tensional.

La relación entre la zona plástica y el espesor es un factor importante para el estado de tensiones. Si el tamaño de la zona plástica en la superficie de la placa es del orden del espesor de la placa, se puede desarrollar tensión plana. Por el contrario, la relación debe ser apreciablemente menor que la unidad para que exista

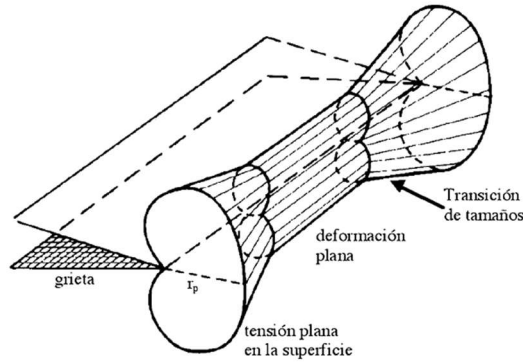


Figura 12 - Zona plástica a lo ancho de la fisura

deformación plana en gran parte del espesor. Experimentalmente se ha determinado que el comportamiento de deformación plana en fractura es típico si  $r_p/B$  es del orden de 0,025. Como se explicó anteriormente, el tamaño de la zona plástica es proporcional a  $\left(\frac{K_I}{\sigma_{YS}}\right)^2$ , por lo que una alta intensidad de tensiones y bajo límite elástico generan una zona plástica muy grande. Consecuentemente, es necesario un gran espesor para mantener un estado predominante de deformación plana en un material de bajo límite elástico y alta tenacidad.

La tenacidad de fractura de un material  $K_{IC}$  aumenta a medida que el volumen de material capaz de deformarse plásticamente antes de la fractura también aumenta. Como este volumen depende del estado de tensiones existente, y éste a su vez del espesor, resulta que la tenacidad a fractura varía con el espesor de la chapa, como se puede ver en la Figura 13.

Al final de los fundamentos teóricos de Master Curve se realizará un resumen sobre las restricciones de espesores impuestas por las distintas normas de ensayo que tienen en cuenta este comportamiento.

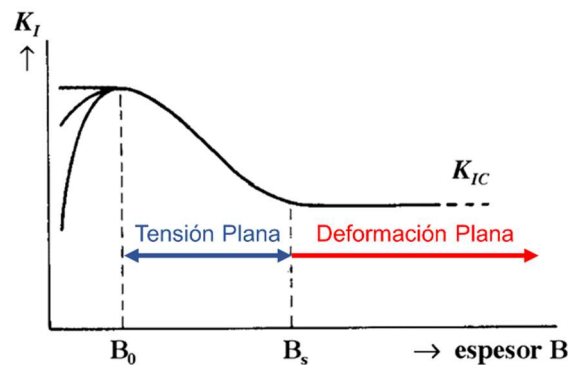


Figura 13 - Tenacidad en función del espesor

### 8.3.1.2.4 Mecánica de fractura elasto-plástica (MFEP) e integral $J$

En el caso de aparecer una plasticidad apreciable en el frente de fisura, el análisis de la MFLE es limitado y si se produce una importante plasticidad, la resistencia al avance de la fisura  $G$ , como expresión de la energía, no puede ser determinada por la formulación propuesta hasta ahora, ya que  $G$  está afectada por la zona plástica del frente de fisura.

Es entonces cuando Rice propuso la integral  $J$  como sustitutiva de la  $G$  de Griffith. El parámetro  $J$  es definido por una integral de línea independiente del camino de integración elegido:

$$J = \int_{\Gamma} \left( w dy - T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds \right) \quad (8-15)$$

Donde:

- $T_i = \sigma_{ij} n_j$  son componentes del vector de tracción
- $n_j$  es el versor normal a la curva  $r$
- $u_i$  son los componentes del vector de desplazamiento
- $ds$  es un incremento de longitud a lo largo del contorno
- $w = w(x, y) = \int_0^{\epsilon_{ij}} \sigma_{ij} d\epsilon_{ij}$ , es la densidad de energía de deformación

Desde el punto de vista físico, la integral  $J$  es el balance de energía en una trayectoria cerrada alrededor de la punta de la fisura.

El equilibrio se da entre el trabajo suministrado por las tracciones  $T$  que actúan sobre elementos superficiales  $ds$  de un camino cerrado y la energía de deformación dentro de los límites de este camino.

Como la integral  $J$  es independiente de la trayectoria, la integración se puede realizar a cualquier distancia de la punta de la fisura, y se puede calcular el cambio de energía debido a la extensión de la fisura si el comportamiento tensión-deformación es lineal o no lineal.

Para condiciones de plasticidad en pequeña escala se puede seguir utilizando la conversión de energía al factor de intensidad de tensiones:

$$K_I = \sqrt{J \cdot E'} \quad (8-16)$$

Sin embargo, es muy importante destacar que la tasa de liberación de energía  $G$  se define normalmente como la energía potencial que se libera de una estructura cuando la fisura crece en un material elástico. En el caso de un material elástico-plástico, parte de la energía absorbida por el material no es recuperable (trabajo plástico irreversible), porque se ha empleado en la propia plastificación de una zona importantísima del material. Es por lo que la ecuación anterior es sólo válida para pequeñas deformaciones, y de ahí que la norma ASTM E1820-20a [15] define el  $J_{Ic}$  correspondiente que permite calcular el valor  $K_{Ic}$ .

### 8.3.1.2.5 La zona de transición dúctil frágil

La resistencia a la fractura de los aceros ferríticos puede cambiar drásticamente en un pequeño rango de temperaturas (Figura 14). A bajas temperaturas, el acero es frágil, y rompe por clivaje. A altas temperaturas, el material es dúctil y falla por coalescencia de microhuecos. La fractura dúctil inicia a un valor particular de resistencia a la fractura, como está indicado en la línea punteada de la Figura 14. La fisura crece a medida que la carga también lo hace. Eventualmente, la probeta falla por colapso plástico o inestabilidad. En la región de transición entre el comportamiento dúctil y el frágil, pueden ocurrir ambos mecanismos de fractura al mismo tiempo en la misma probeta. En la región baja de la zona de transición, el mecanismo de fractura es de clivaje puro, pero a medida que se incrementa la temperatura, la resistencia aumenta debido a que el clivaje es más difícil de lograr. En la zona alta de la región de transición, una fisura inicia por coalescencia de microhuecos, pero la falla final ocurre por clivaje. En la parte inicial de la carga de ensayo, en la zona alta de la región de transición, el clivaje no ocurre debido a que no se encuentran partículas críticas cerca de la punta de la fisura que sirvan de iniciadores de una fisura rápida por clivaje. Sin embargo, a medida que la fisura crece por desgarro dúctil, se avanza sobre más cantidad de material. Eventualmente, la fisura en crecimiento puede encontrar una partícula crítica y ocurre el clivaje.

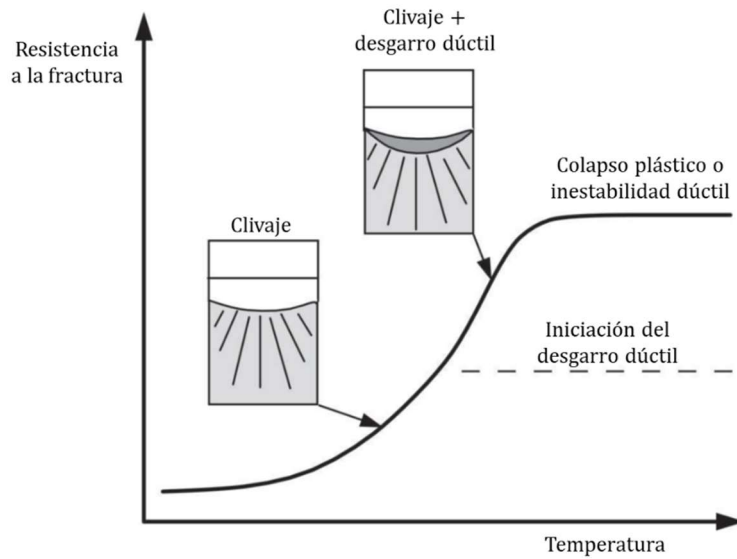


Figura 14 - La zona de transición dúctil frágil en aceros ferríticos

Debido a que la resistencia a la fractura en la zona de transición es gobernada estadísticamente por la posibilidad o no de encontrar una partícula crítica, los datos de ensayo en esta zona suelen tener mucha dispersión. Wallin desarrolló un modelo estadístico para estas zonas de transición que incorpora el efecto previo al desgarro dúctil en la probabilidad del clivaje. Más adelante se verá la fórmula utilizada por la norma ASTM E1921-22 [16]. El desarrollo matemático de la misma se puede consultar en la referencia [17].

Herrens y Read demostraron la naturaleza estadística de la fractura por clivaje en la zona de transición. Realizaron un gran número de ensayos de fractura sobre aceros aleados templados y revenidos a distintas temperaturas en la zona de transición. El resultado fue el esperado: los datos a una misma temperatura eran muy dispersos. Algunas probetas fallaban sin crecimiento apreciable de la fisura mientras que otros sostenían altos niveles de desgarro antes del clivaje. Estos investigadores examinaron la superficie de fractura de cada probeta para determinar el sitio de inicio de clivaje. La distancia desde el inicio de la fractura frágil hasta el inicio de la punta de la fisura original tenía una relación muy buena con la resistencia a la fractura obtenida en la probeta. En las probetas que tenían baja resistencia, la distancia era pequeña, es decir, un núcleo de iniciación estaba cerca de la punta de la fisura. En las probetas que se observaba alta resistencia, no había partículas cerca de la punta de la fisura. Esto quiere decir que la fisura debía crecer y atravesar más cantidad de material antes de encontrar un núcleo iniciador. La Figura 15 es un gráfico de resistencia a la fractura

en función de la distancia crítica,  $r_c$ , que Heerens y Read midieron en la superficie de fractura.  $r_c$  es definida como la distancia desde la punta de la prefisura por fatiga a el sitio de inicio de clivaje. También se observa en el gráfico la curva de la resistencia por desgarro dúctil. En todos los casos, el clivaje comienza cerca de la zona de máxima tensión de tracción. Estudios similares en fractografías realizados por Watanabe, y Rosenfield y Shetty también mostraron una relación entre  $J_C$ ,  $\Delta a$  y  $r_c$ . Este comportamiento es tenido en cuenta en la norma ASTM E1921-22 [16] y será mencionado al analizar la misma.

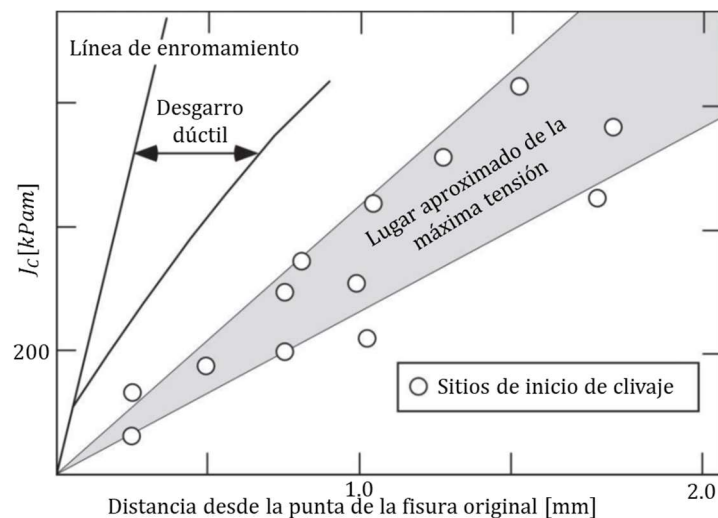


Figura 15 - Relación entre la resistencia a la fractura y la distancia de la punta de la fisura a los iniciadores de clivaje

Por otro lado, la propagación por clivaje en la región alta de la zona de transición suele mostrar sectores aislados de fractura dúctil. Cuando se estudian metalográficamente las probetas que rompen por clivaje y poseen arresto de fisuras, a veces son encontrados ligamentos sin romper por detrás de la punta de la fisura. Estas dos observaciones implican que la propagación de una fisura por clivaje en la zona alta de la región de transición encuentra barreras como granos fuertemente desorientados, o partículas, a través de las cuales la fisura no puede propagarse. La fisura es desviada alrededor de estos obstáculos, dejando zonas aisladas de ligamentos a su paso. A medida que la propagación de la fisura continúa y las caras de la fisura se abren, los ligamentos que está bien detrás de la fisura se rompen (izquierda en la Figura 16). La energía requerida para romper los ligamentos dúctiles puede llegar a ser la mayor resistencia que una fisura por clivaje experimenta. La concentración de ligamentos dúctiles en una superficie se incrementa con la temperatura,

Antes de seguir con el análisis de la Master Curve, resulta necesario destacar que en casos donde se presenta plastificación en gran escala de la punta de la fisura, estos análisis no alcanzan para describir el comportamiento plástico, lo cual es descrito por otros parámetros que no serán tenidos en cuenta en la presente tesis.

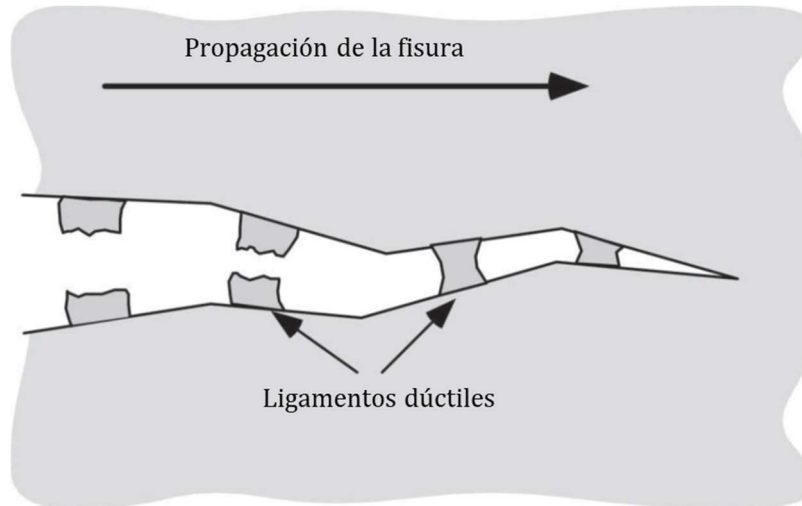


Figura 16 - Esquema de la propagación de una fisura en la zona de transición dúctil-frágil

### 8.3.2 Master Curve

Para explicar los detalles de la Master Curve necesarios para comprender el ensayo se siguen los puntos requeridos por la norma ASTM E1921-22 [16] y se incluyen las explicaciones necesarias para poder comprenderla.

#### 8.3.2.1.1 Aclaraciones, usos y resumen

La norma permite la determinación de una temperatura característica  $T_0$  a través del ajuste de una curva predeterminada a los resultados de ensayos de fractura realizados en el material de estudio. Esta  $T_0$  es la utilizada como ajuste en la función que se presentó cuando se refirió este texto al programa de vigilancia (ecuaciones (8-1) y (8-2)).

Se deja en claro que se trata de un ensayo estático, pero también se requiere un mínimo de velocidad permitida. Además, siempre se debe especificar geometría y tamaño de probeta. Este punto es muy importante y por eso se encuentra en el inicio de la norma de ensayo, donde se especifica incluso que se ha comprobado que diferentes geometrías producen distintas  $T_0$ . Si bien en la tesis no se cambió de tipo

de probeta, se observa que existen variaciones ya conocidas, documentadas y advertidas en la norma.

La obtención de la  $T_0$  consiste básicamente en realizar ensayos de fractura en probetas prefisuradas y con determinadas geometrías permitidas por la norma. Se registra la carga, el desplazamiento y, si es posible, el CMOD y se analizan los datos para encontrar el  $K_{JC}$  de la probeta. Este valor es normalizado mediante una distribución de Weibull y se ajusta a una curva donde el valor buscado es  $T_0$ . Todos estos cálculos, ensayos y análisis están delimitados y restringidos para poder tener resultados normalizados y comparables.

Sin embargo, se siguen realizando ensayos interlaboratorios y estudios de la norma para comprobar que esto sea correcto. La tesis tiene dentro de esos objetivos observar si existen diferencias.

#### 8.3.2.1.2 Instrumental

En este apartado se describe la precisión de la máquina universal a utilizar. También los diferentes dispositivos y sus requerimientos de dureza y rugosidad. El punto que más involucra a la tesis es la utilización del LVDT para la medición del LLD, y no el CMOD debido a que no se posee ese instrumento para ensayos a bajas temperaturas. Este método (LVDT) es preciso para la medición del LLD, pero registra bastantes errores a la hora de medir la extensión de la prefisura. La descripción de esto se realiza en el *Apéndice XI – Software* donde se explica el software y cálculos necesarios para su desarrollo.

Otro inconveniente son los requerimientos en la medición de la temperatura, ya que se debe tener particular cuidado para que la temperatura medida censada sea lo más aproximada posible a la existente en la punta de la fisura.

#### 8.3.2.1.3 Tipo de probeta y preparación para ensayo

Las geometrías de probetas para ensayo permitidas son las mismas que para la norma ASTM E1820-20a [15]. Existen 3 tipos, y en esta tesis se utilizó sólo la SE(B), cuyos planos se encuentran en el *Apéndice I*. La prefisura, a diferencia de la norma ASTM 1820-20a [15], debe ser de un tamaño específico. La prefisura debe ser de

$0,5W \pm 0,05W$ . La prefisura se origina a partir de una entalla previamente mecanizada, pero en la zona cercana a la punta de la fisura, la misma debe ser generada a través de fatiga cíclica. Los parámetros para ciclar son estrictos debido a que se pueden generar valores muy altos de  $K$  en la punta de la fisura que plastifiquen la misma y generen resultados incorrectos en el ensayo. Los parámetros se encuentran en la norma, y muchos de estos son mencionado en el *Apéndice XI – Software*.

Avanzando sobre los requerimientos de las probetas, aparece una de las restricciones más importantes y que es uno de los análisis de la presente tesis: el del tamaño de la probeta. En puntos previos se observó que el espesor de las probetas influye en el estado triaxial de la fisura a lo ancho de la misma. Una relación que surgió fue la de  $\frac{r_p}{B} = 0,025$ , la cual es muy similar a la utilizada por la norma ASTM E399-12 [18] para obtener el valor de  $K_{IC}$ . Sin embargo, se ha comprobado a través de extensa cantidad de ensayos que, para el cálculo de  $J$ , se pueden utilizar probetas con menor espesor en relación con el  $K$ . Es debido a esto que en la norma ASTM E1921-21a [19] se observa la siguiente restricción, la cual es muy similar numéricamente a la impuesta por ASTM 1820-20a [15]:

$$K_{Jlimit} = \sqrt{\frac{E \cdot b_0 \cdot \sigma_{YS}}{30(1 - \nu)}} \quad (8-17)$$

Donde:

- $\nu$  es el módulo de Poisson
- $b_0$  es el ligamento remanente ( $b_0 = W - a_0$ )
- $\sigma_{YS}$  es la tensión de fluencia del material a la temperatura de ensayo
- $K_{Jlimit}$  es el  $K$  máximo permitido para el espesor de probeta utilizado

Esta restricción se analizará más adelante. Cabe destacar que todos los valores son a la temperatura de ensayo. Es por esto que la restricción cambia cuando varía la temperatura y que, en la búsqueda de resultados válidos, se baje la temperatura de ensayo.

Dentro de la preparación de la muestra, la norma recomienda la realización de “side grooves” o entallas laterales posteriormente a la realización de la prefisura. La importancia de estas entallas se verá en el análisis del ensayo.

#### 8.3.2.1.4 Procedimiento de ensayo

El ensayo consiste en colocar la probeta y realizar una carga a velocidad constante de desplazamiento hasta que la probeta se rompa.

La selección de la temperatura de ensayo, como se mencionó en el punto anterior, es importante ya que existen valores que pueden estar debajo de la curva de  $K_{Jclimit}$ . Sin embargo, también es recomendable elegir valores cercanos a la  $T_0$  debido a que estos generan menores errores a la hora del cálculo final de  $T_0$ . Estos valores cercanos se pueden seleccionar a través de datos obtenidos por la bibliografía de materiales similares, conociendo datos previos de ensayos sobre el mismo material o a través de la curva de transición dúctil-frágil, lo cual es recomendado y desarrollado en la norma (punto 10.3).

Existen otros chequeos de largo de prefisura previos a los ensayos que serán analizados más adelante debido a que presentan ciertas particularidades en las condiciones dadas en la presente tesis.

Después del ensayo se deben realizar varias comprobaciones de interés para el tema estudiado. Primero, se mide el largo de la prefisura por el método de nueve puntos, y se comprueba que se encuentre dentro de los parámetros que considera a la misma como un frente suficientemente plano.

En el punto 8.9.2 se realiza un chequeo de 2 valores importantes. El  $K_{Jclimit}$  es uno de ellos, el cual será muy discutido más adelante. El otro es el  $K_{Jc\Delta a}$ , el cual no fue tenido en cuenta en la tesis debido a que nunca fue superado. Este límite es muy discutido en la actualidad, especialmente en casos de probetas grandes donde la restricción de 1 mm establecida por la norma está siendo discutida [20]. El método para realizar la censura de datos puede ser consultado en el punto 8.9.2 de la norma.

Luego de los métodos de censura, se encuentra las fórmulas de cálculo del  $K_{Jc}$ , las cuales serán vistas en el *Apéndice XI – Software* ya que se elaboraron programas para realizarlos automáticamente.

#### 8.3.2.1.5 Análisis de datos y cálculo de $T_0$

Una vez calculados los valores de  $K_{Jc}$ , se procede al ajuste según su tamaño. El ajuste por tamaño tiene su origen en lo explicado en el punto 8.3.1.2.5. La zona de

transición posee la característica de que la rotura es estadística. La importancia del tamaño de la probeta se relaciona al volumen que se encuentra cercano a la rotura, ya que la probabilidad de encontrar o no una partícula o zona que inicie la fisura por clivaje depende del mismo. Este modelo es conocido como *weakest-link* y la fórmula propuesta es un modelo de Weibull de tres parámetros que vincula los resultados individuales de  $K_{Jc}$  con la probabilidad de falla de la probeta ( $p_f$ ). Landes and Shaffer observaron que este modelo también servía para explicar y transformar los distintos tamaños de probetas a través de la siguiente fórmula que se encuentra en la norma [21]:

$$K_{Jc(x)} = 20 + [K_{Jc(0)} - 20] \left(\frac{B_0}{B_x}\right)^{1/4} \quad (8-18)$$

Donde:

- $K_{Jc(x)}$  es el  $K_{Jc}$  para una probeta de tamaño  $B_x$
- $K_{Jc(0)}$  es el  $K_{Jc}$  para una probeta de tamaño  $B_0$
- $B_0$  es el espesor de la probeta de ensayo sin side Groove
- $B_x$  es el espesor de la probeta a la cual quiero transformar el  $K_{Jc}$

Luego de obtener valores normalizados de 1T (es decir, con un  $B = 1$ "), aplico la iteración de la fórmula (20) de la norma ASTM E1921-20 [22] y obtengo la temperatura  $T_0$ . La fórmula es:

$$0 = \sum_{i=1}^N \delta_i \frac{\exp[0,019(T_i - T_{0Q})]}{11 + 77\exp[0,019(T_i - T_{0Q})]} - \sum_{i=1}^N \frac{(K_{Jc(i)} - 20)^4 \exp[0,019(T_i - T_{0Q})]}{\{11 + 77\exp[0,019(T_i - T_{0Q})]\}^5} \quad (8-19)$$

Este proceso está descrito en el *Apéndice XI – Software*.

Los puntos siguientes de la norma son validaciones del método. La más importante es la que caracteriza el peso de cada ensayo. Como se mencionó antes, las probetas más cercanas a la  $T_0$  son las que más peso tienen porque arrastran menos error a la curva de regresión que se calcula. De hecho, desde 14°C por debajo de la  $T_0$  hasta 50°C por encima, la ponderación es mayor. Esto es debido a que, en la zona de temperaturas más bajas, se sale de la zona de transición y se encuentra la asíntota de  $K_{Jc} = 30 MPa\sqrt{m}$  en la mediana o  $K_{Jc} = 20 MPa\sqrt{m}$  en la mínima (cuando  $p_f \rightarrow 0,00$ ).

Como se mencionó reiteradamente, en los apéndices se encuentran las fórmulas utilizadas para los cálculos o la indicación de donde encontrarlas.

## 9 PROCEDIMIENTO

### 9.1 ELECCIÓN Y ANÁLISIS DEL MATERIAL

Para poder realizar la comparativa entre los diferentes tamaños y geometrías de probeta en tracción y fractura, fue necesario contar con un material que sea lo más homogéneo posible en sus propiedades mecánicas de acuerdo con los requerimientos indicados en el punto 1.8 de la norma ASTM E1921-22 [16]. Al momento de la realización de la tesis, se contaba con un bloque denominado por la IAEA como JFL (Figura 19), cuyas dimensiones aproximadas se encuentran en la Figura 20. Este material fue utilizado en un *Coordinate Research Program, Fase III* de los años 90 en el cual la CNEA fue participante.

El material es un acero A508-3 [23]. La composición se detalla en la Tabla 1.

Elemento [% en peso]	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al
JFL	0,17	0,25	1,44	0,004	0,002	0,01	0,75	0,20	0,51	0,004	0,016

Tabla 1 - Composición del JFL [23]

Este cupón fue extraído de la parte inferior de un RPR producido por Kawasaki Steel Corporation [24]. El acero fue producido mediante el proceso BOF-RH en un lingote hueco. En la Figura 17 se resume el proceso.

Los parámetros para el tratamiento térmico se indican en Figura 18.

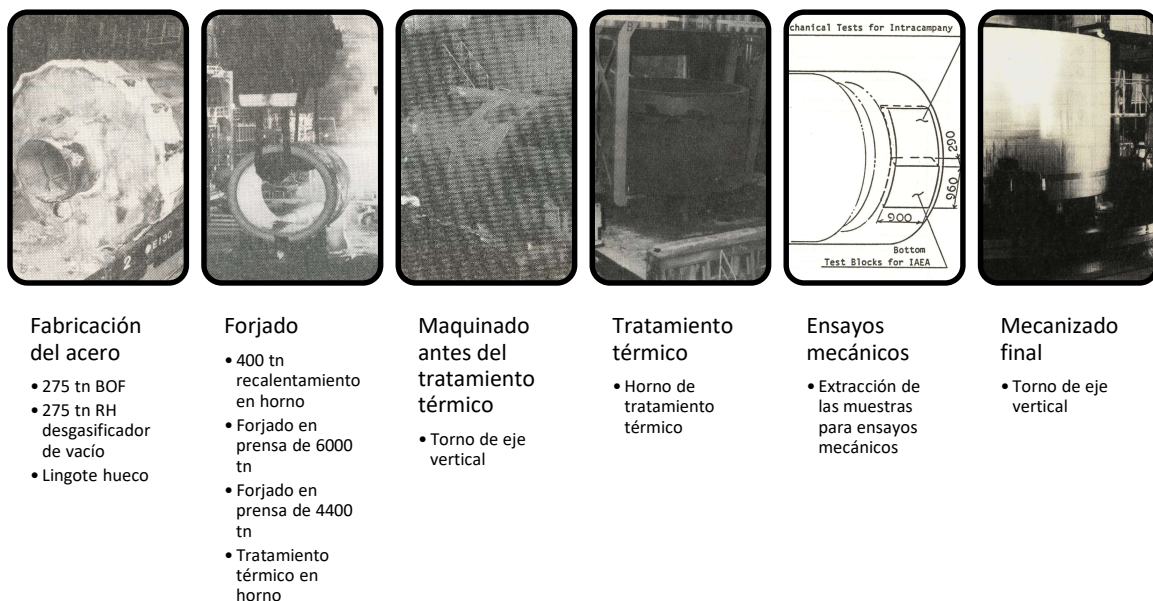


Figura 17 - Esquema de proceso de fabricación del RPR y obtención de muestras [24]

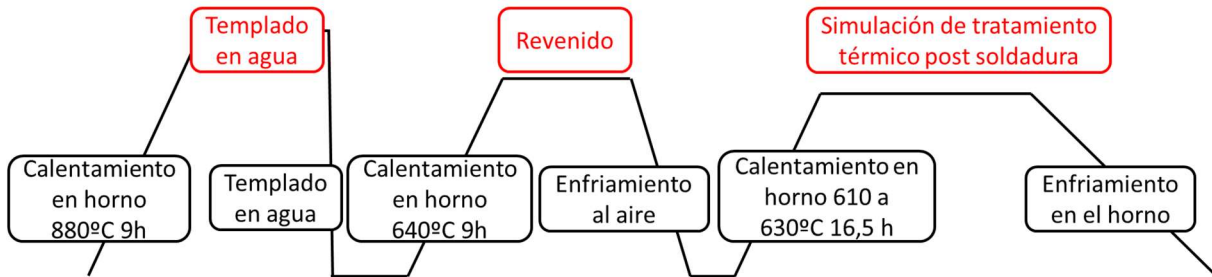


Figura 18 - Tratamientos térmicos del material utilizado [23]

### 9.1.1 Seccionamiento y fabricación de probetas

Para cumplir con el objetivo de la tesis, se necesitaba mecanizar probetas de tracción, de Charpy y de fractura para su posterior ensayo. Para hacer la comparativa entre diferentes tamaños y geometrías, era imprescindible que las probetas tuviesen propiedades mecánicas lo más similares posible. Debido a esto, se plantearon 2 esquemas de elección de probetas a la hora de seccionar el material, los cuales dependen del análisis en probetas de tracción y de fractura. En la Figura 20 se observa el despiece general del bloque.



Figura 19 - Bloque bruto

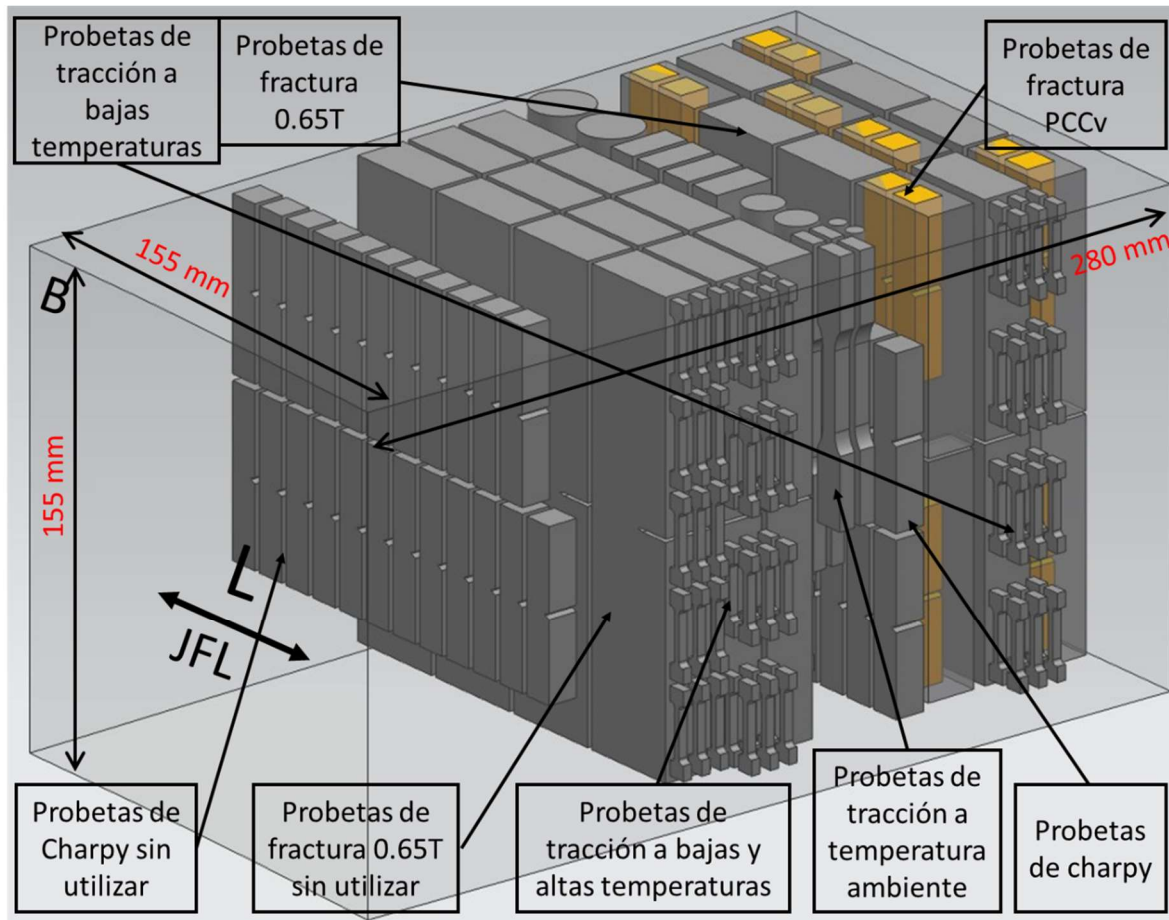


Figura 20 - Esquema general de ubicación de probetas en el bloque

### 9.1.1.1 Obtención de las probetas de Tracción

La comparativa de resultados de ensayos de probetas de tracción fue realizada a temperatura ambiente, lo cual es considerado por la norma ASTM E8M-16a [12] como una temperatura entre 10 y 38°C. Se seleccionó una porción del bloque lo más estrecha posible, en la cual todas las probetas estaban contenidas en una sección de espesor relativamente pequeña. Como se mencionó anteriormente, el espesor total del bloque era de 280 mm, y todas las probetas se mecanizaron de una sección de 20 mm de espesor como se indica en la Figura 21. La orientación de las probetas de tracción fue en la dirección T siguiendo la nomenclatura de la norma ASTM E636-14 [25].

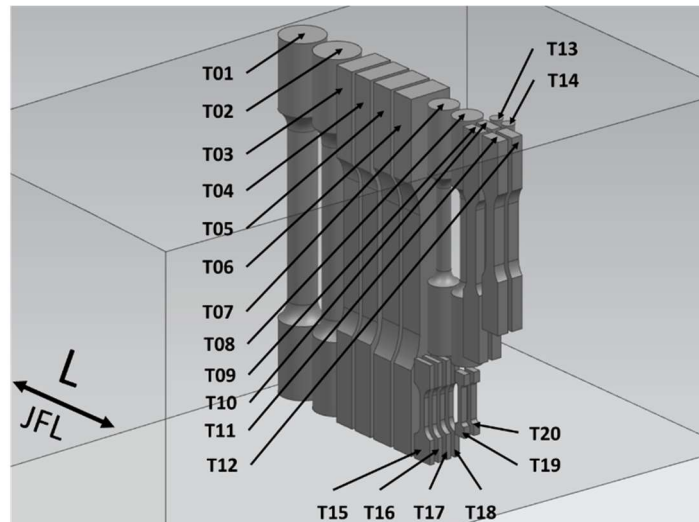


Figura 21 - Ubicación de las probetas de tracción a temperatura ambiente

Se mecanizaron 2 probetas de cada geometría y tamaño. El listado de todas las probetas mecanizadas se encuentra en la Tabla 2. Los bloques de probetas fueron cortados con una sierra sin fin. Las probetas redondas se tornearon en un torno paralelo y las prismáticas primero fueron fresadas para aproximarlas a sus medidas, luego rectificadas y finalmente fueron fresadas en un centro de mecanizado CNC. En todas las probetas se prestó particular atención a la terminación superficial de las mismas para que este factor no genere influencia en los resultados de los ensayos. De ahí que las mismas fueron rectificadas y para poder mecanizar las zonas calibradas se utilizaron separadores de cobre en el contacto entre la probeta y los dispositivos de sujeción de la misma para evitar que se marcara la probeta.

Para el mecanizado de las probetas, se construyeron o modificaron cuatro dispositivos de agarre. La función de los mismos es sujetar un prisma rectificado del material y poder mecanizar sobre estos las secciones calibradas de las probetas.

Las probetas de tracción mecanizadas T01, T02, T03, T04, T07, T08, T09 y T10 se encuentran entre las recomendadas por la norma ASTM E8/E8M-16a [12], la cual fue utilizada para realizar estos ensayos. Las demás probetas guardan relaciones de proporcionalidad entre diámetros o anchos y el largo de la sección calibrada recomendadas por la norma. Una excepción es la T19 y T20, las cuales poseen ciertas diferencias que serán analizadas más adelante en el texto. Los planos con las dimensiones de las probetas se encuentran en el *Apéndice I*.

Por otro lado, se realizaron ensayos de tracción en un rango amplio de temperaturas para obtener las curvas de propiedades mecánicas en función de la temperatura (con temperaturas por encima y debajo de la temperatura ambiente) y otra curva sólo a temperaturas bajas. Para obtener estos datos fue necesario realizar ensayos de tracción de una gran cantidad de probetas. Las correspondientes al primer caso, se obtuvieron de la sección media del bloque. Las requeridas para las bajas temperaturas se extrajeron de la sección de probetas de fractura debido a que son requeridas como dato para los ensayos necesarios para la Master Curve, por lo tanto, sus propiedades mecánicas deben ser obtenidas para esa misma posición dentro del bloque. Además, las mismas deben seguir la orientación normal al plano de fractura de las probetas de la Master Curve, por lo tanto, su orientación es igual a la de las probetas de temperatura ambiente, es decir, T. Las probetas que fueron utilizadas para estos ensayos son de tipo REVE.

Objetivo	Tipo	Geometría	Cantidad	Nomenclatura
Tracción comparativos a T ambiente	Tracción	Diversas	20	T01-T20
Tracción a bajas y altas temperaturas	Tracción	REVE	39	TF01-T39
Tracción a bajas temperaturas	Tracción	REVE	24	TFE01-TFE24
Curva de transición dúctil frágil (DBTT) (no fueron utilizadas ver punto 9.1.1.2)	Charpy	Charpy 10x10	23	C01-C11, C13-C24
Curva de transición dúctil frágil (DBTT)	Charpy	Charpy 10x10	24	CE01-CE24
Fractura para Master Curve (no utilizados ver punto 9.1.1.3)	SE(B)	$B=W/2=0.65T^*$	12	F01-F12
Fractura para Master Curve	SE(B)	$B=W/2=0.65T^*$	12	F13-F24
Fractura para Master Curve	SE(B)	PCCv	36	13A, 13B, 13C, 13D 24A, 24B, 24C, 24D... **

\*En fractura el término "X.XXT" implica una fracción de un espesor de una pulgada. En el caso de 0.65T, el espesor es de  $0,65 \times 25,4 = 16,51$  [mm]

\*\*La nomenclatura no permite listar las probetas enteras en el cuadro, las cuales son: 13A, 13B, 13C, 13D, 14A, 14B, 14C, 14D, 16A, 16B, 16C, 16D, 18A, 18B, 18C, 18D, 19A, 19B, 19C, 19D, 21A, 21B, 21C, 21D, 23A, 23B, 23C, 23D, 24A, 24B, 24C, 24D.

Tabla 2 - Listado de probetas fabricadas a partir del bloque JFL

### 9.1.1.2 Obtención de las probetas de Charpy

Se realizaron ensayos de impacto a distintas temperaturas en probetas de tipo Charpy bajo la norma ASTM E23-18 [26] para obtener la curva de transición dúctil-frágil y así obtener la temperatura correspondiente a esa transición. Esta temperatura es un parámetro que, como se verá en el procedimiento de fractura, es útil a la hora de elegir temperaturas de ensayo para la determinación de la Master Curve. Al igual que con las probetas de tracción para los ensayos a baja temperatura, estas probetas deben ser lo más próximas posibles a la zona de las probetas de fractura para que las mismas posean propiedades mecánicas similares. A su vez, deben seguir la misma orientación que las probetas de fractura, la cual es T-L siguiendo la nomenclatura de la norma ASTM E636-14 [25] o ASTM E399-12 [18].

Originalmente, se extrajeron probetas en una sección ubicada a 1/4 de espesor desde el interior del anillo forjado (1/4t). Se realizó de esta manera debido a que se utilizaría la sección media del espesor del bloque (1/2t) para extraer las probetas de fractura. Sin embargo, luego de extraídas estas probetas, se decidió realizar un ataque macrográfico en la cara superior del bloque con el objetivo de poder visualizar las macrosegregaciones del material. Se tomó esta decisión luego de realizar consultas respecto de los sectores del bloque que menor dispersión de resultados puedan presentar debido a los procesos de fabricación del mismo. Estas macrosegregaciones no influyen mayormente en los ensayos de tracción, pero si lo hacen mucho en las propiedades a la fractura del material debido a que son iniciadores de la fisura.

Para efectuar el macroataque, primero se rectificaron las caras superiores de los bloques para luego pulir hasta llegar a un papel de granulometría 600. Debido a que los bloques seguían teniendo grandes dimensiones, los mismos no podían ser sumergidos en la solución necesaria para realizar el macroataque. Es por esto que se optó por calentar los mismos a 100°C en un horno para posteriormente volcar sobre las caras previamente mecanizadas HCl al 50%, solución que fue calentada a una temperatura entre 80 y 100°C. El ataque fue de 10 minutos. El resultado se observa en la Figura 22. Al examinar la superficie, se destacan las macrosegregaciones, las cuales se encuentran en mayor cantidad en el interior del anillo forjado que en el exterior. Es debido a esto que se decidió volver a cortar y mecanizar probetas en la

sección externa. Esto no es sólo debido a que se presupone mejores propiedades mecánicas, sino también que se observa más homogéneo el material en esa zona.

Por lo tanto, se terminaron extrayendo otro set de probetas de Charpy que se observan en la Figura 20, ubicadas más hacia el lado externo del bloque y más cercanas al nuevo set de probetas de fractura. Para poder obtener una curva DBTT en un material de RPR, la norma ASTM E185-02 [6] recomienda un mínimo de 15 ensayos. Sin embargo, se mecanizaron 24 probetas para obtener un mejor ajuste al momento de realizar la regresión de la curva, aunque no todas las probetas requirieron ser ensayadas.

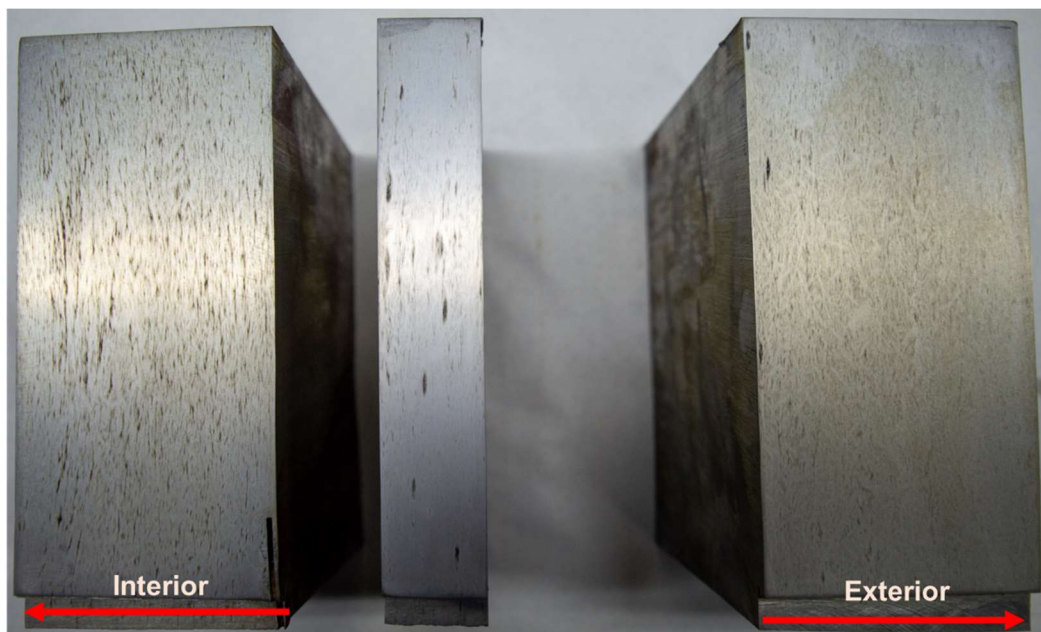


Figura 22 - Macrografía en los bloques del JFL

### 9.1.1.3 Obtención de las probetas de Fractura

Como se mencionó en el punto anterior, al comienzo de la tesis se seleccionó la sección del medio del bloque para extraer las probetas de fractura, pero debido a las condiciones metalúrgicas del mismo (macrosegregación), se optó por utilizar la zona externa. Se mecanizaron 12 probetas SE(B) en la dirección T-L con una sección B de  $0.65 T$  (0,65"). Se decidió utilizar este tipo de probeta porque el largo de la misma según la norma ASTM E399-12 [18] es de 148,59 mm, y el bloque tiene un largo aproximado en la dirección T de 150 mm lo cual permite, como máximo, una probeta de ese tamaño del tipo SE(B).

Para mecanizar las probetas tipo PCCv de fractura, se utilizaron las mitades rotas sobrantes de los ensayos de 0.65T. Por cada probeta de estas últimas se pudo extraer hasta 4 probetas PCCv en la misma dirección (T-L) de ensayo (Figura 23). Los planos con las dimensiones de las probetas PCCv como las de 0.65T se encuentran en el *Apéndice I*.

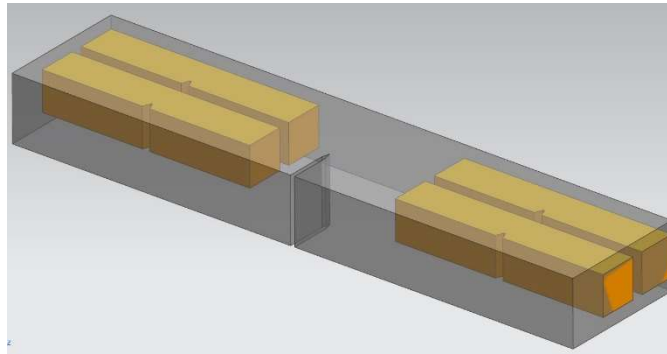


Figura 23 - Croquis de la extracción de probetas PCCv a partir de la 0.65T

## 9.2 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Antes del ensayo de las probetas de tracción, se realizó una medición de dureza en cada probeta para verificar la similitud en los valores de propiedades mecánicas, lo que se había buscado de antemano al elegir una sección del mismo espesor para extraer las probetas. El método elegido fue el HRBW, siguiendo la norma ASTM E18-20 [27]. Se utilizó un durómetro Galileo modelo H1 A1 (Figura 24). Los resultados se encuentran en el *Apéndice II*. En dichos resultados se observa poca variabilidad, lo cual es condición necesaria, aunque no suficiente, para tener homogeneidad en el material. Ninguna medición supera el 2% de diferencia del promedio. Si se eliminan las probetas redondas y las REVE del promedio, ninguna se desvía en más del 1%. Esto es debido a que se observan efectos de borde en las probetas REVE y las cilíndricas. En las REVE, no se cumple la distancia mínima requerida por la norma que tiene que haber de la impronta a los bordes. En el caso de las cilíndricas la impronta no es sobre un plano, sino un redondo. Si bien para estas últimas la norma ofrece una tabla de corrección, la medición es menos precisa.



*Figura 24 - Durómetro Galileo  
utilizado para los ensayos de dureza*

Luego de la verificación de dureza, se procede al ensayo de las probetas. Es importante recordar que la comparativa entre diferentes geometrías y tamaños en tracción se realizó con todos los ensayos a temperatura ambiente y siguiendo la norma ASTM E8/E8M-16a [12].

Se utilizó para ensayar las probetas una máquina universal servohidráulica MTS con marco de carga Landmark 870.10 y controlador Flextest 60 (Figura 25). La misma posee unas mordazas hidráulicas que, con las cuñas correctas, permite realizar ensayos de tracción en probetas estándar. Sin embargo, para los ensayos en probetas de tipo REVE, fue necesario el diseño y construcción de un dispositivo, el cual también debía ser utilizado a bajas y altas temperaturas (Figura 26).

Por otro lado, para poder obtener la  $\sigma_{0.2}$  fue necesario la utilización de tres tipos de extensómetros debido a los diferentes tamaños. En todos los casos se siguieron las pautas que la norma ASTM E8M-16a [12] exige para este tipo de ensayos, las cuales serán mencionadas en los análisis de resultados. La excepción son las probetas tipo REVE, las que fueron ensayadas sin la implementación de extensometría debido a que el objetivo particular en este tipo de probeta no sólo es verificar la variación con la geometría y tamaño, sino la ausencia de extensómetro a la hora de calcular el  $\sigma_{0.2}$ . Esta condición es similar a la que se presenta en los ensayos en las celdas calientes con material irradiado.

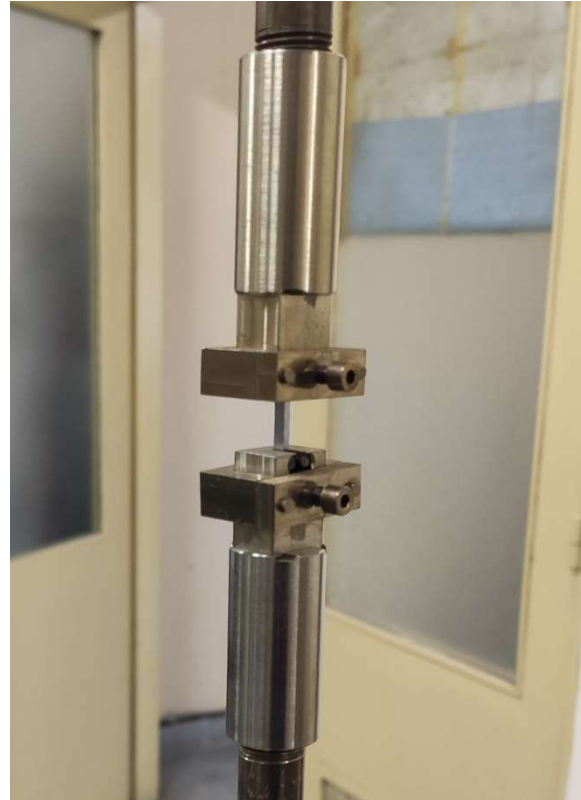


Figura 25 - Máquina utilizada para realizar los ensayos      Figura 26 - Dispositivos construido para ensayar probetas tipo REVE

La velocidad de ensayo se seleccionó a través del “método de control C”, el cual se encuentra en el punto 7.6.4.3 de la norma ASTM E8M-16a [12]. Se mantuvo una misma velocidad de deformación de 0,012 mm/mm/min entre cabezales de la máquina para todas las probetas para eliminar la influencia de la velocidad en los ensayos. Este tipo de control se suele utilizar en los ensayos de tracción en el laboratorio de fractomecánica, sin embargo, cobra importancia en este caso en particular debido a que el método del punto 7.6.4.1 de la norma de ensayo (control por carga) puede generar resultados no deseables en materiales sensibles a la velocidad de deformación, especialmente en parámetros que van a ser analizados en la presente tesis.

En la Figura 27 se observa el ensayo de la probeta 18 realizado con un extensómetro de 7,62 mm (0,3”).



Figura 27 - Ensayo de tracción en la probeta 18



Figura 28 - Probetas de comparativa en tracción ensayadas a temperatura ambiente

### 9.3 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS

#### 9.3.1 Ensayos de tracción para la obtención de la curva de propiedades mecánicas en función de la temperatura

La curva de propiedades mecánicas en función de la temperatura se obtuvo a partir de 36 ensayos de tracción a diferentes temperaturas con probetas de tipo REVE. En todas las temperaturas se procuró obtener por lo menos dos probetas que presentaran rotura en el 50% central de la zona calibrada de la misma debido a que esa posición de rotura es un requerimiento de la norma para obtener el valor de elongación a la rotura. Los ensayos se hicieron acorde a la norma ASTM E21-20 [28] que establece los criterios para ensayos a altas temperaturas. Estos criterios fueron también utilizados para los ensayos a bajas temperaturas.

Para la realización de los ensayos se utilizó la misma máquina de ensayos con el dispositivo para ensayar este tipo de probetas. Se utilizó además una cámara ambiental fabricada por personal del laboratorio, la cual puede operar desde aproximadamente  $-135^{\circ}\text{C}$  hasta  $400^{\circ}\text{C}$ . El dispositivo montado con la probeta se observa en la Figura 29.

Para los ensayos a altas temperaturas, la cámara cuenta con resistencias eléctricas aisladas, mientras que, para temperaturas bajas, se utiliza nitrógeno gaseoso a baja temperatura, el cual es provisto mediante un tanque de nitrógeno líquido que se evapora dentro de una serpentina en el mismo tanque (Figura 30). Este método requiere un equilibrio entre la cantidad de presión del tanque, la temperatura deseada y el nivel de nitrógeno líquido, ya que cuanto más vacío, más inestable es el sistema y más difícil es mantener la temperatura, especialmente con temperaturas muy bajas (menores a  $-100^{\circ}\text{C}$ ). En todo momento, un forzador de aire que está situado en una pre-cámara permite homogeneizar la temperatura.

A los instrumentos utilizados, se suman los sensores de temperatura. Para los ensayos de tracción, se utilizaron dos sensores PT 100 conectados a la cámara ambiental, uno de control y el otro de alarma. Ambos sensores fueron contrastados con una termocupla con calibración trazable para las altas temperaturas y con una termoresistencia calibrada para bajas temperaturas. Ambas contrastaciones cumplen los requerimientos de la norma ASTM E21-20 [28].



Figura 29 - Cámara ambiental y dispositivo para ensayos a altas y bajas temperaturas



Figura 30 - Ensayo a bajas temperaturas con nitrógeno líquido

De esta manera, se pudieron realizar los 36 ensayos para obtener la curva de propiedades mecánicas desde  $-120^{\circ}\text{C}$  hasta  $350^{\circ}\text{C}$ . Tres probetas no fueron ensayadas (Figura 31). Los informes de los ensayos se encuentran en el *Apéndice IV*.



Figura 31 - Probetas de tracción TF ensayadas

### 9.3.2 Ensayos de tracción para la obtención de la curva de propiedades mecánicas en función de la temperatura para la Master Curve

El procedimiento para estos ensayos fue igual al de las probetas de tracción anterior. Se ensayaron 19 de las 24 probetas mecanizadas (Figura 32). En caso de no poseer material, la norma ASTM 1921-20 [22] ofrece una curva de ajuste a partir de datos de tracción a temperatura ambiente, sin embargo, es más preciso el contar con una curva a partir de una regresión de datos de ensayos sobre el material. Los informes de ensayos se encuentran en el *Apéndice V*.



Figura 32 - Probetas de tracción rotas TFE

### 9.3.3 Ensayos de Charpy

Para poder obtener las curvas de energía, expansión lateral y % de fractura dúctil en función de la temperatura, se realizaron 22 ensayos de flexión por impacto tipo Charpy a diferentes temperaturas. El objetivo era encontrar la curva de transición dúctil frágil, debido a que a partir de la misma se obtienen valores característicos que sirven para elegir la temperatura de inicio de ensayos de fractura para la Master Curve.

El método de ensayo está enmarcado en la norma ASTM E23-18 [26], sin embargo, la elección de las temperaturas para caracterizar la curva de transición se realizó por prueba y ajuste. Primero se ensayó una probeta a temperatura ambiente y luego, mediante bibliografía existente sobre curvas del mismo material, se eligió una temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$  para posteriormente ir ajustando temperaturas que completen la curva en las zonas necesarias.

Para poder realizar estos ensayos a temperaturas, en su mayoría, bajo cero, se utilizó un dispositivo desarrollado y construido por la división de Daño por Radiación, el cual se observa en la Figura 33 junto con el péndulo y dispositivos complementarios. Además, para la temperatura más alta, se utilizó un horno. La norma requiere para ensayos en medios gaseosos un tiempo de estabilización mayor que en líquidos. En este caso, la probeta estuvo el doble de tiempo que el requerido por norma.



*Figura 33 - Dispositivos e instrumentos para realizar los ensayos de Charpy*

En estos ensayos, se realizó un cambio en el sensor respecto de los ensayos de tracción. Se incorporó una termocupla tipo T, que permite un sensor con una punta más pequeña, por lo tanto, con menor tiempo de reacción ante cambios y más fácil de utilizar para regular temperaturas. La termocupla junto con su lector correspondiente, sumado a otros sensores fueron calibrados internamente en una cámara ambiental MTS modelo LBO-18-11.25-12-1X donde se colocaron los siguientes sensores:

- Termocupla tipo T de control de la MTS
- Termocupla tipo T de alarma de la MTS
- Termoresistencia PT100 calibrada con patrones trazables
- Termoresistencia PT100 conectada al horno utilizado en tracción
- Termocupla tipo T conectada al horno utilizado en tracción
- Termocupla tipo T conectado a un lector modelo Smartmeter de novus

Se realizó una rampa de temperatura desde -100°C hasta 100°C y se trazaron las curvas de calibración correspondientes tomando como temperatura real la indicada en la termoresistencia calibrada (Figura 34). Se encontró un acuerdo excelente entre la termoresistencia calibrada con la termocupla de alarma de la MTS. Las diferencias con respecto a los otros sensores fueron todas menores a 4°C y ajustadas con una recta de calibración reduciendo a menos de 1°C de error. Un caso aparte es la termocupla tipo T conectada a la cámara ambiental que se utilizó para los ensayos de tracción. Esta posee una diferencia grande, pero sólo se utilizó como control, y no como sensor de temperatura real sobre la probeta, lo cual se detalla más abajo en los ensayos de fractura.

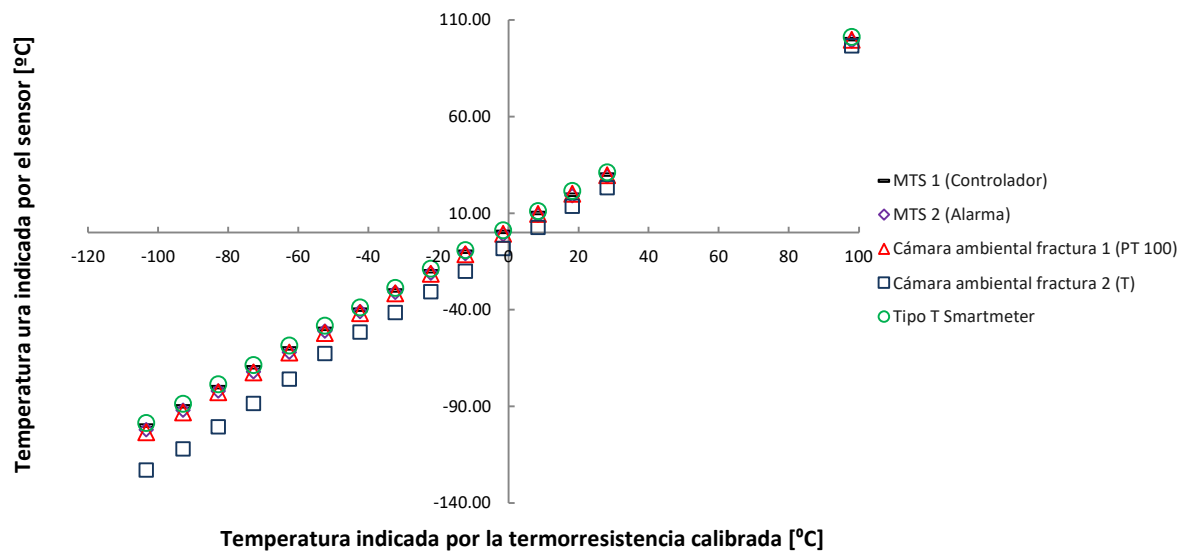


Figura 34 - Gráfico de calibración de sensores térmicos

Respecto del instrumental de ensayo, la máquina que se utilizó es un péndulo Instrón modelo SI-1K3. Este se encuentra instrumentado en el tup (elemento golpeador), por lo tanto, se pudieron registrar los valores de fuerza en función del tiempo durante la rotura de cada probeta.

Una vez ensayadas las probetas, se tomaron como datos la energía absorbida como así también la expansión lateral y el % de fractura dúctil respecto de la total. La expansión lateral fue medida mediante un dispositivo fabricado para tal fin de acuerdo a la norma ASTM E23-18 [26] (Figura 35). Se debió prestar especial atención a las zonas donde la probeta apoya sobre los anvil (elementos de soporte). Debido a este contacto, se genera una indentación de la probeta que puede afectar a la medición de la misma en el dispositivo, especialmente en probetas frágiles, donde la deformación

es menor y el error de medición porcentual producido es mayor. En algunos casos fue necesario limar la zona afectada por el golpe para lograr un buen apoyo sobre el dispositivo.

Para la medición del % de fractura dúctil, se utilizó un escáner fotográfico EPSON V600. El sistema utilizado se describe en el *Apéndice XIII*, el cual funciona como instrumento de medición, siguiendo el procedimiento de la norma. Los resultados y mediciones de los ensayos se encuentran en el *Apéndice VIII*.



Figura 35 - Dispositivo para medición de entalla lateral

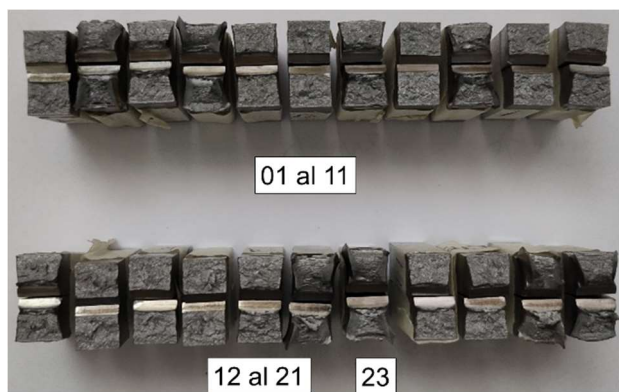


Figura 36 - Probetas ensayadas

### 9.3.4 Medición del módulo elástico

El módulo elástico del material ( $E$ ) a la temperatura de ensayo es un dato necesario para poder realizar los cálculos para fractura y, por lo tanto, la Master Curve. Sin embargo, la medición del módulo elástico a través de la norma ASTM E111-04 [29] requiere realizar los ensayos con dos extensómetros y con probetas grandes y más largas que las utilizadas en los ensayos a temperatura ambiente a baja temperatura. Debido a estas imposibilidades se realizó solamente una medición a temperatura ambiente por ultrasonido y luego, para bajas temperaturas, se ajustó el valor a través de una fórmula otorgada por la norma ASTM E1921-20 [22]. La fórmula de la norma difería en 8,4 GPa a temperatura ambiente respecto de la medición realizada en el laboratorio. Esta fórmula otorgada por la norma ASTM E1921-20 [22] es una regresión lineal a partir de información obtenida del código ASME sección II, parte D. Como solución de compromiso, se decidió conservar la pendiente de la curva

y ajustar la ordenada al origen para que coincida con lo obtenido experimentalmente a temperatura ambiente.

Para poder obtener el módulo elástico  $E$  y el coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), se necesitó medir la velocidad longitudinal y transversal del material y tener la densidad del mismo. Para esto se utilizó una probeta de fractura 0.65T sin entallar. Se pesó, se tomaron las dimensiones y se calculó la densidad. Para medir la velocidad, tomamos como marco la norma ASTM E494-15 [30]. El instrumento utilizado fue un Krautkramer USM 35 con un palpador transversal y uno longitudinal (Figura 37). Con los datos obtenidos se calculó un  $E = 211,07 \text{ GPa}$  y un  $\nu = 0,29$  ( *Apéndice IX*).



Figura 37 - Equipo de ultrasonido y palpador transversal

Además de esta medición, se obtuvo un valor aproximado del módulo elástico de las probetas de tracción a temperatura ambiente a partir de la pendiente de la curva tensión-deformación con la excepción de las probetas T19 y T20 debido a que estos ensayos se realizaron sin extensómetro. La diferencia con la obtenida por ultrasonido fue de menos del 4% en todos los tipos de probeta menos en T05-T06 (5,66% de diferencia) y en la T15-T16 (7,48% de diferencia), lo cual es lógico debido a que las probetas son cortas o pequeñas, por lo que la zona calibrada no cumple los requerimientos de la ASTM E111-04 [29] y eso afecta a la medición (los cálculos se encuentran en el *Apéndice IX*).

## 9.4 MASTER CURVE

### 9.4.1 Probetas 0.65T

Como ya ha sido mencionado, en esta etapa se realizaron dos Master Curve con el mismo material, pero con probetas de distinto tamaño. Los ensayos fractomecánicos realizados requieren de una preparación especial de la probeta, verificaciones para la validez de los mismos y problemas a tener en cuenta. La norma marco que se utilizó para los ensayos es la ASTM E1921-20 [22]. Sin embargo, en el transcurso de la tesis hubo modificaciones en la misma y se cambió a la ASTM E1921-22 [16]. Estas modificaciones serán analizadas más adelante en el texto.

La máquina utilizada para los ensayos fue la misma MTS que para los ensayos de tracción, con dispositivos para ensayar la probeta SE(B). La cámara ambiental utilizada fue la misma que para los ensayos de tracción. Sin embargo, se optó por un control y verificación de temperatura distintos. Hubo dos termocuplas tipo T: una de control y una conectada al lector de temperatura modelo Smartmeter, ambas firmemente pegadas a la entalla. A su vez, se utilizó una termoresistencia PT100 como sensor de alarma (Figura 38). No se utilizó extensómetro y en cambio la medición fue realizado directamente a través del sensor LVDT del actuador hidráulico descontando posteriormente el desplazamiento elástico de la máquina. La velocidad en los ensayos fue de 0,131 mm/min sobre el actuador.

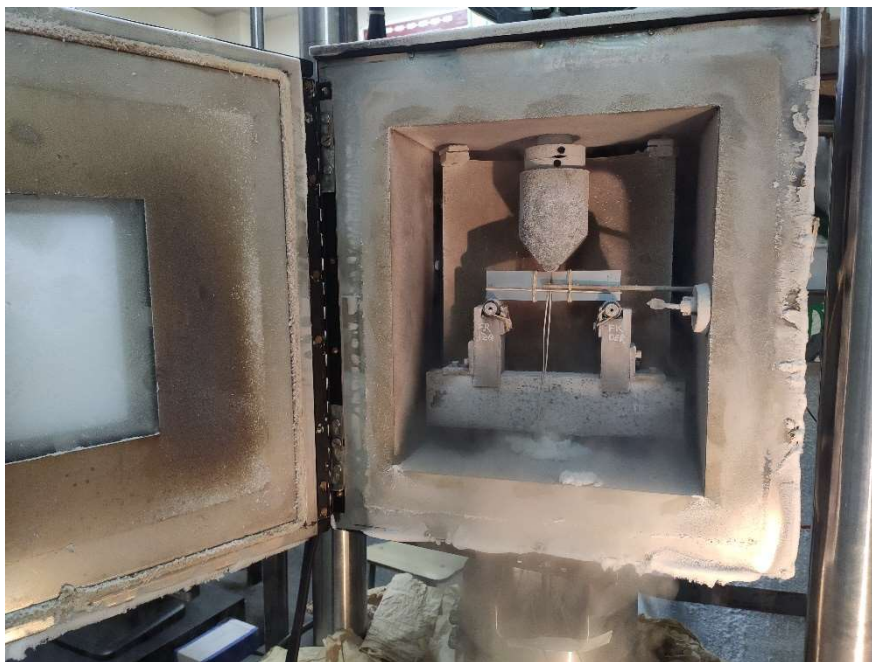


Figura 38 - Probetas 0.65T y dispositivos luego de realizado un ensayo

Las 12 probetas fueron previamente preparadas siguiendo los parámetros de la norma a través de la generación de una prefisura por fatiga con una frecuencia de ciclado de 20 Hz, un R de 0,1 y un K final de  $14 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  (para mayor detalle, ver informes de ensayo en el *Apéndice VI*). Todos los ensayos válidos tuvieron una prefisura en el rango de  $0,45 < a/W < 0,55$  según lo especificado por la norma.

Para poder calcular el largo de la entalla mecánica y los pasos de prefisurado que permitan cumplir la norma se crearon, para la presente tesis, dos programas semiautomáticos de cálculo (*Apéndice XI*).

Por recomendación de la norma, luego del prefisurado de las probetas, se realizó un side groove (o entalla lateral) de ambos lados de la fisura con una reducción de sección nominal de  $0,2B$ .

Las mediciones posteriores de los largos de las prefisuras y (si existiesen) el crecimiento dúctil, fueron realizadas con las especificaciones de la norma a través del mismo método (sistema óptico) utilizado para la medición del % de fractura dúctil en los ensayos de Charpy (*Apéndice XIII*).

Se optó por utilizar el método de multitemperatura, y se eligieron tres temperaturas entre  $-100^{\circ}\text{C}$  y  $-76^{\circ}\text{C}$ . La primera de estas fue seleccionada teniendo en cuenta el valor  $T_{41J} = 91^{\circ}\text{C}$  obtenido en los ensayos de Charpy (Punto 10.3).

Luego de los ensayos se realizan los análisis y se determinan las curvas que se detallan en la sección 10.4.1.



Figura 39 - Probetas 0.65T ensayadas

### 9.4.2 Probetas PCCv

Para las 25 probetas PCCv el procedimiento fue similar al de las de 0.65T. La norma marco (ASTM E1921-22 [16]), máquina de ensayos, cámara ambiental, sensores e instrumentos fueron los mismos. El dispositivo utilizado para el ensayo necesariamente fue distinto y se diseñó y construyó desde cero cumpliendo los requerimientos de la norma (Figura 40).

La velocidad en los ensayos fue de 0,144 mm/min sobre el actuador. La frecuencia de ciclado para generar la prefisura por fatiga fue de 20 Hz, un R de 0,1 y un  $K$  final de  $14 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ . Todos los ensayos válidos tuvieron una prefisura en el rango de  $0,45 < a/W < 0,55$ . El side groove se hizo con una reducción total de  $0,2B$ .

Las mediciones posteriores fueron iguales a las de 0.65T. También se optó por el método de multitemperatura, y se eligieron 5 temperaturas entre  $-120^{\circ}\text{C}$  y  $-100^{\circ}\text{C}$ . La temperatura de los primeros ensayos se seleccionó a partir de los datos del  $T_0$  de la Master Curve obtenida de las probetas 0.65T.

Los análisis y curvas determinadas se detallan en la sección 10.4.2. Los informes se encuentran en el *Apéndice VII*.



Figura 40 - Probeta PCCv montada sobre los dispositivos



Figura 41 - Probetas PCCv ensayadas

## 10 CÁLCULO DE DATOS

---

### 10.1 TRACCIÓN

Luego de realizar los ensayos de tracción, se analizaron los datos de los mismos para calcular los siguientes parámetros:

- Tensión de fluencia 0,2% ( $\sigma_{0.2}$ ) o tensión de fluencia inferior ( $\sigma_{LYS}$ )
- Tensión máxima ( $\sigma_{UTS}$ )
- Tensión de fractura ( $\sigma_{fr}$ )
- Elongación total porcentual ( $\varepsilon_T$ )
- Elongación uniforme plástica porcentual ( $\varepsilon_U$ )
- Estricción porcentual ( $Z$ )

Con este objetivo, se modificó un programa de análisis de datos de ensayos de tracción elaborado por la división de fractura y así poder obtener otras propiedades complementarias no analizadas por la versión previa del programa (*Apéndice XII*).

La  $\varepsilon_T$  fue calculada por 2 métodos. Uno, mediante marcas en la probeta, cuya distancia entre las mismas cumple con la norma y será más profundizada en detalle en la siguiente sección ( $\varepsilon_{TM}$ ). El otro método fue a través del análisis del gráfico de fuerza/deformación (del LVDT), en el cual se tiene en cuenta la longitud de la sección calibrada de la probeta ( $\varepsilon_{TG}$ ). Ambos métodos miden la deformación permanente de la probeta post rotura, por lo tanto, en el método del gráfico, se descuenta la deformación elástica de la probeta para el cálculo.

La  $\varepsilon_U$  fue calculada a través del gráfico, también con el LVDT como sensor de deformación, y teniendo en cuenta como longitud original la sección calibrada de la probeta. **Cabe recordar que no se realizó para los ensayos de tracción ninguna corrección por rigidez de la máquina.**

La  $\sigma_{0.2}$  se calculó siguiendo los parámetros de la norma. En algunas probetas se presentaba el fenómeno de fluencia discontinua. En esos casos se tuvo en cuenta como comparativa de propiedades la  $\sigma_{LYS}$ , obtenida de acuerdo con la norma. En estos últimos casos se calculó también la tensión de fluencia superior ( $\sigma_{UYS}$ ), la cual se analizará en la siguiente sección. Los resultados se observan en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tamaño	Identificación de probeta	$\sigma_{0.2}$ o $\sigma_{LYS}$ [MPa]	$\sigma_{UYS}$ [MPa]	$\sigma_{UTS}$ [MPa]	$\sigma_{fr}$ [MPa]
Grandes	T01	475,15	496,01	615,85	371,81
	T02	468,13	493,14	610,36	366,91
	T03	468,90	489,03	608,80	370,79
	T04	471,21	490,35	611,01	375,09
	T05	471,38	488,35	612,54	371,79
	T06	465,79	482,24	608,86	378,56
Medianas	T07	477,98	479,04	613,54	351,22
	T08	464,85	467,87	607,07	351,00
	T09	465,64	466,80	607,60	365,32
	T10	461,36	471,34	601,22	368,58
	T11	479,91	482,91	623,23	383,26
	T12	471,10	---	610,65	361,73
Pequeñas	T13	474,94	477,19	615,70	342,74
	T14	477,88	---	612,86	331,26
	T15	472,20	---	615,56	343,07
	T16	460,17	---	601,79	369,82
	T17	463,99	---	606,20	340,99
	T18	473,61	---	607,09	356,48
REVE	T19	468,67	---	602,76	379,16
	T20	463,29	---	599,98	358,79
<b>Promedio</b>		469,81	479,87	609,63	361,92

\*El  $\sigma_{0.2}$  es el valor calculado si no se indica el valor de  $\sigma_{UTS}$ .

Tabla 3 - Tensiones de los ensayos de tracción comparativos a temperatura ambiente

Tamaño	Identificación de probeta	Z [%]	$\epsilon_U$ [%]	$\epsilon_{TM}$ [%]	$\epsilon_{TG}$ [%]
Grandes	T01	71,05	10,98	24,09	21,79
	T02	71,30	9,60	22,59	20,59
	T03	66,49	11,60	27,86	26,03
	T04	66,04	11,30	27,50	25,61
	T05	67,71	11,37	29,35	27,17
	T06	66,56	11,19	28,53	25,84
Medianas	T07	72,58	9,19	22,17	19,74
	T08	70,78	8,91	22,23	18,95
	T09*	61,92	11,63	25,78	23,40
	T10*	63,82	11,68	26,21	24,05
	T11	65,21	10,85	29,07	24,46
	T12	66,42	11,95	29,75	27,77
Pequeñas	T13*	71,56	8,44	23,09	16,96
	T14**	70,71	8,30	21,80	16,83
	T15**	61,15	10,96	29,21	27,68
	T16	60,72	11,28	27,63	26,19
	T17*	62,50	13,41	32,01	31,03
	T18*	60,29	12,58	27,75	27,00
REVE	T19*	58,99	8,72	21,31	18,31
	T20*	58,63	10,18	22,45	23,65
<b>Promedio</b>		<b>65,72</b>	<b>10,71</b>	<b>26,02</b>	<b>23,65</b>

\*La probeta rompió fuera del 50% central

\*\*La probeta rompió en el borde del 50% central

Tabla 4 - Deformaciones de las probetas de tracción comparativos a temperatura ambiente

## 10.2 TRACCIÓN A ALTAS Y BAJAS TEMPERATURAS

Debido al que la tesis está enmarcada en la puesta a punto de ensayos mecánicos requeridos para poder realizar el ensayo de probetas de un programa de vigilancia de un RPR de una central nuclear, se tuvo en cuenta los requerimientos de la norma ASTM E2215-19 [31]. Según el punto 7.2.3 de esta norma, las propiedades mecánicas que se necesitan determinar mediante ensayos en un programa de vigilancia en función de la temperatura necesarias son las mismas que se reportaron en la comparación de probetas del punto anterior. Los datos se observan en la Tabla 5 y Tabla 6.

Identificación de probeta	Temperatura [°C]	$\sigma_{0.2}$ o $\sigma_{LYS}$ [MPa]	$\sigma_{UYS}$ [MPa]	$\sigma_{UTS}$ [MPa]
TF01	20,9	460,78	465,78	606,16
TF02	23,1	457,35	---	600,20
TF03	280	422,26	---	600,60
TF04	280	430,73	---	605,40
TF05	280	431,09	---	600,73
TF06	215	414,67	---	574,33
TF07	215	410,26	---	573,96
TF08	215	418,79	---	574,82
TF09	20,9	461,88	466,18	604,60
TF10	150	422,90	---	565,68
TF11	150	426,47	---	567,26
TF12	150	423,11	---	565,01
TF13	85	439,88	---	572,40
TF14	85	448,13	---	581,70
TF15	85	440,81	---	573,08
TF16	85	445,27	---	577,82
TF17	-40	496,64	501,89	663,07
TF18	-40	488,16	491,11	653,46
TF19	-40	491,53	494,46	653,36
TF20	-105	558,42	566,82	738,72
TF21	-105	550,79	563,69	**
TF22	-105	557,04	571,97	732,80
TF23	-105	547,52	552,96	730,05
TF24	350	398,97	---	575,14
TF25	350	404,93	---	573,21
TF26	350	408,43	---	575,84
TF27	-120	591,65	602,07	764,96
TF28	-120	590,71	596,97	761,22
TF29	-120	592,00	613,18	764,20
TF30	315	414,00	---	596,44
TF31	250	428,45	---	585,67
TF32	250	433,71	---	586,88
TF33	250	433,68	---	593,10
TF35	315	428,42	---	596,86
TF36	250	430,15	---	592,97
TF37	315	415,34	465,78	595,11

\*En caso de no haber  $\sigma_{LYS}$  el valor calculado es  $\sigma_{0.2}$ .

\*\*No se logró mantener la temperatura hasta el final del ensayo

Tabla 5 - Tensiones de fluencia y máximas de probetas de tracción ensayadas a diferentes temperaturas

Identificación de probeta	Temperatura [°C]	Z [%]	$\epsilon_U$ [%]	$\epsilon_{TM}$ [%]	$\epsilon_{TG}$ [%]
TF01	20,9	58,93	10,24	22,79	22,15
TF02	23,1	58,61	9,66	21,80	20,53
TF03	280	55,90	9,90	20,62	19,99
TF04	280	58,43	10,44	20,33	19,83
TF05*	280	57,28	7,98	19,88	17,95
TF06	215	53,33	9,55	21,21	19,54
TF07	215	57,36	8,30	19,77	17,72
TF08*	215	55,52	8,10	18,01	17,43
TF09	20,9	61,35	10,78	24,67	22,62
TF10	150	59,73	8,20	22,03	17,96
TF11	150	57,60	7,73	19,96	17,56
TF12**	150	56,79	8,85	20,85	18,16
TF13*	85	58,69	9,26	29,85	20,37
TF14*	85	58,61	8,71	19,70	19,99
TF15	85	56,22	9,48	20,87	19,48
TF16	85	59,63	9,88	20,39	20,30
TF17**	-40	57,25	10,93	22,07	21,91
TF18	-40	60,30	11,98	25,72	23,73
TF19	-40	59,90	11,83	25,18	24,69
TF20	-105	57,10	13,28	27,47	25,35
TF22	-105	58,44	12,43	26,09	24,75
TF23	-105	59,66	13,20	30,04	28,70
TF24	350	65,46	10,72	24,33	22,94
TF25	350	66,32	9,09	24,29	21,78
TF26	350	66,93	9,61	23,97	21,66
TF27	-120	58,48	12,98	29,61	28,26
TF28	-120	58,87	14,61	29,35	29,40
TF29	-120	56,70	14,37	27,56	26,61
TF30	315	64,82	11,26	25,75	23,54
TF31**	250	54,82	8,93	18,82	18,44
TF32	250	58,33	8,29	19,09	18,39
TF33*	250	59,59	8,56	18,65	18,37
TF35	315	59,64	11,06	25,46	23,45
TF36	250	54,62	9,49	21,81	18,98
TF37	315	62,52	9,86	23,31	22,66

\*La probeta rompió fuera del 50% central

\*\*La probeta rompió en el borde del 50% central

Tabla 6 - Deformaciones de las probetas de tracción a diferentes temperaturas

A partir de estos datos se graficaron dichas propiedades mecánicas en función de la temperatura (Figura 42). Se realizaron curvas de ajuste con las tensiones y el alargamiento total. Hay 2 particularidades que se destacan en los resultados. Uno es el aumento del  $\epsilon_T$  a medida que disminuye la temperatura. Para encontrar una explicación a este fenómeno se requiere realizar ensayos con extensómetros y en probetas de tamaño estándar. Se observa como la deformación uniforme tiene la misma tendencia que la total (Figura 42). Por otro lado, también se observa para las tensiones de fluencia y máxima una disminución en sus valores con el incremento de las temperaturas, pero esta tendencia se revierte en un punto con un aumento de las mismas, presentando un pico local en aproximadamente 280°C, por lo cual se podrían realizar mayores estudios sobre el material en el futuro.

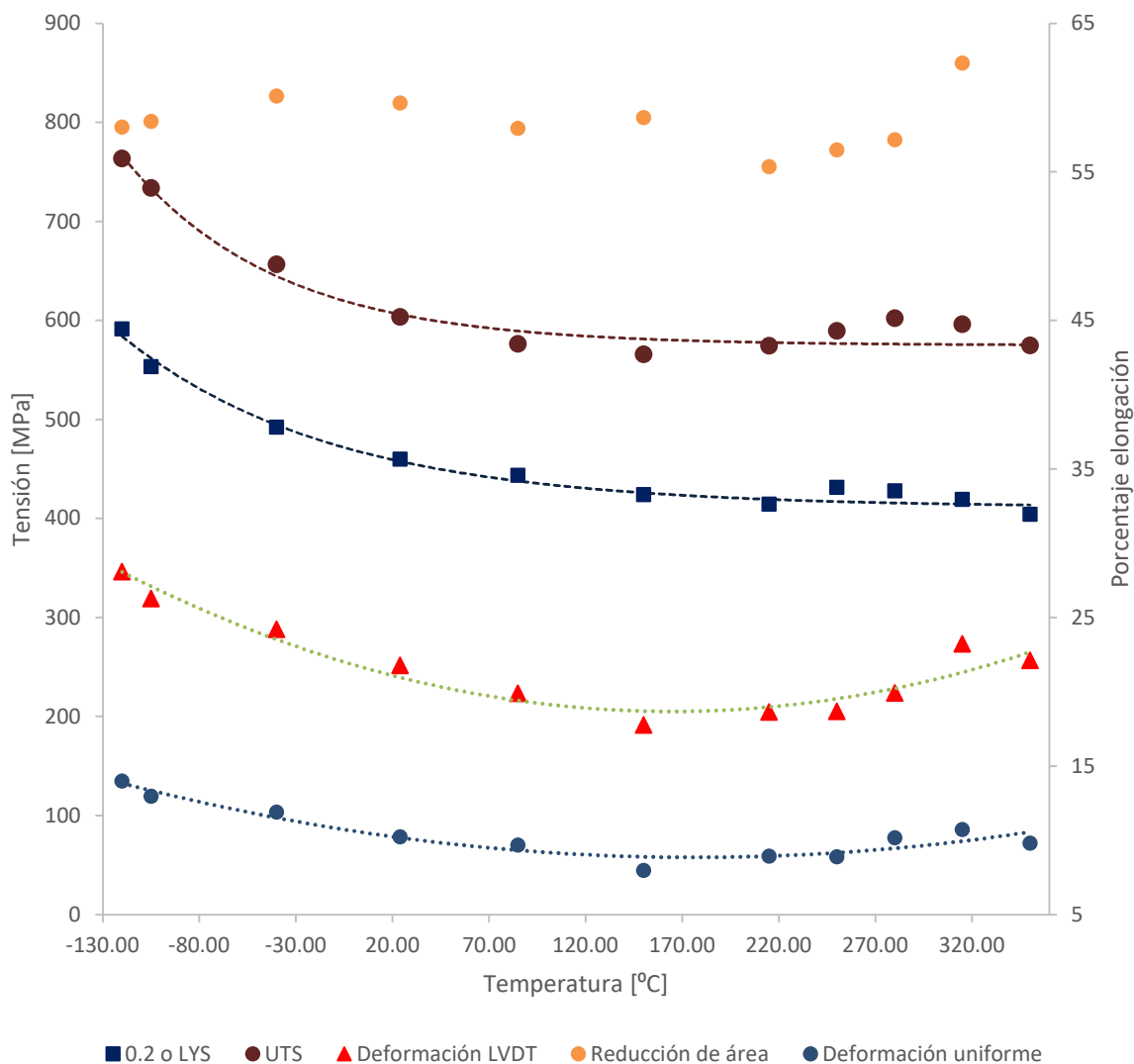


Figura 42 - Gráfico de propiedades mecánicas en función de la temperatura

### 10.3 CHARPY Y TRACCIÓN PARA MASTER CURVE

Las curvas de propiedades mecánicas de la Figura 42 fueron obtenidas mediante el ensayo de probetas mecanizadas a partir de la sección media del bloque, como se indica en la Figura 20. Sin embargo, luego realizar una macrografía del material, se decidió hacer los ensayos para la Master Curve mediante probetas mecanizadas de la zona del bloque que correspondía a la parte externa del anillo. Debido a esto, se volvieron a realizar ensayos de tracción en probetas tomadas de esa zona externa del bloque, pero en esta ocasión, sólo se ensayó a bajas temperaturas debido a que los datos serían usados exclusivamente como entrada para los ensayos de fractura. Para estos últimos, sólo son necesarios los datos de tensión de fluencia y tensión máxima. Los resultados se listan en la Tabla 7. El gráfico con todos los resultados y las curvas de regresión se observan en la Figura 43.

Respecto de los ensayos de Charpy, se construyeron las 3 curvas de transición a partir de los datos de energía, expansión lateral y % de fractura dúctil. Para eso se realizó una regresión no lineal utilizando una función conocida como de la tangente hiperbólica (dicha función se propuso en 1975 [32]), la misma presenta un buen ajuste y posee parámetros simples a los que se les puede asignar un significado físico a cada uno. Debido a esto, es la función recomendada por la norma ASTM E2215-19 [31].

Se realizaron 2 ajustes en cada uno de los parámetros. En uno se dejaron todos los parámetros libres, y en otro se fijaron algunos parámetros siguiendo pautas recomendadas por la norma para evitar inconsistencias como tener energías de rotura negativas. El desarrollo de los ajustes y cálculos se encuentra en el *Apéndice X*.

A pesar de los cambios en los parámetros, los datos normalizados de transición fueron similares con ambas metodologías. Esto puede deberse a que se realizaron mayor cantidad de ensayos en la zona de transición, y esto ponderó más en la regresión de la curva.

Identificación de probeta	Temperatura [°C]	$\sigma_{0.2}$ o $\sigma_{LYS}$ [MPa]	$\sigma_{UYS}$ [MPa]	$\sigma_{UTS}$ [MPa]
TFE01	-120	601,36	612,93	767,30
TFE02	-120	592,54	605,72	759,50
TFE03	-95	545,42	559,10	713,93
TFE04	-95	543,93	548,46	714,53
TFE05	-80	540,10	544,21	698,82
TFE06	-60	510,88	516,88	670,89
TFE07	-105	571,74	581,05	739,38
TFE08	-105	567,49	568,69	731,73
TFE09	-80	530,94	537,61	697,55
TFE10	-60	510,74	521,66	674,05
TFE11	-135	639,06	672,95	794,42
TFE13	-50	503,80	507,44	665,08
TFE14	-50	501,88	511,34	662,48
TFE15	-135	630,59	659,03	784,88
TFE16	-120	593,65	617,13	762,98
TFE17	-95	554,13	559,91	717,11
TFE18	24	467,67	469,44	603,56
TFE19	24	471,96	475,29	607,18
TFE24	24	472,44	476,83	607,38

Tabla 7 - Tensiones de probetas de tracción para la Master Curve

La curva necesaria para fijar una temperatura inicial de ensayo para la Master Curve es la de energía. Se puede utilizar la  $T_{21J}$  o  $T_{41J}$ . En este caso se utilizó la  $T_{41J}$ , la cual es  $-54^{\circ}\text{C}$  como se observa en la Figura 44. La fórmula (6) de la norma ASTM E1921-22 [16], junto con la tabla 3 permiten la obtención de la temperatura inicial de ensayo. La fórmula es:

$$T = T_{CVN} + C \quad (10-1)$$

Siendo:

- $T$  es la temperatura aproximada de ensayo
- $T_{CVN}$  es la  $T_{28J}$  o la  $T_{41J}$ , dependiendo del valor obtenido
- $C$  es una constante que se encuentra en la tabla ya indicada

En este caso, por interpolación,  $C \approx -37^{\circ}\text{C} \rightarrow T = -54^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}$ . Es decir, la temperatura inicial debería ser de  $-91^{\circ}\text{C}$ . Se utilizó  $-100^{\circ}\text{C}$  debido a que la anterior es una temperatura aproximada y se prefirió estar ligeramente por debajo para que los

resultados del ensayo no estén por encima de la  $K_{Jclimit}$ . Con la curva de tensiones en función de la temperatura y la temperatura inicial de ensayo así estimada, se procedió a realizar los ensayos de fractura.

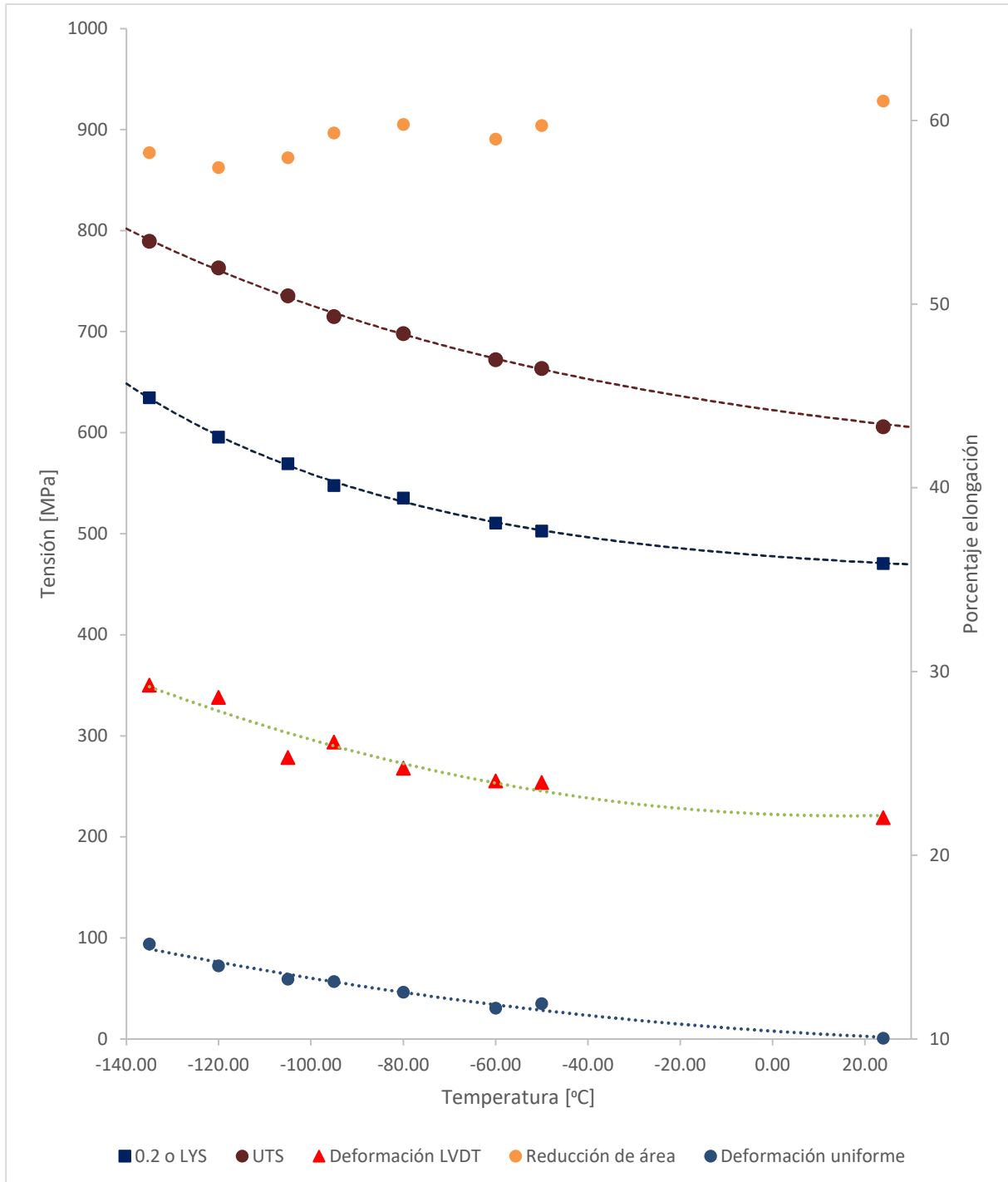


Figura 43 - Gráfico de propiedades mecánicas en función de la temperatura para Master Curve

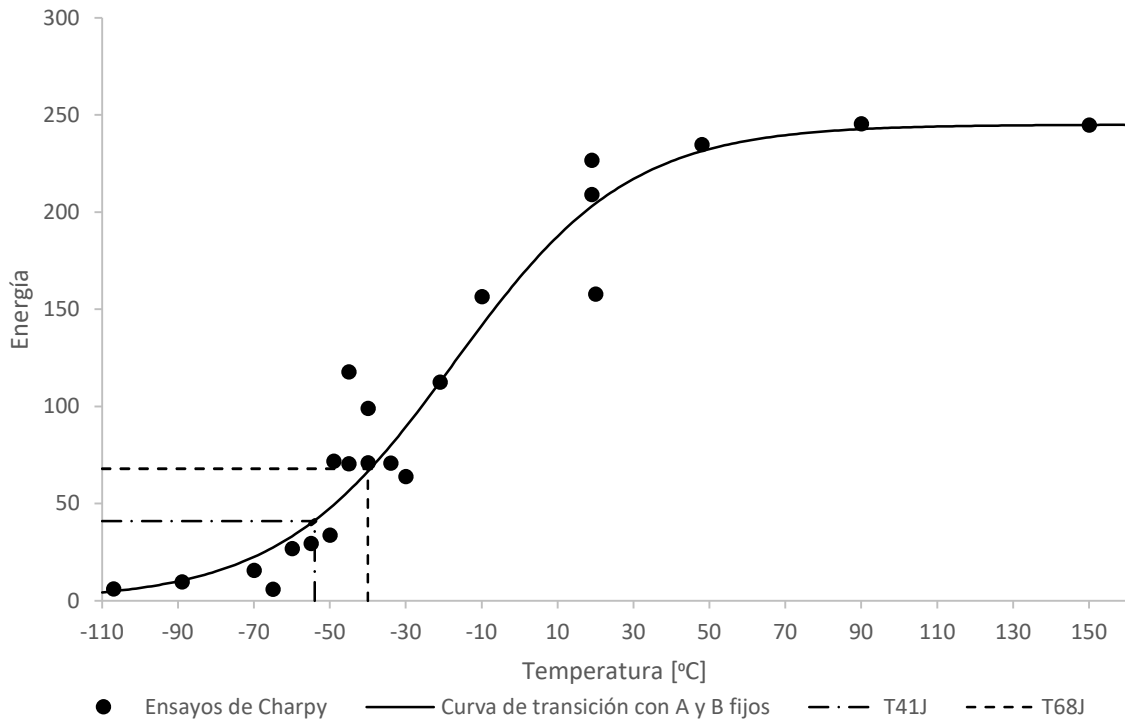


Figura 44 - Curva de transición dúctil frágil para valores de energía

## 10.4 MASTER CURVE

### 10.4.1 Probetas 0.65T

Para realizar los cálculos de fractura y la Master Curve, se crearon dos programas. Uno permite la obtención de compliance al inicio del ensayo (la cual está relacionada con el tamaño inicial de la fisura, y se determina como la inversa de la pendiente de la curva carga-LVDT en la parte elástica), el cálculo del largo de fisura a partir de la misma y el área bajo la curva de ensayo. El otro, a partir de estos últimos datos, realiza los cálculos de  $J_E$ ,  $J_P$ ,  $J_C$  y  $K_{JC}$ , como también el cálculo de la Master Curve con su correspondiente  $T_0$ . El desarrollo del funcionamiento de estos programas se encuentra en el *Apéndice XIII*.

Como se mencionó previamente, no se utilizó extensómetro para realizar estos ensayos. Esto implica correcciones en dos cálculos de resultados. Uno es el cálculo del largo de prefisura a partir de la compliance, mencionado previamente. Este es requerido por la norma y se analiza más adelante este caso particular de ensayos sin extensómetros. El otro es para lograr obtener el área bajo la curva.

Respecto de la obtención del largo de fisura, en la nota A1.3 de la norma ASTM E1820-20a [15] se destaca que se pueden utilizar ecuaciones para la obtención de la compliance a partir de la LLD. Las fórmulas para el cálculo a través de elementos finitos se encuentran en [33] y [34]. Se utilizó la que se ubica en esta última debido a que es la recomendada por la norma ISO. Sin embargo, esta fórmula y el cálculo de área requiere de una corrección previa de los valores. En [15] se sugiere una corrección que tenga en cuenta la rigidez de la máquina y la indentación de los rodillos sobre la probeta [35]. Se encuentran otros trabajos [36] [37] [38] [39] donde se realizan estas mismas correcciones o en algunos sólo descontando la rigidez de la máquina.

En el presente análisis, se realizaron 3 procedimientos de cálculo para poder hacer una evaluación posterior de resultados y determinar si la geometría o tamaño de probeta influye en los resultados:

- Sin ninguna corrección
- Con corrección por rigidez
- Con corrección por rigidez e indentación

La explicación de cómo se realizan las correcciones se encuentra en el *Apéndice XI*. Es importante mencionar que la utilización del LVDT como dato para el LLD trae consigo dificultades a la hora del cálculo de ciertos parámetros y mayores exigencias sobre el sensor LVDT, el cual debe cumplir requerimientos más estrictos que los establecidos por la norma. Además, la determinación del largo de fisura posee una gran dispersión, especialmente por los bajos valores (menos del 1% del FS de la celda de carga en el caso de las PCCv) a los cuales se realizan las cargas y descargas para obtener los datos utilizados en los cálculos y todas las correcciones intermedias.

Es por ello que el punto 8.6.2 de la norma ASTM E1921-22 [16] no fue cumplido por todas las probetas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esa exigencia hace hincapié en que el instrumento **clip-gage, no utilizado en la tesis**, debe estar bien asentado. Ese elemento es más preciso a la hora de calcular el largo de prefisura, pero lo es menos (por la posición que tiene) cuando se desea obtener el LLD. Ese motivo justifica la alta exigencia en la medición del largo de prefisura como comprobación previa al ensayo. Además, se deben tener en cuenta ciertas diferencias

que puede haber a la hora de comparar probetas que poseen entallas laterales y otras que no, lo cual no se menciona en la norma ASTM E1921-22 [16].

Este inconveniente es tenido en cuenta en [36], donde se destaca que la precisión para el cálculo de largo de prefisuras es mucho menor a través del LVDT que el CMOD, sin embargo, también se encuentra innecesario para obtener un buen cálculo a través de LLD utilizando el LDVT.

Los resultados de los ensayos se observan en la *Tabla 8*. En la Figura 45 se encuentra el gráfico de la Master Curve con valores corregidos por rigidez e indentación, realizado por el programa de análisis propio y cuyo resultado fue un valor de  $T_0 = -88,2^\circ\text{C}$  con una  $r = 1,83$ . Al comenzar los ensayos, la norma utilizada fue la ASTM E1921-20 [22]. Sin embargo, durante los ensayos, se actualizó la norma a la versión 2022 [16], en la cual viene incluido un programa de análisis realizado por la NASA y también incluye análisis estadísticos. La diferencia entre el valor de  $T_0$  determinado por este programa y el del obtenido mediante el programa creado en la división es menor que la décima de grado.

Identificación de probeta	Rigidez e indentación [MPa√m]	Sólo rigidez [MPa√m]	Sin corrección [MPa√m]
<b>F13</b>	101,27	101,62	100,29
<b>F15</b>	102,82	102,63	101,36
<b>F16</b>	149,65	149,21	148,14
<b>F17</b>	125,03	124,49	125,20
<b>F18</b>	114,78	113,65	114,37
<b>F19</b>	70,47	72,01	70,50
<b>F20</b>	92,05	93,28	92,07
<b>F21</b>	119,87	122,30	120,36
<b>F22</b>	88,82	91,19	89,75
<b>F23</b>	100,89	103,34	101,44
<b>F24</b>	135,16	137,95	136,19

*Tabla 8 - Resultados de ensayos de 0.65T con diferentes correcciones*

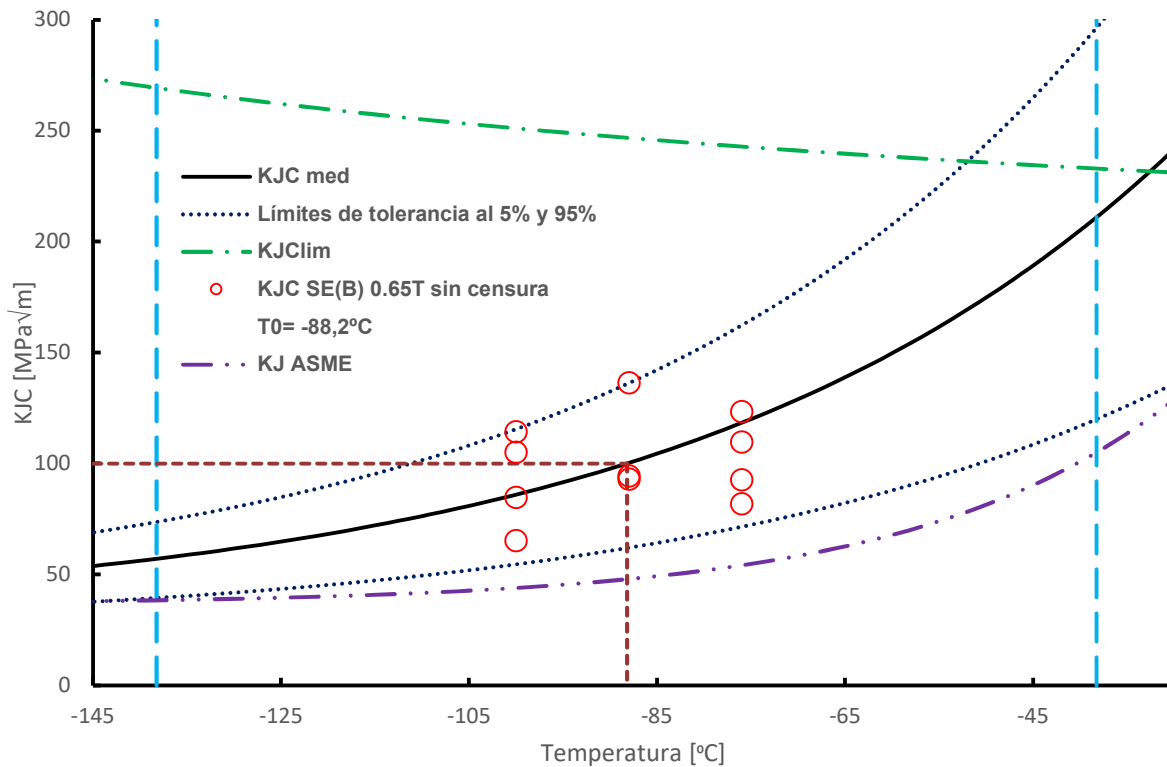


Figura 45 - Gráfico de Master Curve de SE(B) 0.65T con valores normalizados a 1T

#### 10.4.2 Probetas PCCv

Con las probetas PCCv el método para el cálculo de resultados fue exactamente el mismo. Los valores de fractura se observan en la Tabla 9. El gráfico de la Master Curve se encuentra en la Figura 46. Con las correcciones por rigidez e indentación,  $T_0 = -87,6^\circ\text{C}$ , con un  $r = 3,69$ .

También se construyó la Master Curve a partir de la combinación de probetas de 0.65T y PCCv (Figura 47) con una sumatoria de  $r = 5,52$ .

Identificación de probeta	Rigidez e indentación [MPa√m]	Sólo rigidez [MPa√m]	Sin corrección [MPa√m]
13A	143,78	143,68	143,40
13B	79,38	78,91	78,80
13C	61,80	64,13	61,86
13D	63,09	64,23	61,64
14B	63,87	65,26	62,51
16A	72,91	72,87	72,80
16B	85,42	85,46	84,08
16C	79,80	81,55	80,79
16D	45,76	47,40	46,15
18A	38,68	40,33	38,43
18B	47,63	50,44	47,31
18C	107,77	107,59	106,79
18D	122,93	124,93	122,46
19A	94,40	94,82	93,84
19B	66,31	67,57	65,29
19C	48,07	49,32	47,41
19D	104,06	105,18	102,96
21A	109,67	109,45	108,27
21B	126,34	125,74	125,25
21D	103,73	105,17	103,03
23C	39,38	40,67	38,56
23D	147,41	148,21	146,52
24A	83,74	84,03	82,96
24B	87,41	88,70	87,40
24D	102,52	101,64	101,78

Tabla 9 - Resultados de ensayos de PCCv con diferentes correcciones

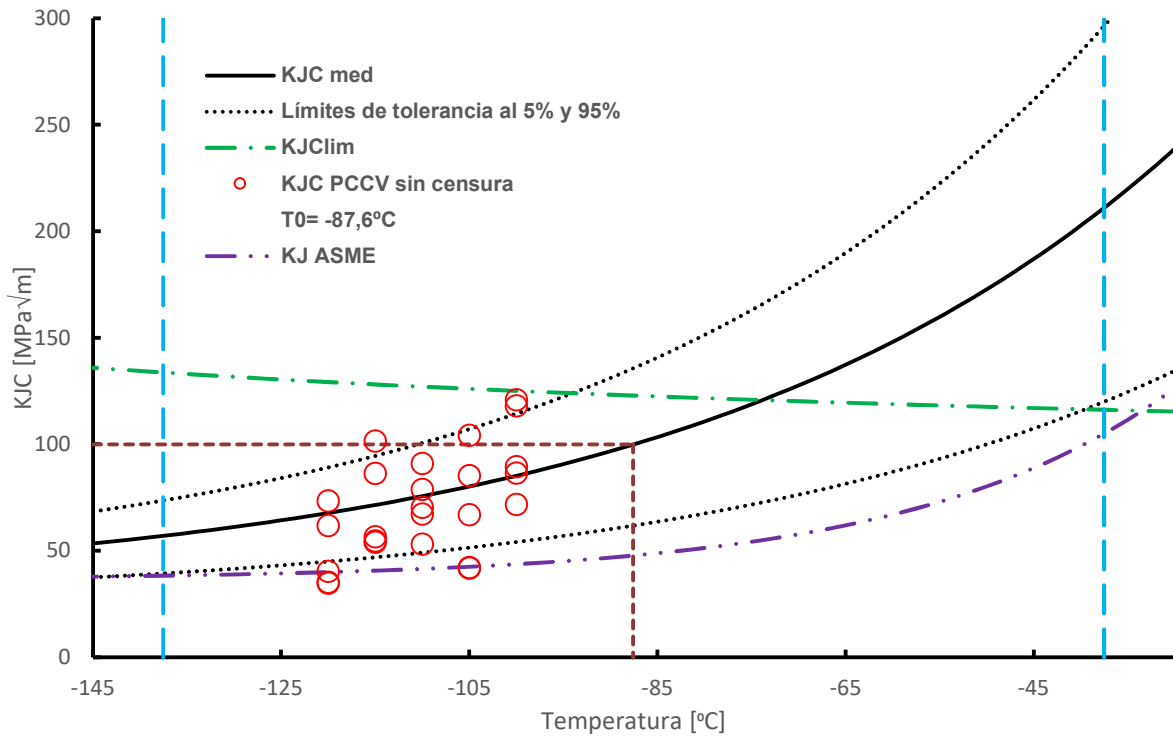


Figura 46 - Gráfico de Master Curve de PCCv con valores normalizados a 1T

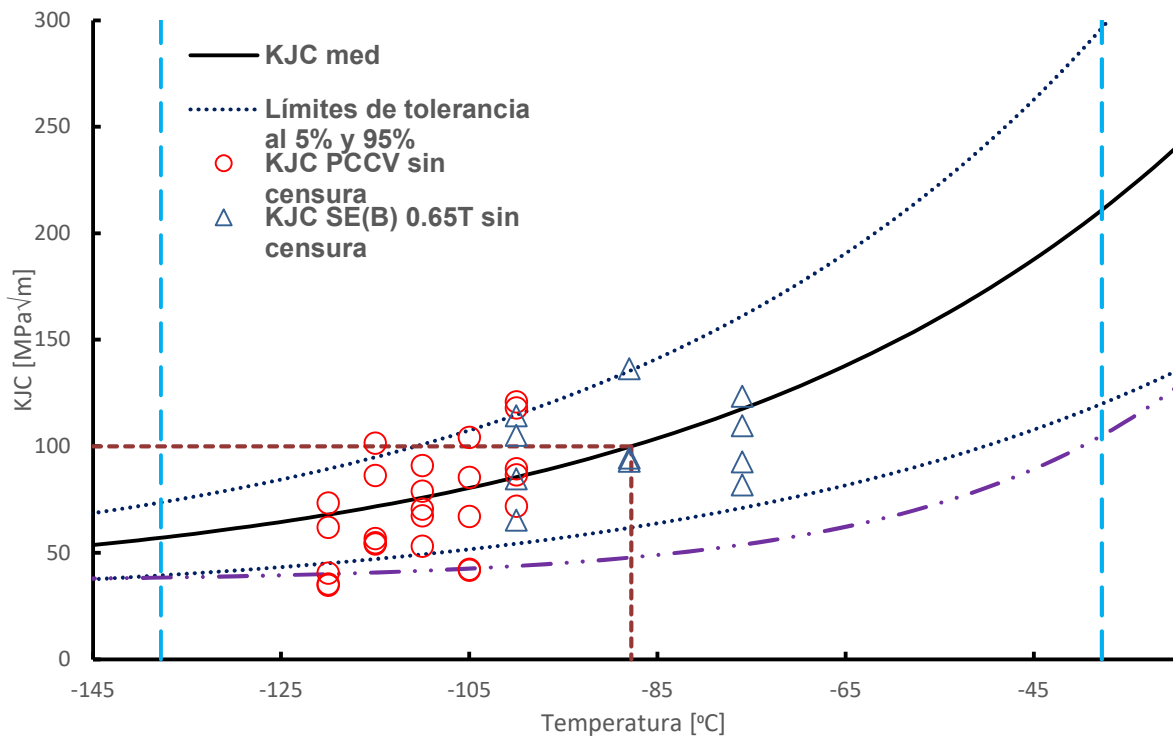


Figura 47 - Gráfico de Master Curve de PCCv y SE(B) 0.65T con valores normalizados a 1T

## 11 ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

### 11.1 TRACCIÓN

#### 11.1.1 Tensión de fluencia y tensión máxima

En la presente tesis no se realizaron ensayos en probetas de sección fina o con una relación  $W/t$  grande, lo cual implica que no existe una afectación en las propiedades de tensión. En casos donde la proporción  $t/d$  (espesor/tamaño de grano) son chicas (aproximadamente menor a 5), los valores de tensiones de fluencia y máxima cambian notablemente debido a que la formación de dislocaciones dentro de los granos del material tiende a desaparecer en el borde de la probeta, y la proporción de este efecto es mayor en este tipo de probetas [40] [41] [42] [43] [44] [45]. Es un fenómeno que es muy importante en probetas con tamaño de grano más grande, por lo tanto, se presenta en otro tipo de aleaciones. Respecto de relaciones altas de  $W/t$ , pueden afectar a la tensión máxima, sin embargo, este efecto se observa en probetas con una relación de  $W/t = 5$  en adelante [40] [45].

En este caso para realizar una comparativa entre las probetas de tracción, se hicieron cálculos estadísticos entre las tensiones de fluencia y máxima, las cuales se suponen que son iguales sin depender de la geometría y tamaños trabajados. El método estadístico que se utilizó es el t-student. En el *Apéndice xv* se encuentra un pequeño resumen de este método, las fórmulas utilizadas y los gráficos de los resultados. Por la aplicación del mismo, surge que todas las probetas tienen la misma  $\sigma_{0.2}$  (o  $\sigma_{LYS}$  dependiendo el caso) y  $\sigma_{UTS}$  respecto de la probeta redonda grande, la cual fue considerada como tensión de referencia (Figura 48, Figura 49 y Figura 50). En el caso de la  $\sigma_{fr}$  se observa mayor dispersión de valores y las probetas redondas mediana y pequeña no cumplen el criterio de la t-student, por lo cual son estadísticamente diferentes. En estas últimas 2 probetas, la reducción de área fue mayor que la de las otras probetas, lo cual genera una menor sección resistente. Debido a que la tensión de fractura es ingenieril y se calcula respecto de la superficie original, esto podría explicar una menor tensión de fractura.

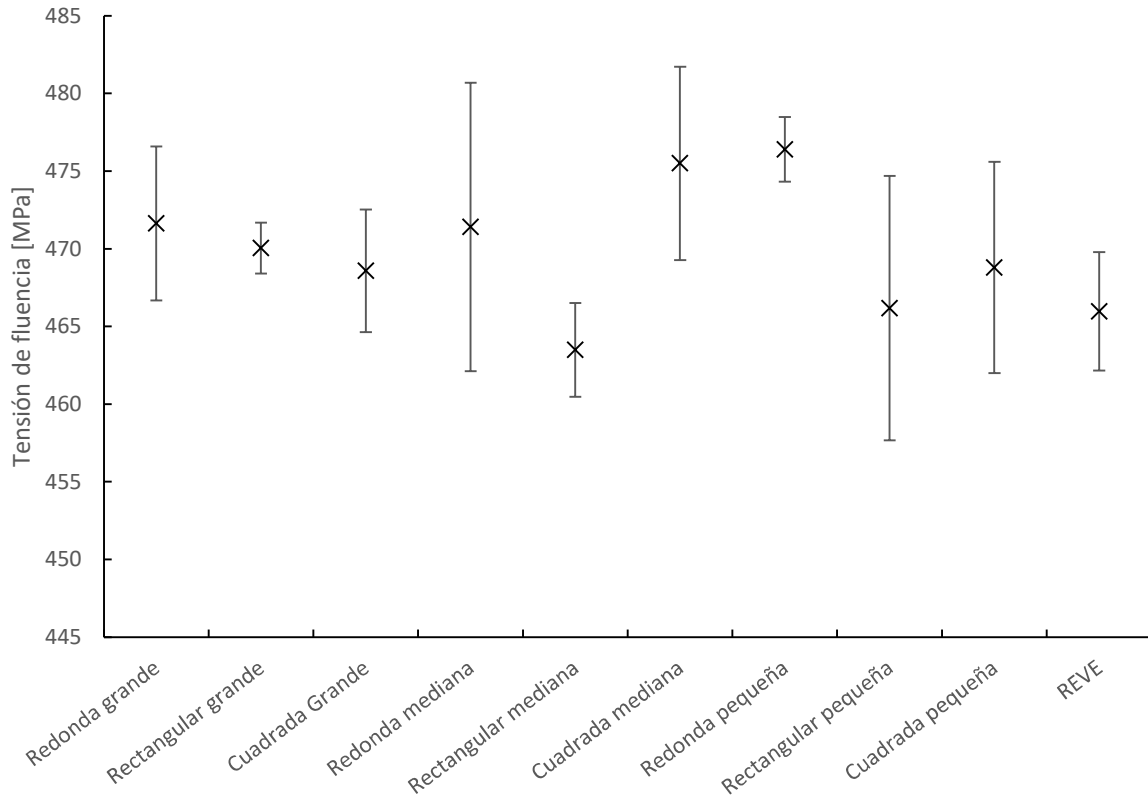


Figura 48 – Promedio de tensiones de fluencia separadas por geometría y tamaño

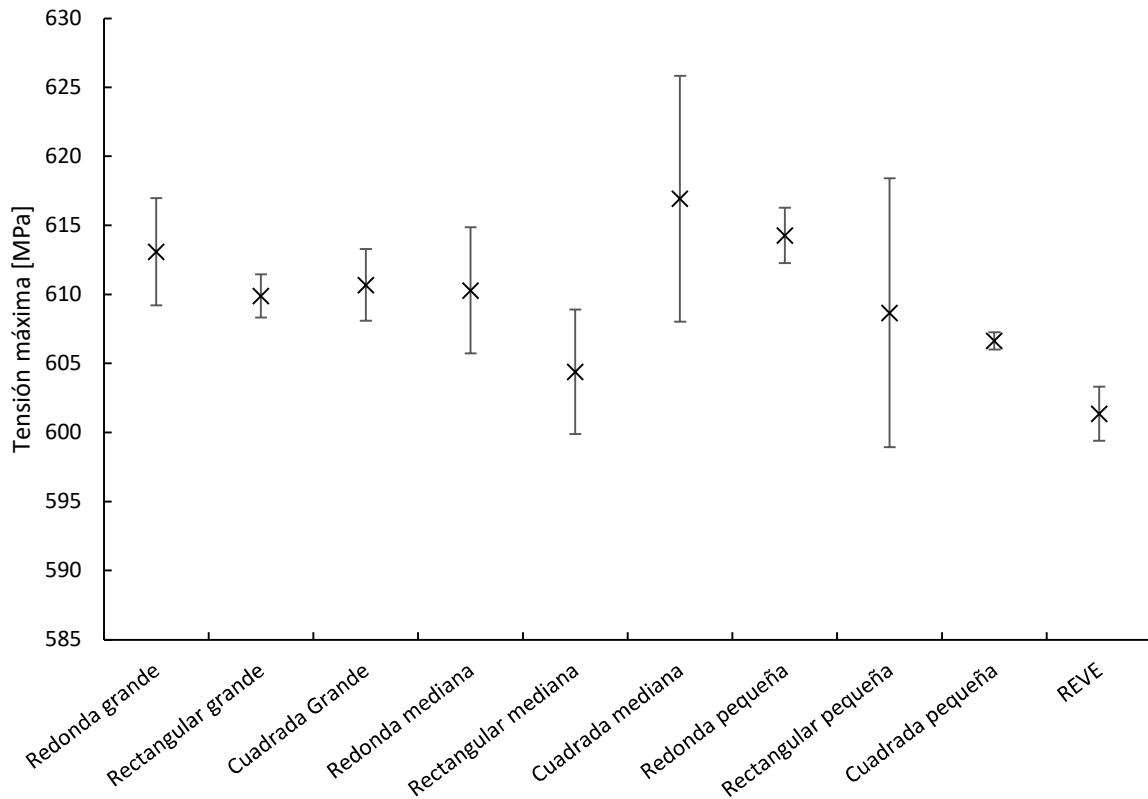


Figura 49 – Promedio de tensiones máximas separadas por geometría y tamaño

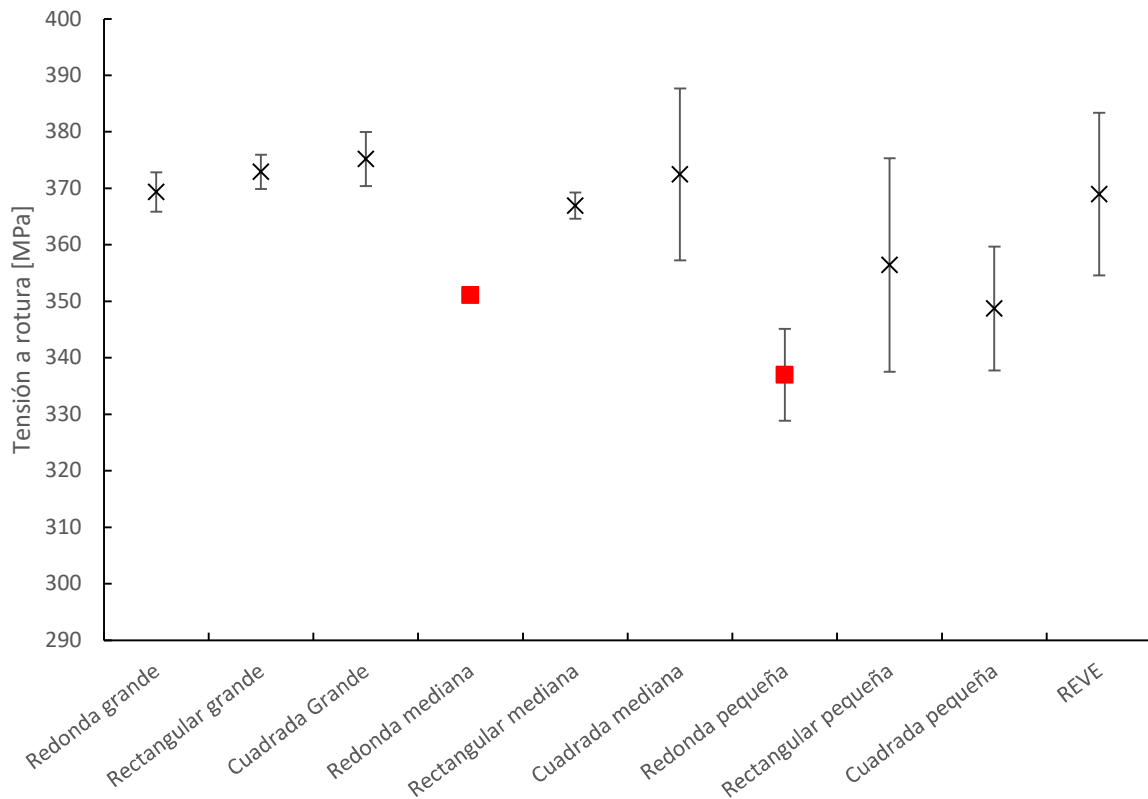


Figura 50 - Promedio de tensiones de fractura separadas por geometría y tamaño. Los cuadrados rojos indican las probetas que no cumplen el criterio estadístico de igualdad

La probeta tipo REVE, si bien está dentro de los parámetros para la tensión máxima según el método t-student, se encuentra cercana a los límites de aceptación y da valores de tensión inferiores que la redonda grande, la cual se estableció como de referencia (Figura 51: por encima del 100% el valor se considera estadísticamente distinto). Este sesgo coincide con lo observado en el informe [46]. Para confirmar una tendencia y poder cuantificarla es recomendable realizar mayor cantidad de ensayos en este tipo de probetas.

Respecto de esto último, si bien los resultados son estadísticamente iguales, existen pequeñas diferencias que coinciden con los vistos en otros trabajos [47] en los cuales la simetría radial en las probetas afecta los datos obtenidos de los ensayos. Las tensiones de fluencia y máximas de probetas redondas son mayores que las de las cuadradas y estas últimas mayores que la de las rectangulares y del tipo REVE (Figura 52 y Figura 53). Esta tendencia debe confirmarse a través de la realización de mayor cantidad de ensayos, ya que solamente 2 probetas por tamaño y geometría no

son suficientes para afirmar una variación tan pequeña de las propiedades. Hay comparativas que se encuentran muy cercanas a considerarse estadísticamente distintas, sin embargo, no existen suficientes ensayos para poder confirmar esa diferencia.

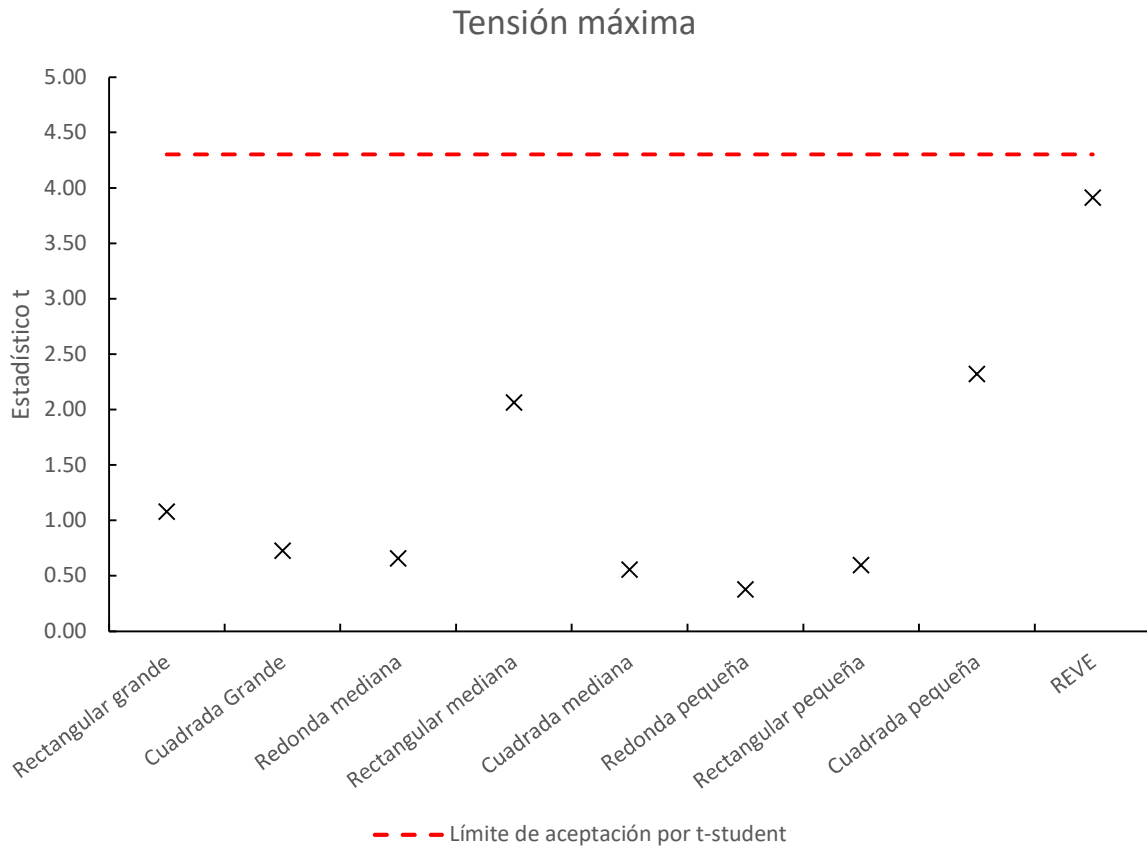


Figura 51 – Estadístico t por cada tipo de probeta

Una explicación posible de este fenómeno implica que las probetas más grandes y simétricas rompen con un mayor estado plano de deformaciones, lo cual difiere de probetas asimétricas o más pequeñas que llegan a romper sólo por deslizamiento debido a esfuerzos de corte [47] (Figura 54).

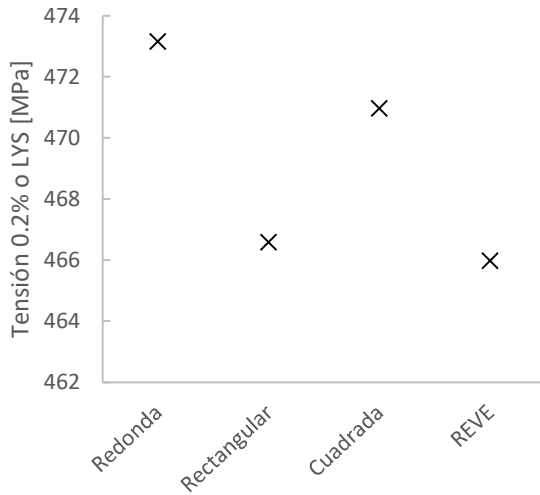


Figura 52 - Tensión de fluencia comparativa entre distintas geometrías de probeta

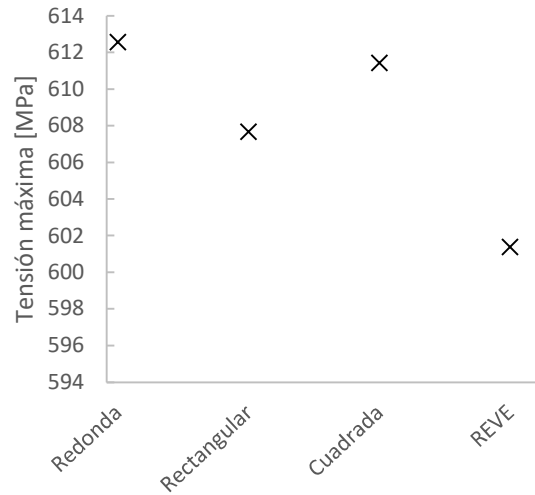


Figura 53 - Tensión máximas comparativas entre distintas geometrías de probeta

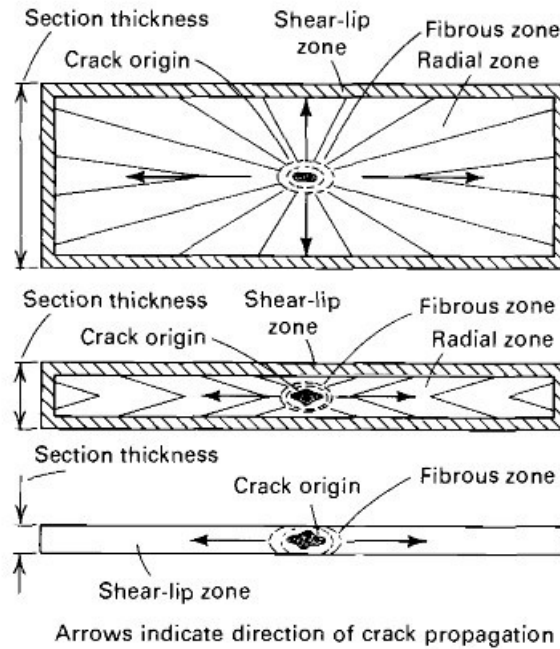


Figura 54 - Esquema de fractura de probetas rectangulares con distintas proporciones  $W/t$  [49]

### 11.1.2 Estricción

Como se mencionó en el punto anterior, la reducción de área es ligeramente mayor en las probetas redondas (Figura 56) [48]. A esto se agrega que las probetas más pequeñas tuvieron menores reducciones de área que las grandes (Figura 55). Esto último requiere mayor cantidad de ensayos para poder confirmar la tendencia, debido a que algunas probetas rompieron en el borde de lo permitido por la norma

(50% central de la zona calibrada) y algunos afuera y puede influir en las estricciones si las mismas estuvieron cerca de los bordes de la zona calibrada.

Además de la zona de rotura, hay una explicación técnica posible, se observa una dificultad para medir de manera tradicional el área en las probetas rectangulares y cuadradas debido a la deformación en el área de fractura, la cual deja de ser un rectángulo medible con calibre o micrómetro y se requieren métodos fotográficos, los cuales no se implementaron para esta medición en la tesis (Figura 57 [49]).

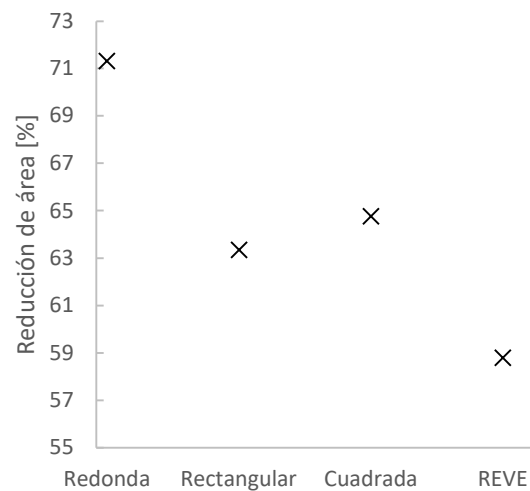
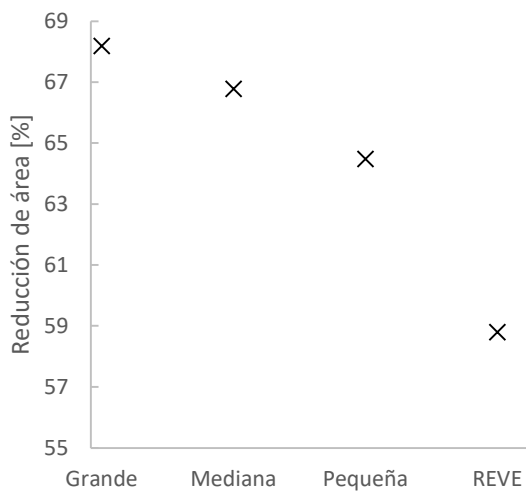


Figura 55 - Reducción de área según tamaño de probeta

Figura 56 - Reducción de área según geometría de probeta

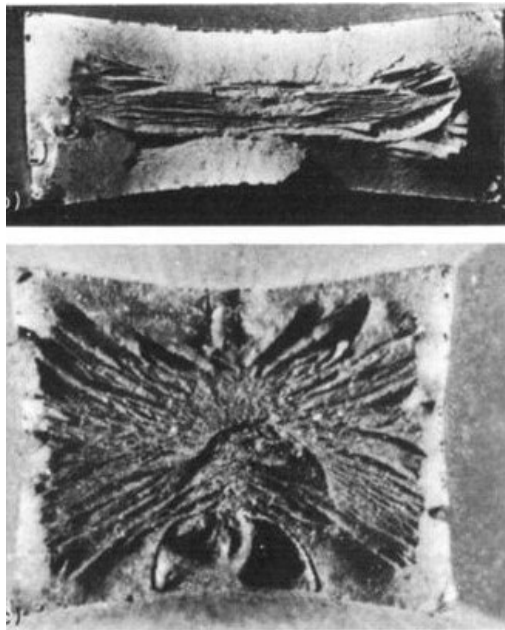


Figura 57 - Imágenes de fractura de probetas rectangulares [50]

### 11.1.3 Elongación

La diferencia en la elongación con probetas de distinta geometría es conocida y advertida en las normas de ensayo. En la tesis se calculó la elongación uniforme plástica mediante la medición del LVDT y la elongación a rotura mediante la medición por LVDT y físicamente a través de marcas realizadas en las probetas. Los resultados se presentan en la Figura 58 y Figura 59 y se optó por hacer la comparación en función de  $L_0/\sqrt{S_0}$  [50]. Cabe destacar que la elongación medida sobre la probeta, posee una relación distinta que la medida a través del gráfico debido a que, en la primera, se considera un  $L_0$  más pequeño sobre la porción central de la zona calibrada, y en el segundo, se considera toda la zona calibrada.

Por un lado, la elongación uniforme no debería presentar modificaciones que dependan de la relación de proporción [51] [52] [53] siempre y cuando la relación  $t/d$  no sea pequeña [54]. Sin embargo, se observa que dependiendo de la relación  $L_0/\sqrt{S_0}$ , cambia la deformación [50] (Figura 58). Esto puede deberse a 2 efectos. Uno es la rigidez del sistema. Como se mencionó, estos datos fueron tomados a través del LVDT sin corrección por rigidez del sistema, por lo cual se obtienen valores con mayor elongación a la real, y que además dependen de la carga máxima de la probeta ya que la deformación del sistema no es siempre lineal debido a los acomodamientos no elásticos. Pero también se presenta un fenómeno contrario a esa deformación, la cual depende de los efectos de borde de la zona calibrada. La deformación cerca de los radios de empalme de la probeta no es axial y presenta restricciones. En la tesis se removió el extensómetro luego de superar la fluencia del ensayo. Para futuros trabajos se recomienda que el extensómetro quede colocado hasta, por lo menos, haber superado la carga máxima para poder obtener estos datos sin error.

A pesar de estas diferencias, se observa una tendencia entre la deformación uniforme y la posterior a la formación del cuello. Las mismas tienden a acercarse, lo cual es lógico debido a que, cuanto mayor es la proporción  $L_0/\sqrt{S_0}$ , la influencia del cuello en la deformación total es menor, y la uniforme es la más importante. Esto es debido a que siempre y cuando el cuello se forme lejos de los bordes, el proceso de formación del cuello no depende de la longitud de la zona calibrada [55], aunque si hay que recordar que depende de la geometría de la sección.

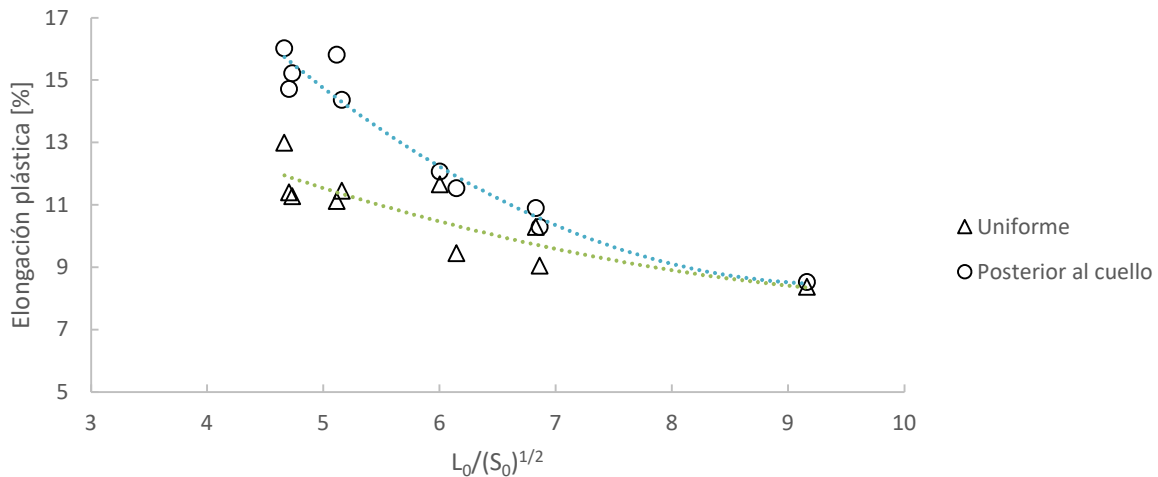


Figura 58 - Elongación plástica uniforme y posterior al cuello obtenidas a partir del LVDT

Con respecto a la elongación total plástica a rotura (Figura 59), se observa una clara dependencia respecto de  $L_0/\sqrt{S_0}$ . Los motivos son los mismos que los indicados para la elongación post estricción. Además, se observa en el gráfico una pequeña diferencia entre la elongación medida en la probeta y la que se obtiene a partir del gráfico. Esta diferencia es similar a la presentada en la deformación uniforme. Cabe destacar que los cálculos de  $L_0/\sqrt{S_0}$  fueron realizados teniendo en cuenta el  $L_0$  marcado sobre la probeta por un lado y la sección calibrada para el cálculo a partir del gráfico. El  $L_0$  marcado siguió los requerimientos de la norma de ser aproximadamente el 83% de zona calibrada para eliminar los efectos de borde mencionados y así fue previsto a la hora de dimensionar las probetas. Para la probeta tipo REVE se utilizó un W de 3 mm debido a que es la dimensión mayor de la sección rectangular.

La importancia de esta relación de proporción es grande, y en la norma ASTM E8M todavía existen probetas que están bajo la misma norma, pero con diferentes relaciones de proporcionalidad, lo cual implica que se deba prestar suma atención al tipo de probeta utilizada. Si se mecaniza una probeta bajo norma ASTM E8 redonda, la misma tendrá una relación  $L_0/D$  de 4, en cambio, si utiliza la ASTM E8M, será de 5. Las probetas rectangulares tienen relación de 4 para ambas versiones de la norma.

Respecto del tamaño de la sección calibrada, no se observaron diferencias entre probetas pequeñas y grandes en contraposición de otros trabajos donde se detectaron que probetas con secciones más pequeñas tienen una elongación a rotura más grande sin importar si su sección es redonda o rectangular [53].

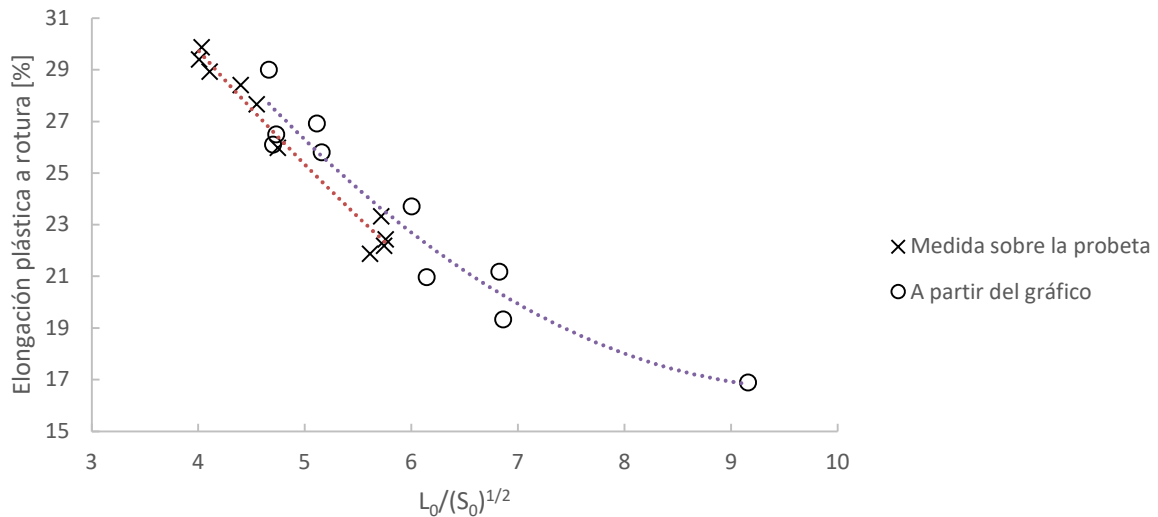


Figura 59 - Elongación plástica a rotura medida sobre la probeta y por LVDT

### 11.1.4 Fluencia discontinua

A la hora de analizar los datos, se observó un fenómeno no esperado, aunque ya conocido, en los valores de fluencia. Los ensayos presentaban diferentes formas de la curva dependiendo del tamaño y geometría de la misma. Las probetas grandes tuvieron fluencia discontinua con un  $\sigma_{UTS}$  bien marcado mientras que en las medianas se observaba un quiebre y en las pequeñas, con excepción de las redondas, la transición era suave (Figura 60).

En la Figura 61, se observa que la diferencia entre el  $\sigma_{UYS}$ , si se encuentra, y el  $\sigma_{0.2}$  o  $\sigma_{LYS}$  aumenta a medida que las probetas son más grandes. Algo que se destaca de los gráficos es que las probetas redondas pequeñas, si bien no tienen un pico pronunciado de UYS, la curva se quiebra en ese sector. La explicación se encuentra en la naturaleza del fenómeno de fluencia. **La fluencia discontinua es un comportamiento que no depende sólo del material, sino que está fuertemente influenciada por la forma de la probeta y el procedimiento de ensayo.**

La formación de una fluencia discontinua se explica, respecto del material, a partir de la teoría de Cottrell and Bilby [56] [57]. Este fenómeno se presenta no sólo en aleaciones ferrosas, sino también en aleaciones de aluminio, cobre, tungsteno y en materiales irradiados [58]. De acuerdo con esta teoría, las dislocaciones en los materiales de baja aleación son ancladas por átomos pequeños, en el caso de acero, carbono o nitrógeno. Al aplicarse una carga, el material se comporta elásticamente, y

no se deformará plásticamente hasta que logre vencer el anclaje en esas dislocaciones. Cuando las dislocaciones se liberan por la fuerza aplicada, la carga necesaria para desplazar las mismas es mucho menor, por lo tanto, en el gráfico observamos una caída en la fuerza. Luego de la bajada, se suele encontrar, dependiendo de la rigidez de la máquina y del material, una meseta en la cual la probeta se deforma con carga constante. Este fenómeno se denomina bandas de Lüders [59] [60] [61] [62] y es conocido desde mediados del siglo XIX. Finalmente, luego de este proceso, la carga aumenta durante el ensayo y comienza la deformación plástica uniforme.

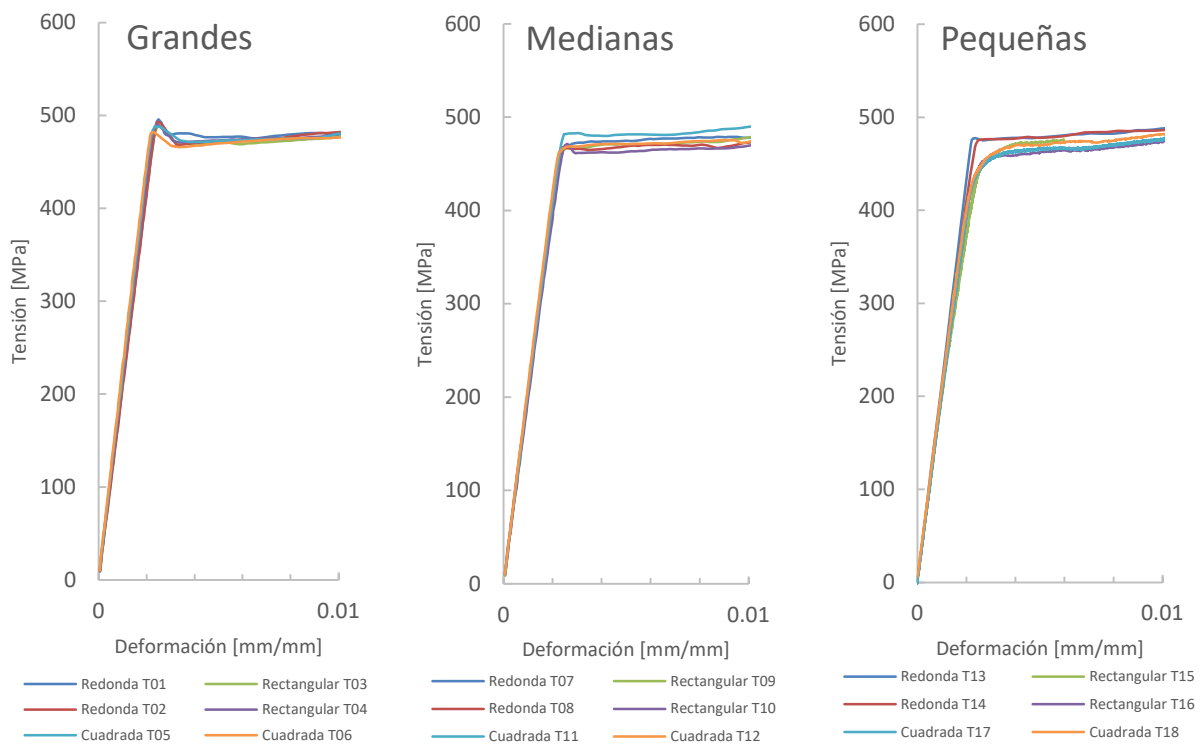


Figura 60 - Curvas de deformación plástica de probetas grandes, medianas y pequeñas



Figura 61 - Gráfico de tensiones de fluencia máxima, mínima o 0.2 según corresponda el caso

Sin embargo, poder observar este comportamiento no siempre es sencillo. De hecho, la obtención de la tensión real del UYP es técnicamente imposible debido a que la misma se ve muy afectada por los agarres e imperfecciones de la probeta como a la vez de las condiciones de ensayo, como alineación, velocidad y rigidez de la máquina [57]. Debido a esto, la geometría de la probeta y su tamaño se vuelven importantes para poder obtener este dato, y dependen fuertemente de las mismas. Relacionado con este punto, hay análisis que sostienen que la tensión en el LYP, que es sostenida durante el avance en la probeta de la banda de Lüders, depende del ángulo de la banda, y esta de la geometría de la probeta, lo cual modificaría las tensiones obtenidas en un ensayo, especialmente en probetas finas [58]. En la Figura 62 se observa un gráfico que resume estos conceptos sobre el fenómeno de fluencia discontinua.

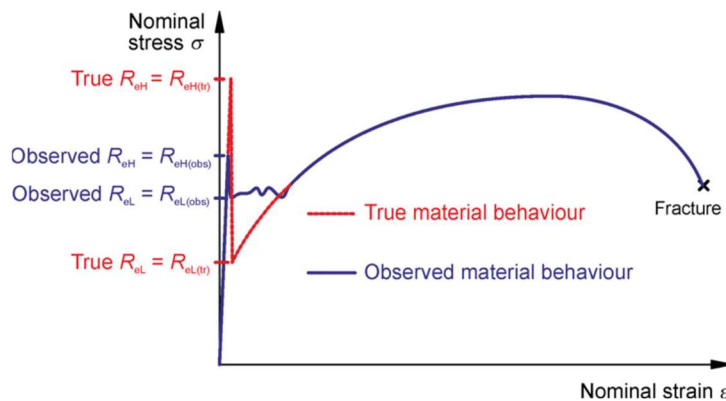


Figura 62 - Curva de ensayo de tracción observada (azul) y curva real (roja) [58]

En el caso de las probetas ensayadas, el comportamiento observado es la disminución o eliminación del UYP, lo cual se puede deber a una mayor posibilidad de encontrar puntos con una tensión más alta dentro de la probeta que bajan o hacen desaparecer este fenómeno. Se requiere mayor cantidad de probetas y repetir ensayos con iguales geometrías, pero diferentes tamaños o longitudes para poder observar y afirmar este fenómeno. Cabe destacar que las probetas ideales para obtener valores más próximos al verdadero UYP son cables largos con superficies pulidas y agarres con un metal de bajo punto de fusión. Futuros trabajos pueden incluir probetas con el mismo diámetro y distintas longitudes calibradas.

### 11.2 TRACCIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Si bien no fue el objetivo de la tesis, así como en el punto anterior se observó un cambio en la fluencia dependiendo de la geometría de la probeta, al realizar los ensayos de tracción para la construcción de la curva de propiedades mecánicas en función de la temperatura se produjo un cambio del comportamiento de la fluencia dependiendo de la temperatura (Figura 63).

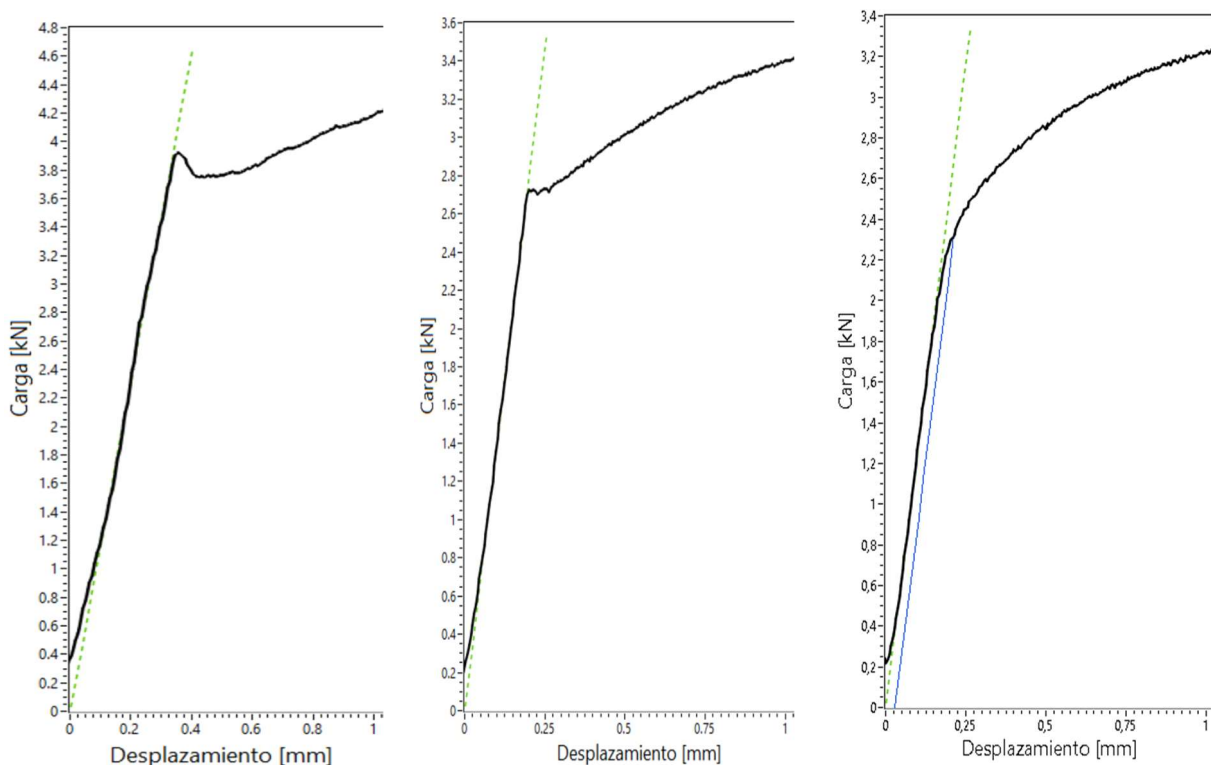


Figura 63 - Curvas de ensayo de probetas tipo REVE. De izq. a der.: -135°C, 24°C, 350°C.

Esta diferencia coincide con lo previsto por la teoría de nubes de Cottrell debido a que la difusión del carbono y su anclaje o no en las dislocaciones dependen de la temperatura de ensayo [63].

## 11.3 MASTER CURVE

### 11.3.1 Diferencias entre C(T) y SE(B)

Si bien no fueron ensayadas probetas del tipo C(T), es importante mencionar que existen diferencias de los resultados de  $T_0$  entre este tipo de geometrías y las del tipo SE(B). En este punto en particular existe un consenso generalizado [17] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70] [71] e incluso es mencionado en la norma ASTM E1921-22 [16]. En la misma se indica que la  $T_0$  es en promedio 10°C más alta para las probetas C(T), lo que arroja un resultado más conservativo. No se conoce exactamente cuál es el motivo de esta diferencia, pero se sospecha que puede deberse a una pérdida de triaxialidad de tensiones en la punta de la fisura, lo cual sucede mayormente en las probetas SE(B) que en las C(T). La recomendación de la norma es siempre reportar el tipo y tamaño de probeta utilizado para construir la Master Curve. Sin embargo, este sesgo no parece afectar la determinación de variación de la tenacidad a la fractura, siempre que se utilicen probetas del mismo tipo y tamaño [72].

### 11.3.2 Correcciones y limitantes por tamaño

En el caso particular de la presente tesis, la  $T_0$  obtenida a través de los valores de ensayo en probetas 0.65T fue de -88,2°C. La calculada a partir de probetas PCCv equivale a -87,6°C. La incertidumbre expandida con intervalo de confianza del 95% fue de 13,2 °C y 10,8 °C respectivamente, por lo tanto, el valor se encuentra dentro de las tolerancias calculadas.

En el caso de las probetas PCCv, el criterio de análisis estadístico de SINTAP (punto 10.6 de la norma ASTM E1921-22 [16]) arrojó que el material era inhomogéneo. La norma recomienda el método de tratamiento bimodal o multimodal en los casos en donde la cantidad de probetas ensayadas es mayor o igual a 20, como es este caso. Sin embargo, estos tratamientos son conservativos y no son útiles a la hora de

comparar resultados [64]. A modo de ejemplo, el método multimodal aplicado a las probetas PCCv resulta en  $T_0 = -78,4^\circ\text{C}$  con una incertidumbre de  $20,6^\circ\text{C}$  y un intervalo de confianza del 88,2%.

Cuando se realiza un contraste de los resultados con la bibliografía respecto de la afectación del tamaño de probeta en el cálculo de la  $T_0$ , los resultados son disimiles. Como se mencionó anteriormente en el texto, la norma de la Master Curve sí realiza correcciones de tamaño a través de la teoría de weakest-link, la cual está basada en un análisis estadístico. A través del estudio de las zonas más débiles de la punta de la prefisura [73], se elaboró un modelo de Weibull de tres parámetros, el cual corrige las desviaciones por la diferencia de tamaño respecto de este fenómeno. De esta manera, antes de elaborar la Master Curve, todos los datos de fractura son normalizados a espesores de 1T [21] [66] [74]. En la tesis estas zonas más frágiles no fueron buscadas sobre la punta de la fisura, sin embargo, se realizaron metalografías en donde se observa que la matriz del material es ferrítica, pero existen segregaciones

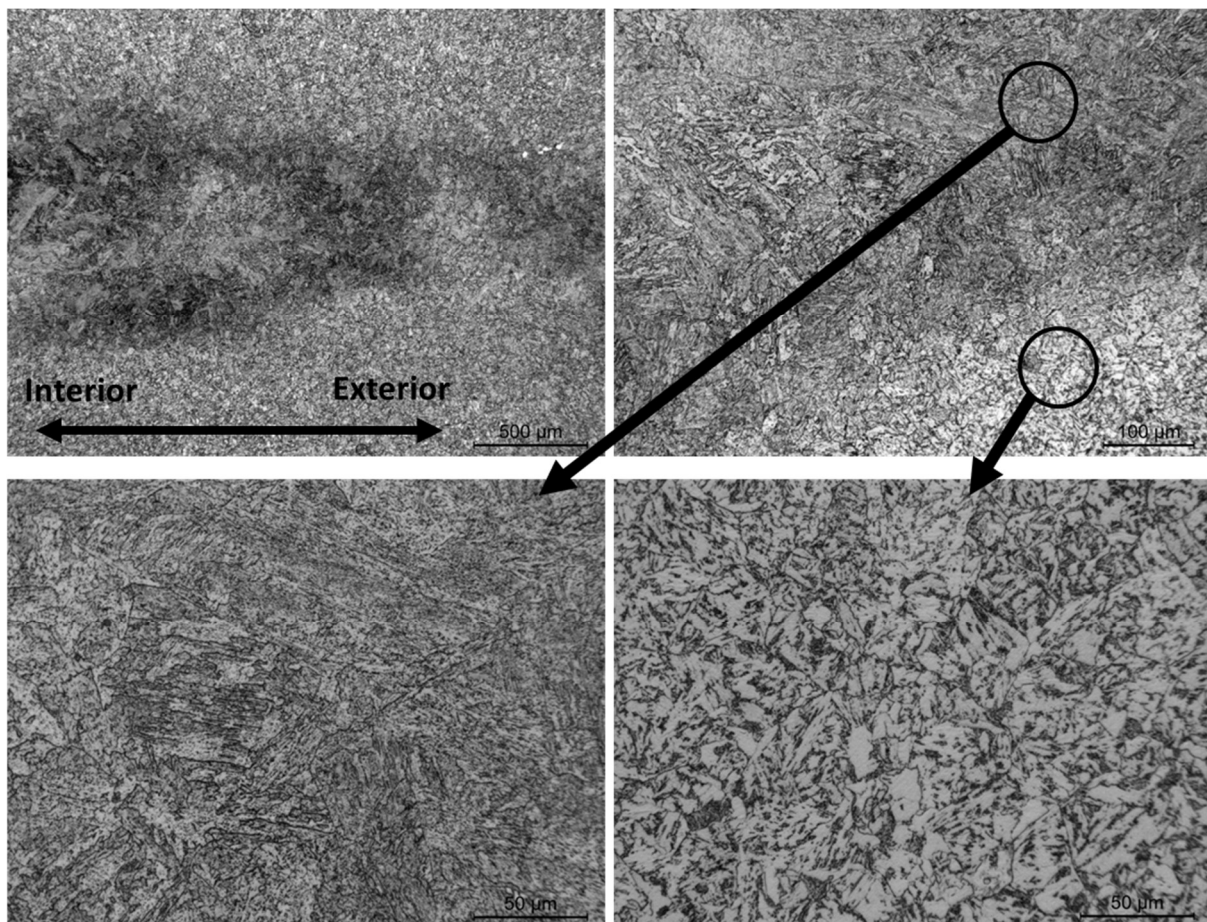


Figura 64 - Micrografías del plano L del bloque JFL. Se observa una matriz ferrítica abajo a la derecha y segregaciones que generan martensita abajo a la izquierda.

donde la microestructura es de martensita revenida (Figura 64). Estas segregaciones podrían ser iniciadores de la fisura como lo predice la teoría debido a que la dureza en las segregaciones aumenta. En el material base los valores son de 207 HV0.1 (197 HB o 93 HRB) y se elevan hasta 275 HV0.1 (261 HB o 26 HRC)(Ver Apéndice XVI).

Por otro lado, ya se observó en los fundamentos teóricos que toda probeta tendrá cerca de la superficie un comportamiento que se aleja del estado plano de deformación, lo cual significa una pérdida de triaxialidad en los laterales de la fisura (punto 8.3.1.2.2). Cuando la probeta es grande, esta zona tiene una influencia mínima en el ensayo. Sin embargo, cuando la probeta es pequeña, ese porcentaje puede afectar y conducir a resultados erróneos.

La norma ASTM E1921-22 [16] no realiza correcciones por tamaño de probetas respecto de este punto debido a que afirma que la variación es mínima basada en estudios anteriores [75] [74]. Esto es debido a que, si bien no hay ajustes, existe una curva limitante  $K_{Jclimit}$  que depende del ligamento remanente (Figura 65) y está definida como:

$$K_{Jclimit} = \sqrt{\frac{E \cdot b_0 \cdot \sigma_{YS}}{M(1 - \nu)}} \tag{11-1}$$

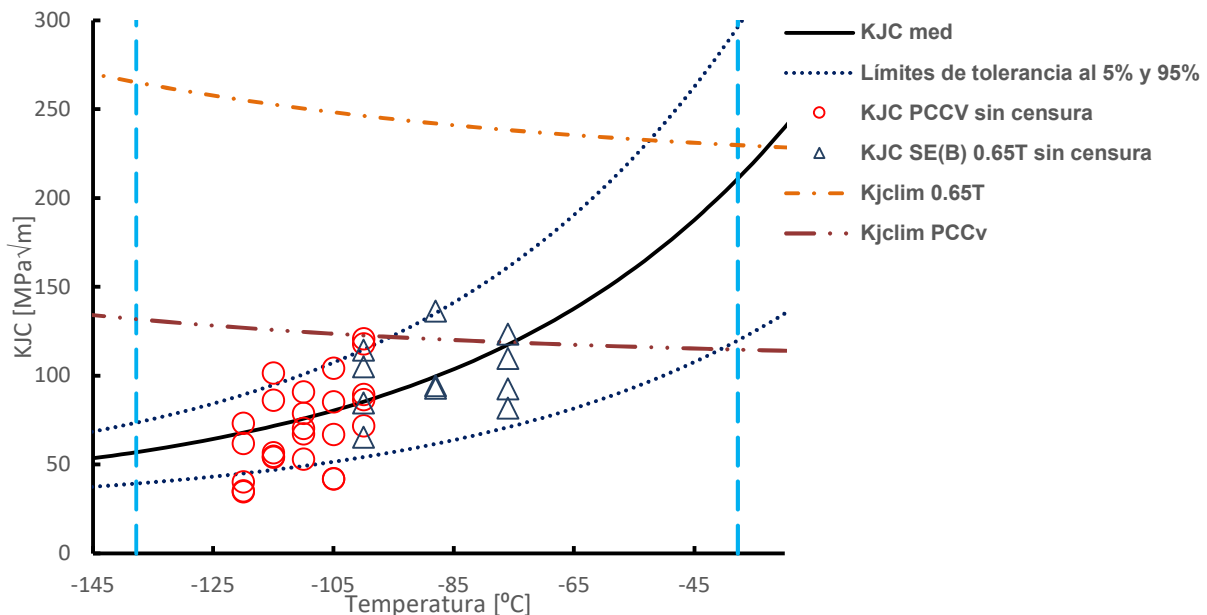


Figura 65 – Master Curve donde se ven representadas las  $K_{Jclimite}$  de cada tipo de probeta

Si un valor supera esa curva, no es tenido en cuenta como sumatoria estadística y tiene un tratamiento diferencial a la hora de obtener la  $T_0$ . Esa limitación es similar a la aplicable en probetas que se utilizan para realizar ensayos mediante la norma ASTM E399-12 [18], aunque en el caso de los cálculos a través de ensayos  $J$  en la norma ASTM E1820-20a [15] o la ASTM E1921-22 [16], las limitaciones son muchos menos restrictivas.

Sin embargo, esta curva límite tiene un factor  $M_{lim} = 30$  en la norma ASTM E1921-22 [16] y existen estudios cuyos resultados arrojan que para evitar problemas de pérdida de triaxialidad en la punta de la fisura, un  $M_{lim}$  de 30 a 50 es efectivo en probetas tipo C(T), pero para las probetas tipo SE(B), el  $M_{lim}$  debería ser de 150 a 300 para obtener valores correctos [70] [71]. Este rango de  $M$  prácticamente dejaría afuera la posibilidad de ensayar probetas PCCv y de menores tamaños, las cuales tienen gran relevancia, especialmente en el ámbito nuclear. En la Figura 66 se graficaron las curvas de  $K_{Jclimit}$  considerando un  $M_{lim} = 200$ .

Cuando se sigue la limitación indicada por la norma, no se encuentra ningún valor censurado, sin embargo, al utilizar 200, el 45% de las probetas 0.65T y el 80% de las PCCv son censuradas.

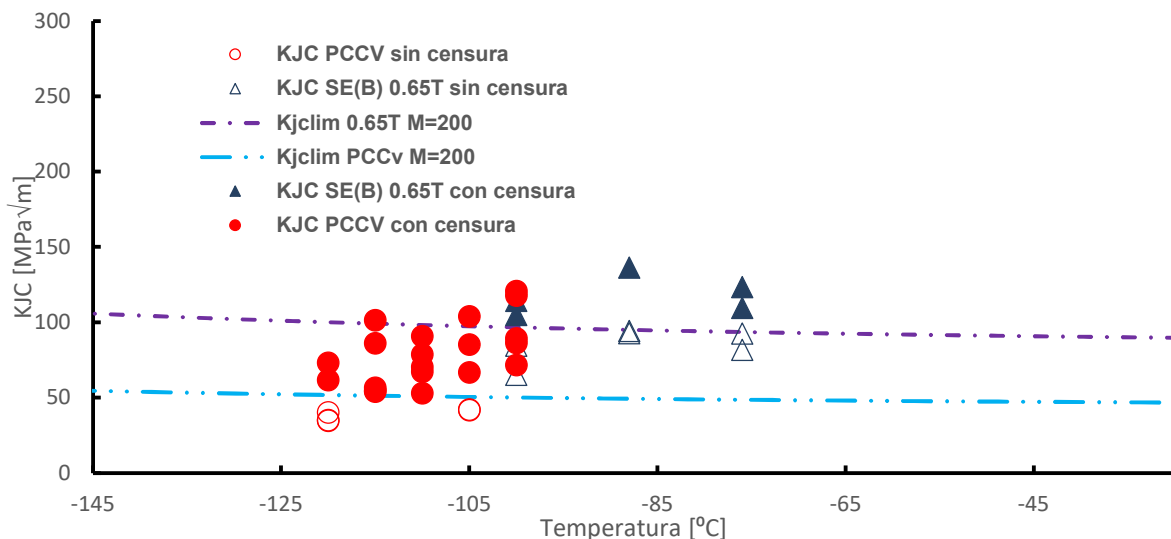


Figura 66 - Gráfico con las curvas de  $K_{Jclim}$  con  $M=200$

Estas pérdidas de triaxialidad en los bordes de las probetas se observaron en imágenes SEM dentro de la tesis. En la Figura 67 y Figura 68 se muestra la deformación plástica del lateral de la probeta en el final de la prefisura por fatiga (o región de inicio de la fractura en el ensayo) debido al estado plano de tensiones.

También se observa, especialmente en la PCCv, una zona de fractura dúctil o desgarro en el lateral.

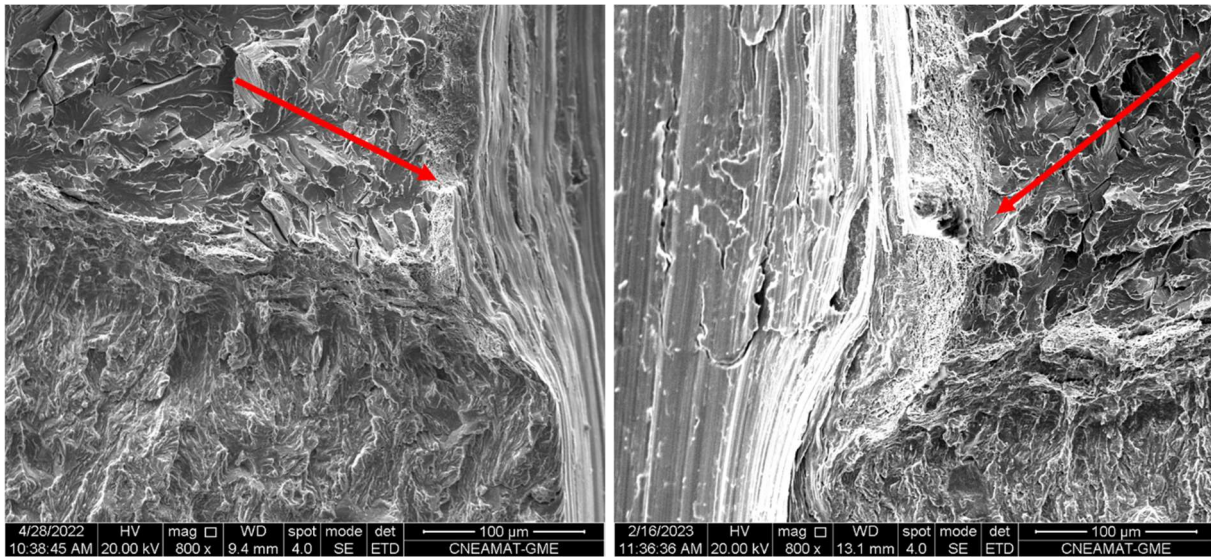


Figura 67 - Fractografía SEM de la probeta 0.65T F16 ensayada a  $-88^{\circ}\text{C}$ .

Figura 68 - Fractografía SEM de la probeta PCCv 23D ensayada a  $-120^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, también se observan enroscamientos en el principio de la fisura, que, lógicamente, son mayores en probetas donde hubo una mayor energía absorbida plásticamente, lo cual fue observado en los gráficos y en el valor del  $J_p$ . En los ensayos realizados esta deformación está dentro de los parámetros de la norma que limita el avance de la fisura previa a la rotura frágil (Figura 69).

Como se mencionó, las probetas PCCv son muy utilizadas por poseer las mismas dimensiones que las de Charpy, probetas que desde hace décadas son colocadas en los programas de vigilancia de centrales nucleares. Sin embargo, se busca sustituir este tipo de probetas por probetas más pequeñas, de sección  $5 \times 5$  mm o  $3,33 \times 3,33$  mm para reducir el volumen de material necesario para los ensayos. Se realizaron estudios estadísticos que arrojaron como resultado que la probeta de  $5 \times 5$  mm es la más eficiente en cuanto al material utilizado para lograr una correcta  $T_0$  [17].

Se recomienda continuar la tesis con estudios comparativos en probetas de esas dimensiones. Se debe prestar especial atención en estas probetas pequeñas porque la curva limitante  $K_{Jclimit}$  obliga a realizar ensayos a muy baja temperatura, los cuales incluso se pueden alejar más de  $50^{\circ}\text{C}$  de  $T_0$ , restricción impuesta por la norma para considerar válido el resultado [66].

Este alejamiento de la  $T_0$  es una cuestión clave para probetas muy pequeñas y es tratado en bibliografía [66] [76]. Cuando se realizan ensayos con probetas de  $5 \times$

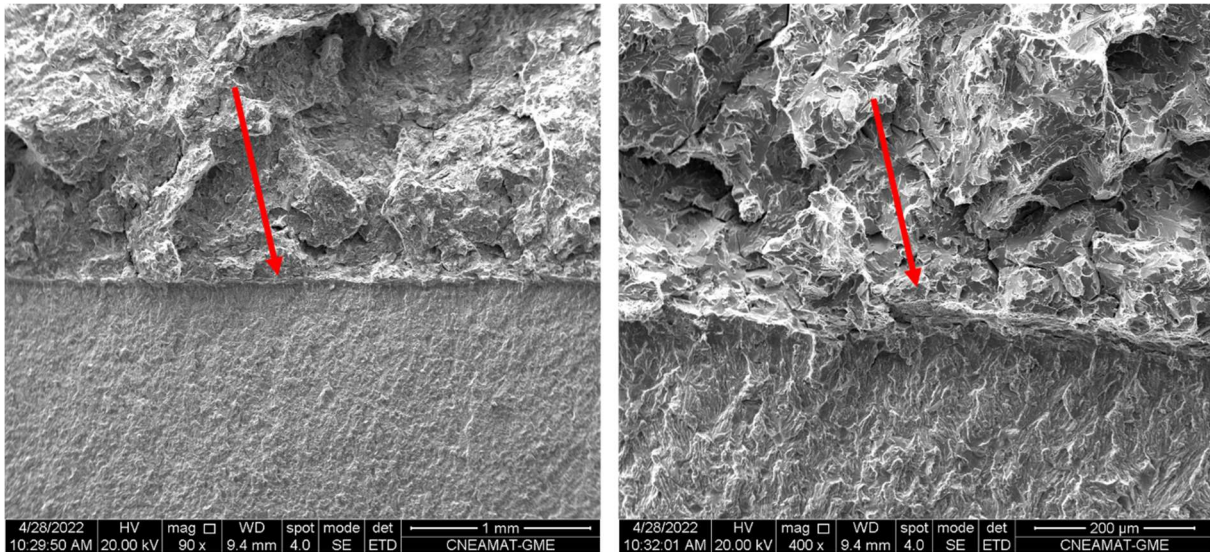


Figura 69 - Frente de fisura en probeta 0.65T F16.

5 mm o menores los datos se encuentran en la “lower tail” de la curva porque se requiere bajar la temperatura casi al límite indicado por la norma para que los resultados de  $K_{Jc}$  no superen el límite de plastificación ( $K_{Jc\text{limit}}$ ), situación que no sucede con probetas más grandes. Esto arroja como resultado temperaturas más altas de  $T_0$ , por lo tanto, más conservativas. Se sospecha que este comportamiento se debe a que los ensayos a temperaturas tan bajas ponderan la zona más frágil del material [76]. Debido a esta particularidad, en la tesis se analizaron los datos de los ensayos de 25 probetas PCCv y se buscó la  $T_0$  con probetas ensayadas entre  $-120^{\circ}\text{C}$  y  $-110^{\circ}\text{C}$  inclusive y entre  $-110^{\circ}\text{C}$  y  $-100^{\circ}\text{C}$  inclusive. Los resultados fueron  $-83,5^{\circ}\text{C}$  ( $r = 2,05$ ) y  $-89,3^{\circ}\text{C}$  ( $r = 2,26$ ) respectivamente ( $\sigma_{95\%} = 12,3^{\circ}\text{C}$ ). Si bien se encuentran dentro del rango de incertidumbre, confirman la tendencia señalada por la bibliografía.

Este desvío, se ve revertido en otros trabajos donde se realizaron ensayos sin entallas laterales (side grooves), en los cuales se observó diferencias en el sentido contrario, es decir,  $T_0$  más bajas (p.23 [66]). La utilización de entallas laterales es una práctica muy común en los ensayos de fractura en la actualidad. Sin embargo, en la norma ASTM E1921-22 [16] sigue siendo opcional, lo cual puede dar lugar a corrimientos muy grandes no conservativos.

Con respecto de las entallas laterales, la fórmula que se utiliza para la normalización de ensayos de distinto tamaño de probetas a través del método de weakest-link no tiene en cuenta la reducción de sección debido a las entallas laterales (ver fórmula en punto 8.3.2.1.5). Esta particularidad fue analizada por Wallin [75],

quien concluyó que para un caso típico de reducción de 20% en la entalla, el  $K_{JC}$  calculado a través de la fórmula de normalización disminuye un 5%. Sin embargo, la entalla reduce la plastificación de los laterales de la fisura y elimina las zonas con menor avance de la prefisura, lo cual implica un aumento de aproximadamente 5% en el valor de  $K_{JC}$ , lo cual cancela casi la totalidad del efecto anterior [75]. Esto último es un estimativo, ya que los valores dependen de la forma de la prefisura previa a las entallas laterales, y eso varía en los ensayos. Respecto de este punto, la norma ASTM E1921-22 [16] especifica en el punto 8.9.1 las restricciones geométricas de la prefisura a la hora de chequear la validez del ensayo. La norma tuvo varias modificaciones en los últimos años y a partir de la versión 2021 es más flexible respecto de la aceptación de la prefisura, lo cual puede modificar ligeramente algunos resultados.

En resumen, no existe un consenso respecto de la afectación del tamaño de la probeta. Existen trabajos donde se han realizado análisis de ensayos en probetas de distintos tamaños y geometrías en los cuales se concluye que las variaciones dependen del material a ensayar [77] lo cual haría dificultosa una corrección de datos a pesar de que existen estudios que sostienen que el corrimiento o “bias” es constante [71]. En el punto 7.6 de la norma ASTM E1921-22 [16] se advierte que en materiales que tienen menores coeficientes de endurecimiento, el límite de plastificación impuesto ( $M=30$ ), puede no ser suficiente como limitante de los resultados. En estos casos, probetas más pequeñas pueden dar  $T_0$  más bajas y por lo tanto resultados menos conservativos debido a la pérdida de triaxialidad en la punta de la fisura [65].

### 11.3.3 Correcciones por el no uso del clip gage

Otro aspecto estudiado en la tesis es la corrección debido al uso del LVDT como sensor para el cálculo del LLD. En el punto 10.4 se desarrolló el proceso de corrección de los datos y las  $T_0$  obtenidas son las observadas en la Tabla 10.

Probeta	Corrección				
	Rigidez e indentación $T_0$ [°C]	Rigidez		Sin corrección	
		$T_0$ [°C]	Dif. [°C]	$T_0$ [°C]	Dif. [°C]
0.65T	-88,2	-88,3	0,08	-88,0	0,21
PCCv	-87,6	-88,0	0,44	-87,1	0,47

Tabla 10 –  $T_0$  obtenidas a través de diferentes correcciones y su desviación respecto de la corrección por rigidez e indentación

Los ensayos fueron realizados sin utilizar clip gage, lo cual no permite hacer una comparativa directa entre datos obtenidos a partir del clip gage y del LVDT. Sin embargo, se puede concluir que las diferencias en las  $T_0$  obtenidas con y sin corrección para este sistema de máquina, dispositivos y sensores para este tipo de probetas está muy por debajo de la incertidumbre calculada previamente. Es importante resaltar que estos valores son con el tren de carga utilizado para el ensayo, ya que pueden variar sensiblemente dependiendo de la rigidez del sistema utilizado.

Otro tema de discusión es la corrección por indentación de la probeta. El punto 8.3.1.1 de la norma ASTM E1820-20a [15] advierte de esta corrección necesaria para los ensayos a través del LVDT o MCD y ofrece un documento como guía [35]. El mismo afirma que se requiere realizar una medición de la carga y el desplazamiento de un prisma de un material similar, con el mismo espesor  $B$  y que se comporte hasta la carga máxima de ensayo elásticamente. Sin embargo, las probetas listas para ensayar, a diferencia del caso planteado en [35], poseen una indentación previa propia de la fuerza cíclica para generar la prefisura. La fuerza utilizada depende entre otros parámetros de la largo inicial de la entalla mecánica. Cuanto menor es la entalla mecánica inicial, los valores de  $K$  son menores en la punta de la fisura para una misma carga. Es debido a esto que se utilizan cargas mayores y eso genera indentaciones mayores. Esta situación es muy habitual en probetas PCCv, las cuales parten de una entalla mecánica de Charpy que es poco profunda y requiere cargas altas en comparación con las finales alcanzadas en el ensayo. Debido a esto, en algunas probetas se dio una condición donde las cargas de ciclado fueron mayores que las cargas máximas durante el ensayo de fractura. Al observar esta particularidad, en las probetas PCCv la corrección por indentación se realizó primero cargando la probeta para compliance con la carga máxima alcanzada durante la fatiga a temperatura ambiente, luego se realizó el procedimiento de bajar la temperatura a la correspondiente para el ensayo y se obtuvo una curva de carga para corregir posteriormente los datos. Esta consideración no es tenida en cuenta en la norma ASTM E1820-20a [15] y puede dar lugar a errores. Sin embargo, a pesar de que no se indica que sea ese el objetivo, esas correcciones se vuelven importantes en ensayos de probetas que alcanzan un alto grado de plastificación o se utilizan para realizar ensayos en la construcción de las curvas R.

### 11.3.4 Observaciones particulares

Se realizó un cálculo de  $T_0$  para cada sección del bloque debido a que existen 3 secciones de las cuales se obtuvieron probetas para la Master Curve (Figura 20). Si bien se encuentran próximas, es de esperar que las  $T_0$  den más altas hacia el el sector del interior del anillo debido a que el método de elaboración del mismo genera mayor cantidad de macrosegregaciones en el interior del anillo, las cuales fueron observadas en la macrografía (Figura 22). Si bien la diferencia se encuentra dentro de la incertidumbre del ensayo, la tendencia confirma lo esperado por la metalurgia del material (Tabla 11).

Sección	$T_0$ [°C]	Sumatoria r	Diferencia [%]
Interna	-83,5	1,75	-4.9%
Media	-88,5	1,86	0.8%
Externa	-90,2	1,83	2.8%
<b>Total</b>	<b>-87,8</b>	<b>5,52</b>	<b>---</b>

Tabla 11 –  $T_0$  calculadas en las distintas secciones

Otro fenómeno observado que se encuentra fuera del alcance de la tesis fue un “crack arrest” en las probetas PCCv. Durante el ensayo, la fuerza sobre la probeta aumentaba, llegaba a la carga máxima y luego caía abruptamente a cero. Pero al continuar el desplazamiento del pistón, la probeta volvía a cargar muy por debajo de la rotura inicial y finalmente terminaba de romper. Al analizar visualmente las probetas, se observaba una línea sobre la superficie de fractura, paralela a la prefisura que daba como resultado un ligamento remanente de 1 mm o menos. Se llevó la muestra al

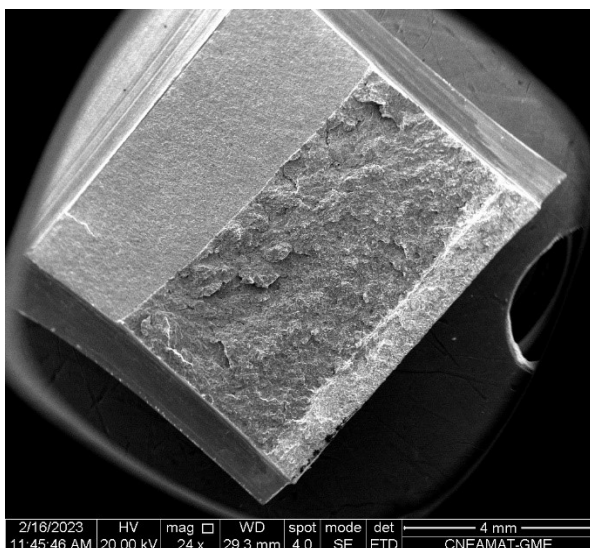


Figura 70 - Probeta 23D donde se observa el crack arrest.

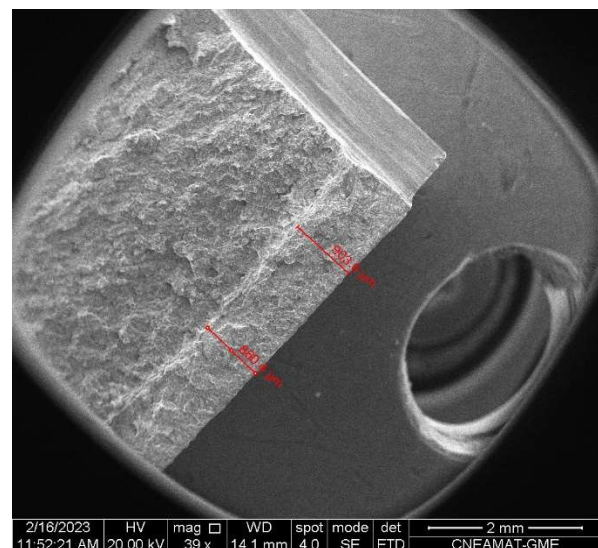


Figura 71 - Probeta 23D. Medición del ligamento remanente luego del crack arrest.

SEM y se pudo definir una zona donde la fisura se detuvo, luego se tuvo una pequeña deformación plástica y finalmente vuelve a romper por clivaje.

Este fenómeno no se observa en las probetas de 0.65T. El estudio dinámico de la fractura es muy complejo, y se requieren análisis de tiempos de aplicación de carga, energías acumuladas e incluso aparecen ondas de tensiones involucradas. En el *Apéndice XIV* se encuentra un resumen teórico sobre el tema particular del caso cuasiestático.

Ambos tipos de probeta, al ser del mismo material, tienen la misma  $K_{IA}$  (para la misma temperatura). La diferencia se da en la  $K_{Ia}$ , la cual depende de la geometría y entorno del sistema. Respecto de estos ensayos, las diferencias más importantes son el tamaño y geometría de las probetas y el tren de carga de la máquina de ensayos. En un ensayo de fractura basado en la norma ASTM E1921-22 [16], la probeta se carga hasta que se dispara la fisura. Sin embargo, como se observa en la teoría, la fisura puede continuar hasta romper o detenerse en el medio, y en este caso hay dos factores importantes a tener en cuenta que son la compliance de la probeta y la rigidez de la máquina de ensayo.

Respecto a la compliance, la misma cambia al avanzar la fisura, lo cual, en el caso ideal de una máquina de ensayos totalmente rígida, la carga disminuye. Pero la rigidez del equipo y dispositivos (que cambian con la probeta ensayada) no es infinita, se comporta como una serie de resortes. Si el sistema es muy rígido, ante la variación mínima de desplazamiento, la carga cae abruptamente, caso contrario, la carga se mantiene.

Sin embargo, para comprobar esto se requiere un análisis cuantitativo y riguroso del sistema.

## 12 CONCLUSIONES

---

A partir del trabajo realizado se obtienen las siguientes conclusiones dependiendo del tipo de ensayo realizado.

### 12.1 TRACCIÓN

- La tensión de fluencia y tensión máxima son estadísticamente iguales aplicando el criterio de la t-student para los distintos tipos y tamaños de probeta utilizados.
- La probeta tipo REVE entra dentro de este criterio, pero se encuentra en el límite con valores menores a las demás probetas.
- A pesar de cumplir el criterio estadístico, hay una tendencia de probetas redondas o con proporciones  $W/t$  cercanas a 1 a dar tensiones más altas.
- La tensión de fractura en las probetas redondas medianas y pequeñas fueron distintas según el criterio t-student, presumiblemente por la mayor reducción en la sección de la estricción.
- La reducción de área es mayor en las probetas redondas y con proporción  $W/t$  cercana a 1.
- La elongación total disminuye a medida que aumenta la relación  $L_0/\sqrt{S_0}$  y la uniforme disminuye en menor proporción acercándose al valor de la total.
- La fluencia discontinua parece depender de la geometría y tamaño, coincidiendo con lo visto en la bibliografía.

Todas estas conclusiones requieren mayor cantidad de ensayos debido a que sólo se realizaron 2 probetas por geometría y tamaño, lo cual es poco a pesar de la poca dispersión que suele haber en ensayos de tracción.

### 12.2 MASTER CURVE

- Las  $T_0$  obtenidas fueron de  $-88,2^\circ\text{C}$  para probetas 0.65T y de  $-87,6^\circ\text{C}$  para PCCv, por lo cual se pueden considerar iguales dentro de la desviación del ensayo.

- Una Master Curve calculada con probetas PCCv ensayadas a temperaturas entre  $-120^{\circ}\text{C}$  y  $-110^{\circ}\text{C}$  inclusive y entre  $-110^{\circ}\text{C}$  y  $-100^{\circ}\text{C}$  da como resultado  $T_0$  de  $-83,5^{\circ}\text{C}$  y  $-89,3^{\circ}\text{C}$  respectivamente, lo cual coincide con la tendencia indicada en la bibliografía.
- Como se registra en bibliografía, se observa en la macrografía y en la metalurgia del material, un cambio en la posición de las probetas respecto de la sección, genera una variación en la  $T_0$ . Del interior al exterior de la sección utilizada para las muestras, la  $T_0$  es de  $-83,5^{\circ}\text{C}$  ,  $-88,5^{\circ}\text{C}$  y  $-90,2^{\circ}\text{C}$ .
- Para esta máquina y dispositivos utilizados y los ensayos realizados, la corrección por rigidez o por rigidez e indentación no es necesaria ya que la variación no es mayor al  $0,5^{\circ}\text{C}$  en ningún caso.

La Master Curve es una curva estadística, por lo tanto, realizar afirmaciones respecto de la misma requiere gran cantidad de ensayos. En *Trabajos a futuro* se sugieren algunos posibles futuros estudios.

## 13 TRABAJOS A FUTURO

---

### 13.1 TRACCIÓN

Respecto de los ensayos de tracción, existen varios trabajos que pueden profundizar los temas tratados:

- Realizar más cantidad de probetas por geometría y tamaño para mejorar la estadística.
- Realizar ensayos en probetas más finas, lo cual puede dar lugar a comportamientos distintos, especialmente en la forma de la estricción y rotura.
- Utilizar extensómetro hasta superada la carga máxima para poder realizar gráficos de tensión verdadera en función de deformación verdadera.
- Realizar estudios de la variación del UYP respecto del tamaño y forma de la probeta, ya sea en este material o en otros que presenten fluencia discontinua.
- Estudiar el comportamiento del material respecto de 2 particularidades vistas en las propiedades mecánicas en función de la temperatura. Uno es un aumento de la elongación a rotura a medida que disminuye la temperatura y otro es un aumento de las tensiones en una temperatura alrededor de 280°C.

### 13.2 MASTER CURVE

- Realizar ensayos con probetas más pequeñas que las PCCv, como las de 10x5mm, 5x5mm o incluso menores. En estos casos es más probable que puedan encontrarse mayor falta de triaxialidad en la punta de la fisura.
- Realizar ensayos de probetas del mismo tamaño pero separar en dos lotes: uno con entallas laterales y el otro sin entallas laterales y observar si hay cambios en la  $T_0$  siempre y cuando se cumpla los criterios de la norma.

- Realizar ensayos con la utilización del clip gage para posteriormente calcular la  $T_0$  con los datos de ese instrumento y del LVDT con el fin de verificar la necesidad o no del uso del clip gage para este tipo de ensayos.

## 14 APÉNDICE I

A continuación, se detallan los planos de las probetas utilizadas para la tesis. Los mismos no son planos de fabricación y las tolerancias se encuentran en las normas ASTM E8/E8M-16<sup>a</sup> [12] para tracción, ASTM E1921-22 [16] para fractura 0.65T y ASTM E23-18 [26] para PCCv o Charpy.

### 14.1 TRACCIÓN

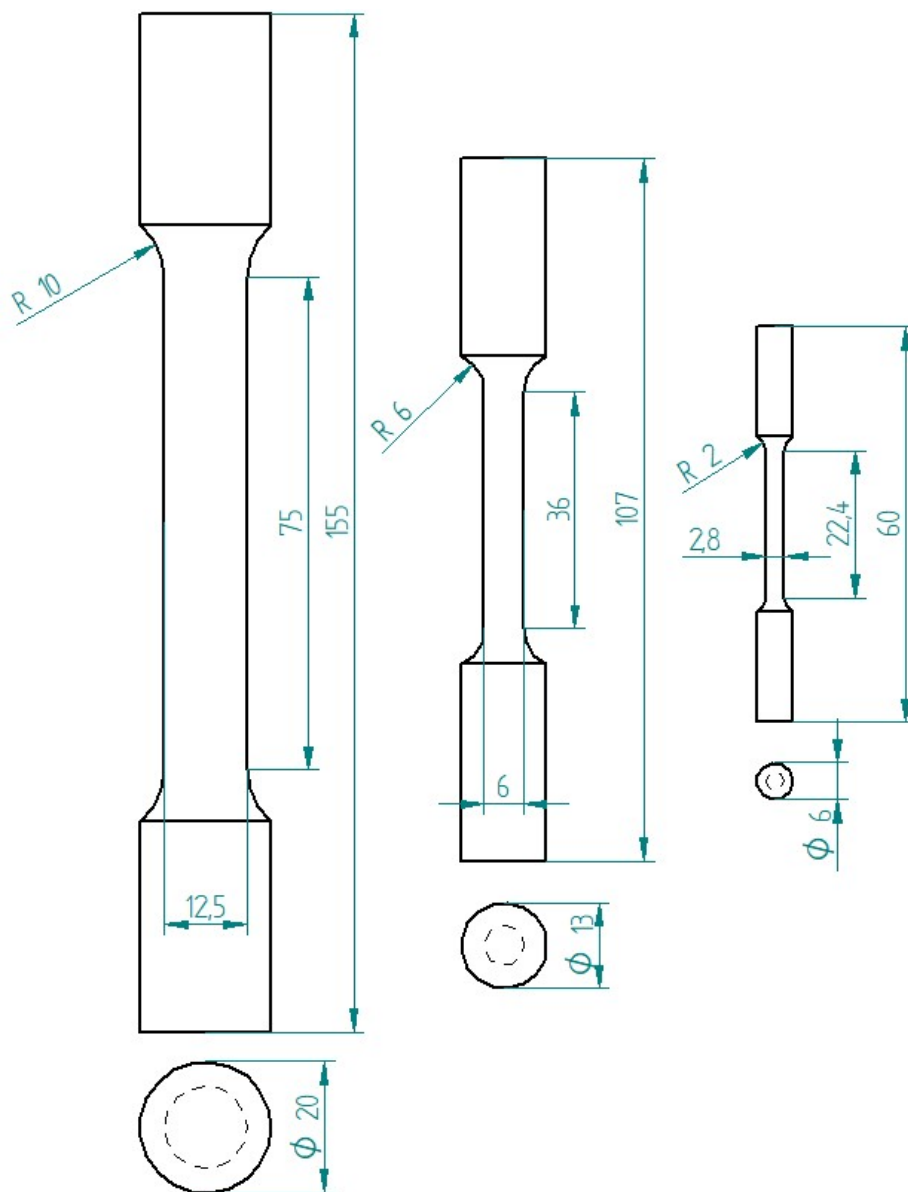


Figura 72 - De izq. a der., probetas de tracción redondas: grandes, medianas y pequeñas

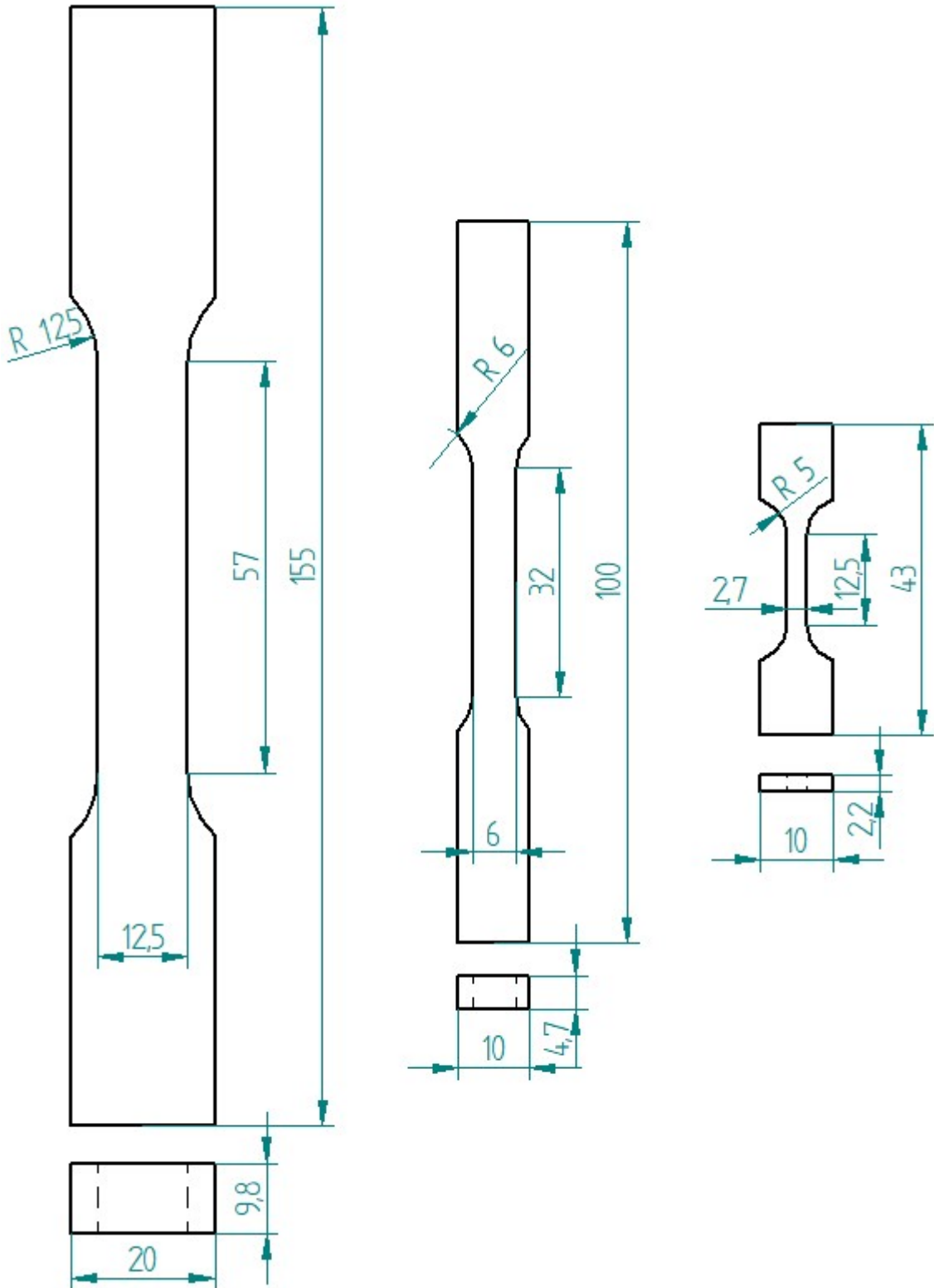


Figura 73 - De izq. a der., probetas de tracción rectangulares: grandes, medianas y pequeñas

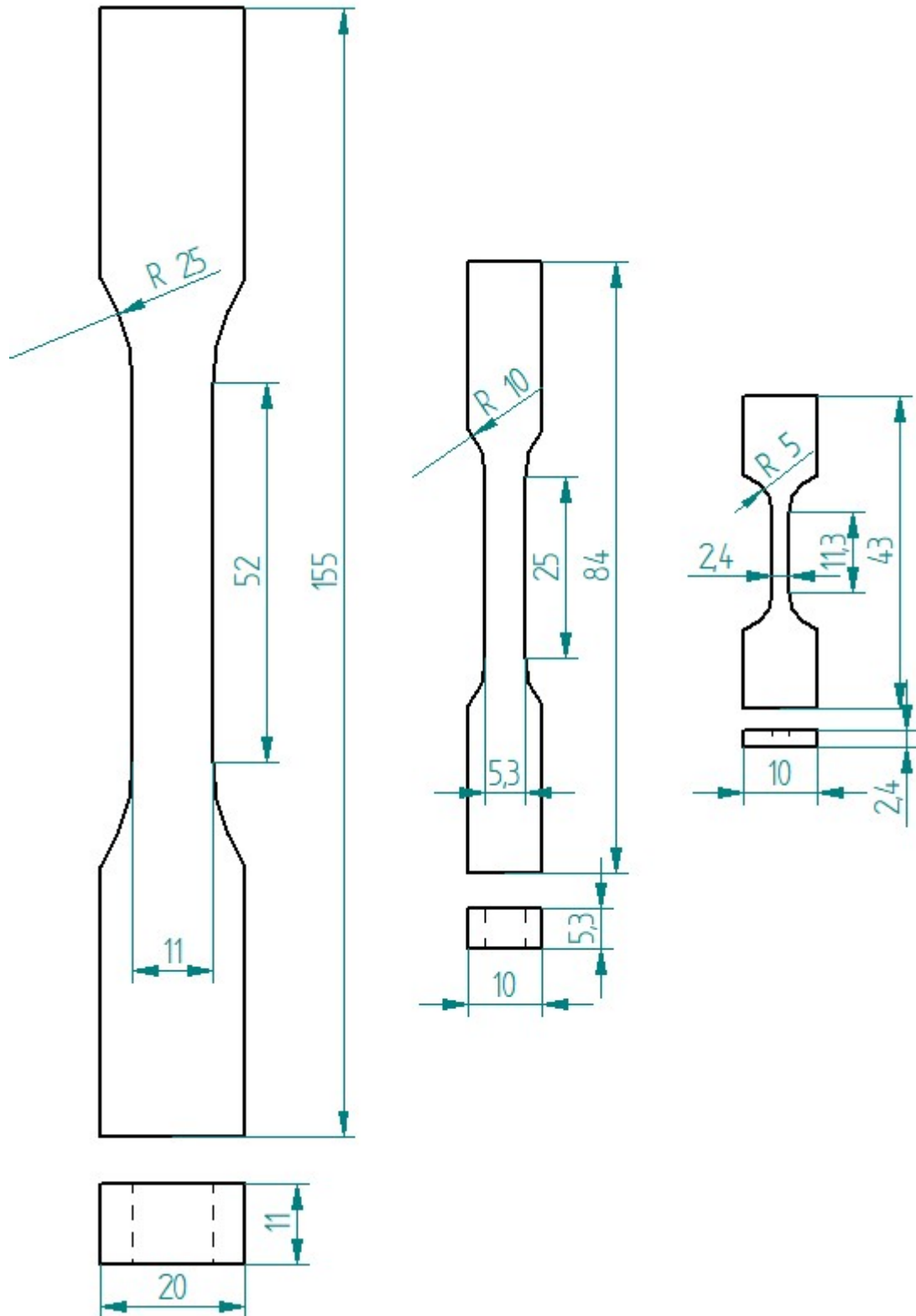


Figura 74 - De izq. a der., probetas de tracción cuadradas: grandes, medianas y pequeñas

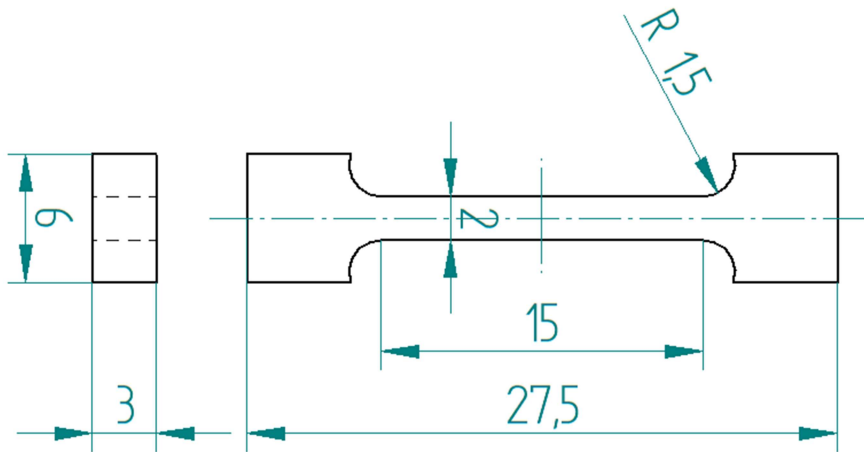


Figura 75 - Probeta tipo REVE

## 14.2 FRACTURA

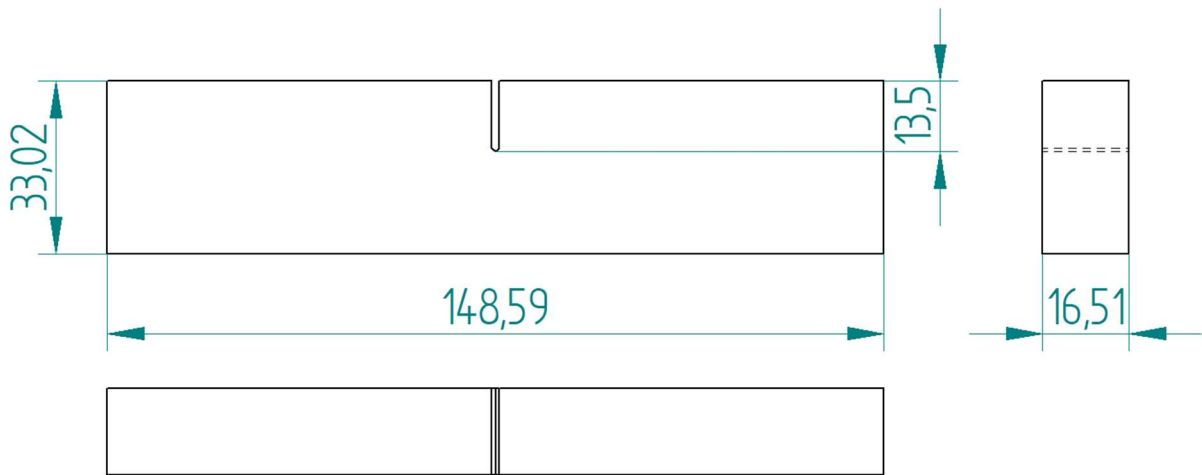


Figura 76 - Probeta 0.65T

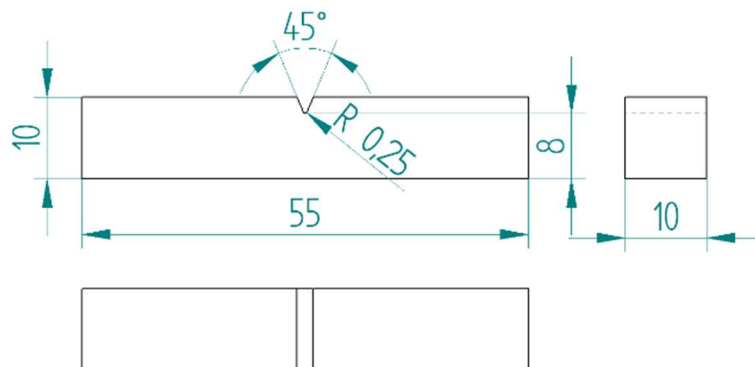


Figura 77 - Probeta PCCv o Charpy

## 15APÉNDICE II

FO-CNEAMAT\_EFF-12\_r1



### REGISTRO DE MEDICIONES DE DUREZA

Fecha: 08/09/2021  
 Plan de trabajo N°: N/A  
 Solicitante: N/A  
 Método: HRBW

OPERADOR	CARGA DE ENSAYO
Federico Villanueva	100 kg

Instrumental y equipamiento utilizado

CÓDIGO	INSTRUMENTO
INS_MAT-EFF-070	Penetrador de 1/16"
INS_MAT-EFF-025	Durómetro

#### Patrones utilizados:

Patrón	Valor nominal	Valores medidos			Valor promedio
PAT_MAT-EFF-022	87,9 ±1,1 HRBW	87,5	88,0	88,0	87,8
PAT_MAT-EFF-021	60,19±1,2 HRBW	59,0	61,0	61,0	60,3

FO-CNEAMAT\_EFF-12\_r1

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

Resultados

Ver planilla adjunta: Titulo: TABLA DE RESULTADOS

PROBETA N° \ IMPRONTA N°	1	2	3	4	PROMEDIO
1	87,5	87,0	86,5	87,0	87,0
Dureza de probeta 1 corregida*					88,5
2	87,5	87,5	88,0	86,5	87,4
Dureza de probeta 2 corregida*					88,9
3	90,0	89,5	89,5	89,0	89,5
4	90,0	89,5	88,5	89,0	89,3
5	89,5	89,5	89,5	90,0	89,6
6	90,0	90,0	91,5	91,0	90,6
7	87,0	86,0	87,5	86,0	86,6
Dureza de probeta 7 corregida*					88,9
8	86,5	86,5	87,0	86,0	86,5
Dureza de probeta 8 corregida*					88,8
9	89,5	89,5	89,5	90,0	89,6
10	90,5	90,0	90,0	90,5	90,3
11	90,5	91,0	89,5	90,0	90,3
12	89,0	90,0	90,0	90,0	89,8
13	84,0	83,0	82,0	82,5	82,9
Dureza de probeta 13 corregida**					87,7
14	82,5	83,0	85,0	83,0	83,4
Dureza de probeta 14 corregida**					88,2
15	89,5	90,0	91,0	91,0	90,4
16	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0

Página 2 de 3

FO-CNEAMAT EFF-12 r1

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

17	89,5	90,0	89,0	91,0	89,9
18	89,5	90,0	89,5	90,5	89,9
19	88,5		90,0		89,3
20	87,5		88,0		87,8
<b>PROMEDIO TOTAL</b>					<b>89,4</b>



Observaciones:

\*Valor de probetas redondas corregidas mediante tabla A6.2 – ASTM E18-20.

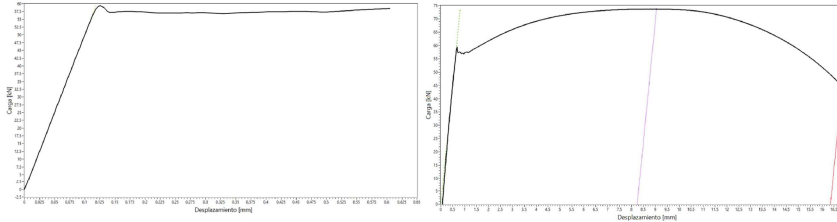
\*\* Valor fuera de norma por ser el diámetro menor a 6,4 mm.

# 16APÉNDICE III

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

## Informe de ensayo de tracción



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: T01		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: cilíndrica		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: 50 mm
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 21,0°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,878		
		Fecha de ensayo: 18/10/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

### Identificación de instrumentos de medición

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT EFF-061	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

### Dimensiones de la probeta (mm)

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	62,77	G <sub>f</sub>	77,89	
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	75,00	A <sub>f</sub>	91,34	
Diámetro exterior - D	D <sub>0</sub>	12,34	D <sub>f</sub>	6,64	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	119,60	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	34,63	

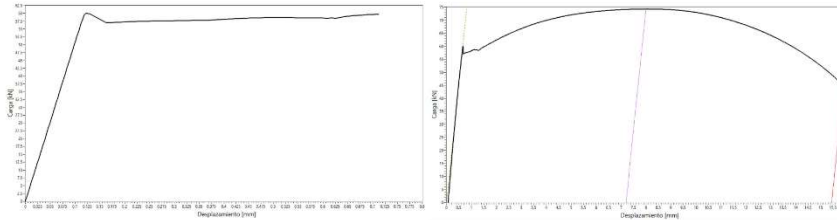
### Resultados de ensayo

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
	Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	--	σ <sub>0,2</sub>
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	56,83	σ <sub>LYS</sub>	475,15
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	59,32	σ <sub>UYS</sub>	496,01
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	73,65	σ <sub>m</sub>	615,85
Reducción de área (%) : 71,05		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 24,09		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 10,98		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 21,79		

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
Identificación de probeta: T02		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: cilíndrica		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 50 mm		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 21,4°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,878		
		Fecha de ensayo: 18/10/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT_EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT_EFF-061	Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

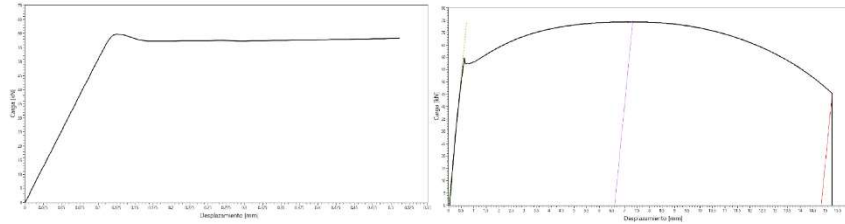
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	62,82	G <sub>f</sub>	77,01
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	75,00	A <sub>f</sub>	90,44
Diámetro exterior - D	D <sub>0</sub>	12,45	D <sub>f</sub>	6,67
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	121,74	S <sub>r</sub> (mm <sup>2</sup> )	34,94

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	56,99	σ <sub>LYS</sub>	468,13
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	60,03	σ <sub>UYS</sub>	493,14
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	74,30	σ <sub>m</sub>	610,36
Reducción de área (%) : 71,30			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,59	
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 9,60			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,59	

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
Identificación de probeta: T03		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: prismática rectangular		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 50 mm		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 21,3°C		
Observaciones:		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,667		
Identificación de instrumentos de medición		Fecha de ensayo: 14/10/2021		
Calibre: INS-MAT_EFF-065		Operador: Villanueva		
Extensómetro: INS-MAT_EFF-061		Aprobó: Ciriani		
Termocupla/Termoresistencia: N/A		Intervino Calidad: Villanueva		

Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	50,25	G <sub>f</sub>	64,25
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	57	A <sub>f</sub>	71,84
Ancho - W	W <sub>0</sub>	12,47	W <sub>f</sub>	7,28
Espesor - T	T <sub>0</sub>	9,79	T <sub>f</sub>	5,62
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	122,08	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	40,91

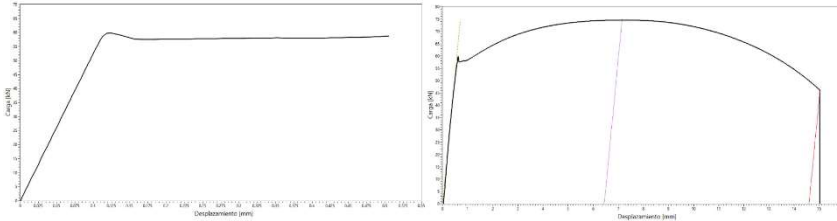
Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--		σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	57,24		σ <sub>LYS</sub>	468,90
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	59,70		σ <sub>UYS</sub>	489,03
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	74,32		σ <sub>m</sub>	608,80
Reducción de área (%) : 66,49		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,86			

Datos LVDT	
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>0</sub> : 11,60	Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,03

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo	
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021	
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002	
Identificación de probeta: T04		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:	
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos	
Tipo de probeta: prismática rectangular		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 50 mm	
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 21,3°C	
Observaciones:		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,667	
		Fecha de ensayo: 14/10/2021	
		Operador:	Aprobó:
		Villanueva	Ciriani
		Intervino Calidad: Villanueva	

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT_EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT_EFF-061	Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

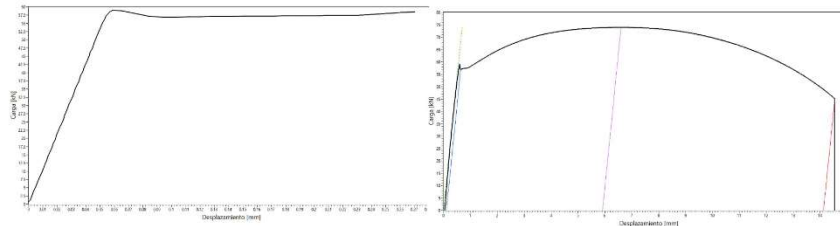
Dimensiones de la probeta (mm)					
Antes del ensayo			Después del ensayo		
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	50,26	G <sub>f</sub>		64,08
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	57	A <sub>f</sub>		71,60
Ancho - W	W <sub>0</sub>	12,47	W <sub>f</sub>		7,39
Espesor - T	T <sub>0</sub>	9,79	T <sub>f</sub>		5,61
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	122,08	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )		41,46

Resultados de ensayo				
		Carga (KN)	Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	57,53	σ <sub>LYS</sub>	471,21
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	59,86	σ <sub>UYS</sub>	490,35
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	74,59	σ <sub>m</sub>	611,01
Reducción de área (%) : 66,04			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,5	
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>a</sub> : 11,3			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 25,61	

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos
	Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 25 mm
Identificación de probeta: T05	Temperatura de ensayo: 20,7°C
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,608
Tipo de probeta: prismática cuadrada	Fecha de ensayo: 14/10/2021
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva    Aprobó: Ciriani    Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:	
Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT_EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT_EFF-077	Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

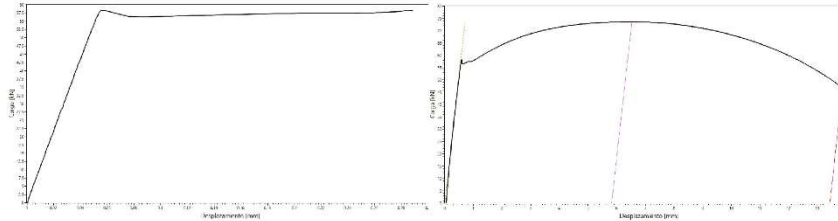
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	45,32	G <sub>f</sub>	58,62	
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	52	A <sub>f</sub>	66,13	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	10,99	W <sub>f</sub>	6,22	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	10,99	T <sub>f</sub>	6,27	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	120,78	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	39	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	56,93	σ <sub>LYS</sub>	471,38	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	58,98	σ <sub>UYS</sub>	488,35	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	73,98	σ <sub>m</sub>	612,54	
Reducción de área (%) : 67,71		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 29,35			
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>0</sub> : 11,37		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 27,17			

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021		
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
	Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: 25 mm
Identificación de probeta: T06	Temperatura de ensayo: 21,0°C		
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,608		
Tipo de probeta: prismática cuadrada	Fecha de ensayo: 14/10/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva	Aprobó: Círiani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT_EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT_EFF-077	Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	44,94	G <sub>f</sub>	57,76
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	52	A <sub>f</sub>	65,44
Ancho - W	W <sub>0</sub>	10,99	W <sub>f</sub>	6,38
Espesor - T	T <sub>0</sub>	10,99	T <sub>f</sub>	6,33
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	120,78	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	40,39

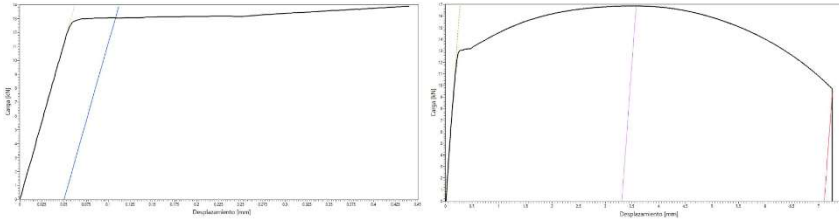
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	56,26	σ <sub>LYS</sub>	465,79
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	58,25	σ <sub>UYS</sub>	482,24
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	73,54	σ <sub>m</sub>	608,86
Reducción de area (%) : 66,56		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 28,53		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 11,19		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 25,84		

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
Identificación de probeta: T07		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: cilíndrica		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 25 mm		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 20,5°C		
Observaciones:		Velocidad de ensayo (mm/mín): 0,421		
		Fecha de ensayo: 18/10/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Identificación de instrumentos de medición			
Calibre: INS-MAT_EFF-065		Controlador de temperatura: N/A	
Extensómetro: INS-MAT_EFF-077		Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018	
Termocupla/Termoresistencia: N/A			

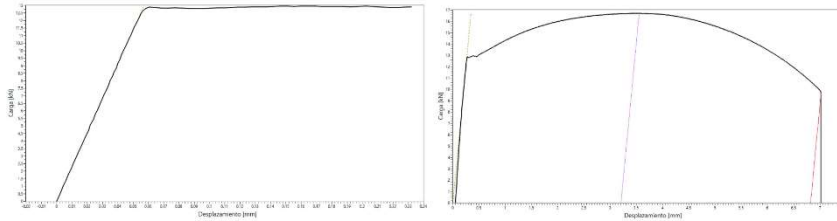
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	29,99	G <sub>f</sub>	36,64	
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	36,00	A <sub>f</sub>	43,11	
Diámetro exterior - D	D <sub>0</sub>	5,92	D <sub>f</sub>	3,10	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	27,53	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	7,55	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	---		σ <sub>0.2</sub>	---
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	13,16		σ <sub>LYS</sub>	477,98
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	13,19		σ <sub>UYS</sub>	479,04
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	16,89		σ <sub>m</sub>	613,54
Reducción de área (%) : 72,58			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,17		
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 9,19			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 19,74		

FO-CNEAMAT\_EFF-01 #4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
Identificación de probeta: T08		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: cilíndrica		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: 25 mm
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 20,0°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,421		
		Fecha de ensayo: 18/10/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT EFF-077	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termo-resistencia: N/A	

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	30,28	G <sub>f</sub>	37,01	
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	36,00	A <sub>f</sub>	42,82	
Diámetro exterior - D	D <sub>0</sub>	5,92	D <sub>f</sub>	3,20	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	27,53	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	8,04	

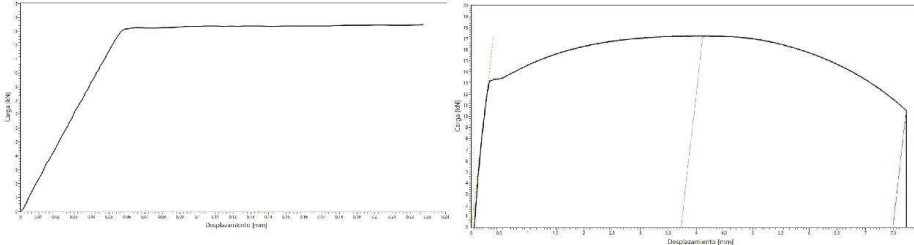
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LVS</sub>	12,80	σ <sub>LVS</sub>	464,85
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	12,88	σ <sub>UYS</sub>	467,87
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	16,71	σ <sub>m</sub>	607,07
Reducción de área (%) : 70,78		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,23		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 8,91		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 18,95		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: T09		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: prismática rectangular		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 25 mm		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 20,9°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,375		
		Fecha de ensayo: 13/10/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones: **La probeta rompió fuera del 50% central**

Identificación de instrumentos de medición			
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: N/A	
Extensómetro: INS-MAT EFF-077		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018	
Termocupla/Termoresistencia: N/A		Micrómetro: INS-MAT EFF-019	

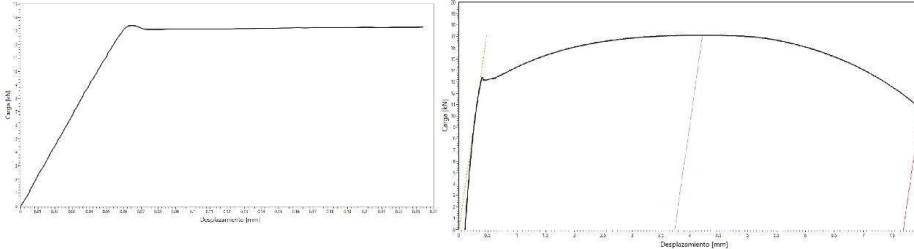
Dimensiones de la probeta (mm)					
Antes del ensayo			Después del ensayo		
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	25,29	G <sub>f</sub>	31,81	
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	32,00	A <sub>f</sub>	39,49	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	6,03	W <sub>f</sub>	3,89	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	4,71	T <sub>f</sub>	2,78	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	28,4	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	10,81	

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	--	σ <sub>0,2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	13,22	σ <sub>LYS</sub>	465,64
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	13,26	σ <sub>UYS</sub>	466,80
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	17,26	σ <sub>m</sub>	607,60
Reducción de área (%) : <b>61,92</b>			Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>25,78</b>	
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>11,63</b>			Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>23,40</b>	

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos
	Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 25 mm
Identificación de probeta: T10	Temperatura de ensayo: 20,9°C
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,375
Tipo de probeta: prismática rectangular	Fecha de ensayo: 13/10/2021
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva    Aprobó: Ciriani    Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **La probeta rompió fuera del 50% central**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT EFF-077	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	Micrómetro: INS-MAT EFF-019

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>25,33</b>	G <sub>f</sub>	<b>31,97</b>
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	<b>32,00</b>	A <sub>f</sub>	<b>39,70</b>
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>6,04</b>	W <sub>f</sub>	<b>3,77</b>
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>4,70</b>	T <sub>f</sub>	<b>2,73</b>
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>28,45</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>10,29</b>

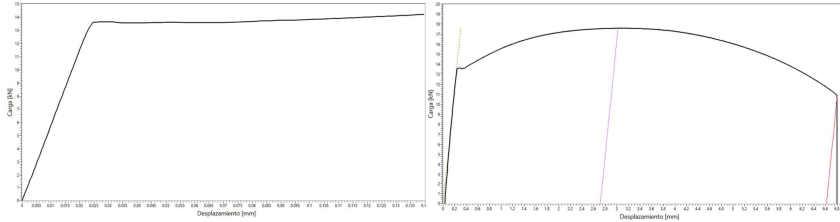
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	<b>13,12</b>	σ <sub>LYS</sub>	<b>461,36</b>
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	<b>13,41</b>	σ <sub>UYS</sub>	<b>471,34</b>
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>17,10</b>	σ <sub>m</sub>	<b>601,22</b>
Reducción de área (%) : <b>63,82</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>26,21</b>		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>11,68</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>24,05</b>		

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**




Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
Identificación de probeta: T11		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: prismática cuadrada		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 10 mm		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 22,0°C		
Observaciones:		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,293		
		Fecha de ensayo: 21/10/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

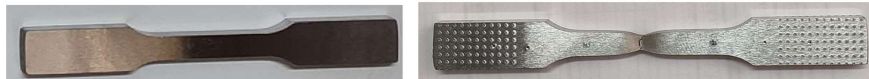
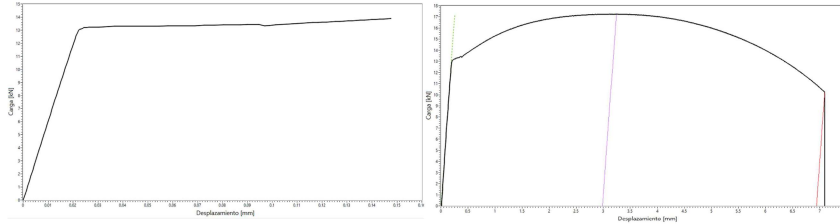
Identificación de instrumentos de medición				
Calibre: INS-MAT_EFF-065		Controlador de temperatura: N/A		
Extensómetro: MTS Modelo: 632.13M S.N.: 108		Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018		
Termocupla/Termoresistencia: N/A				
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	21,29	G <sub>f</sub>	27,48
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	25	A <sub>f</sub>	31,61
Ancho - W	W <sub>0</sub>	5,31	W <sub>f</sub>	3,16
Espesor - T	T <sub>0</sub>	5,32	T <sub>f</sub>	3,11
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	28,25	S <sub>r</sub> (mm <sup>2</sup> )	9,83

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	13,56	σ <sub>LYS</sub>	479,91
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	13,64	σ <sub>UYS</sub>	482,91
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	17,61	σ <sub>m</sub>	623,23
Reducción de área (%): 65,21		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 29,07		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 10,85		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,46		

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-021
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos
	Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 10 mm
Identificación de probeta: T12	Temperatura de ensayo: 22,2°C
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,293
Tipo de probeta: prismática cuadrada	Fecha de ensayo: 21/10/2021
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva    Aprobó: Ciriani    Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT_EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: MTS Modelo: 632.13M S.N.: 108	Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

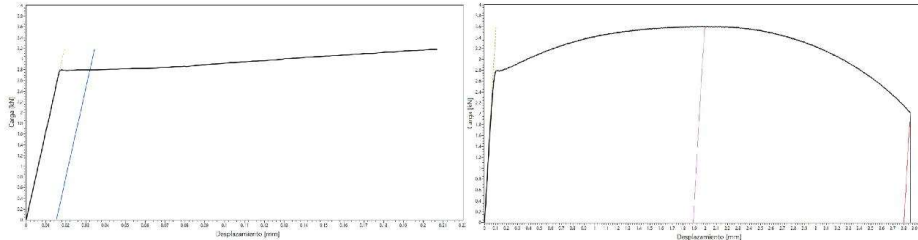
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	21,31	G <sub>f</sub>	27,65	
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	25	A <sub>f</sub>	31,94	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	5,31	W <sub>f</sub>	3,11	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	5,32	T <sub>f</sub>	3,05	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	28,25	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	9,49	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0,2%	P <sub>0,2</sub>	13,31	σ <sub>0,2</sub>	471,10	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	17,25	σ <sub>m</sub>	610,65	
Reducción de área (%) : 66,42		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 29,75			
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 11,95		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,77			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: T13		Carga: 100 kN	L.VDT: 100 mm	Extens: 7,62 mm
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: 22,7°C		
Tipo de probeta: cilíndrica		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,262		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 21/10/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: MTS Modelo: 632.16 B-21 S.N.:107	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

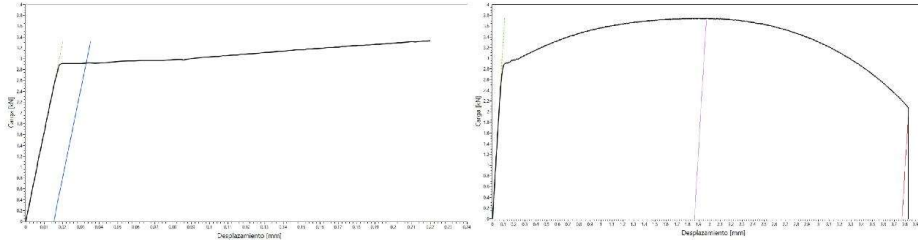
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	14,03		G <sub>f</sub>	17,27
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	22,40		A <sub>f</sub>	26,20
Diámetro exterior - D	D <sub>0</sub>	2,73		D <sub>f</sub>	1,43
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,85		S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	1,61

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--		σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,78		σ <sub>LYS</sub>	474,92
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,79		σ <sub>UYS</sub>	477,19
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,60		σ <sub>m</sub>	615,70
Reducción de area (%): 72,56			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,09		
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 8,44			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 16,96		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo: Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: T14		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: 7,62 mm
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: 22,9°C		
Tipo de probeta: cilíndrica		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,262		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 21/10/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió en el borde del 50% central**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: MTS Modelo: 632.16 B-21 S.N.:107	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	14,13	G <sub>f</sub>	17,21
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	22,40	A <sub>f</sub>	26,17
Diámetro exterior - D	D <sub>0</sub>	2,79	D <sub>f</sub>	1,51
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,11	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	1,79

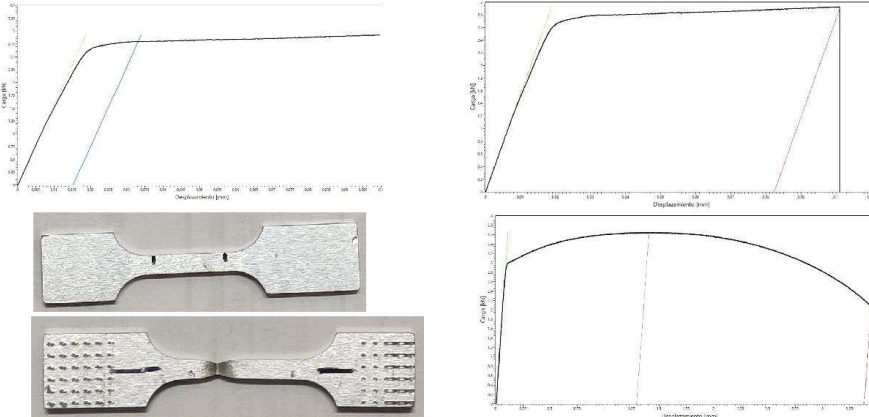
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,92	σ <sub>0.2</sub>	477,88
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,75	σ <sub>m</sub>	612,86
Reducción de área (%): <b>70,71</b>		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>21,8</b>		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>8,30</b>		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>16,83</b>		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**





Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo			
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021			
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002			
Identificación de probeta: T15		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:			
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos			
Tipo de probeta: prismática rectangular		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 7,62 mm			
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 20,3°C			
Observaciones: <b>la probeta rompió en el borde del 50% central. El ensayo fue suspendido luego de la fluencia y retomado luego por problemas técnicos.</b>		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,146			
		Fecha de ensayo: 19/10/2021			
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:	
		Villanueva	Ciriani	Villanueva	
Identificación de instrumentos de medición					
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: N/A			
Extensómetro: MTS Modelo: 632.16 B-21 S.N.:107		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018			
Termocupla/Termoresistencia: N/A					
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	10,75	G <sub>f</sub>	13,89	
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	12,50	A <sub>f</sub>	15,96*	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,73	W <sub>f</sub>	1,68	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,17	T <sub>f</sub>	1,37	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,92	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,30	

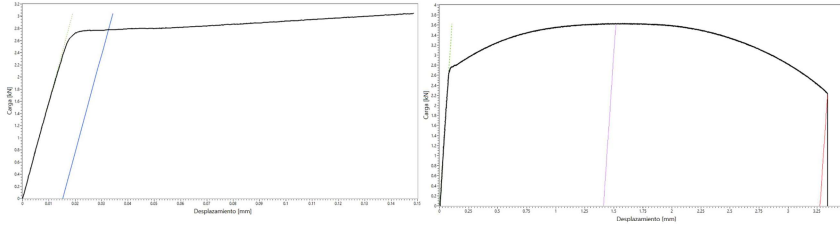
Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,80		σ <sub>0.2</sub>	472,20
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--		σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--		σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,65		σ <sub>m</sub>	615,56
Reducción de área (%) : 61,15			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 29,21		
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 10,96*			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,68*		

\*Debido a que el ensayo fue suspendido, se sumaron las deformaciones permanentes de ambas partes

FO-CNEAMAT\_EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-002		
Identificación de probeta: T16		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: prismática rectangular		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 7,62 mm		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 21,9°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,146		
		Fecha de ensayo: 19/10/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT_EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: MTS Modelo: 632.16 B-21 S.N.:107	Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

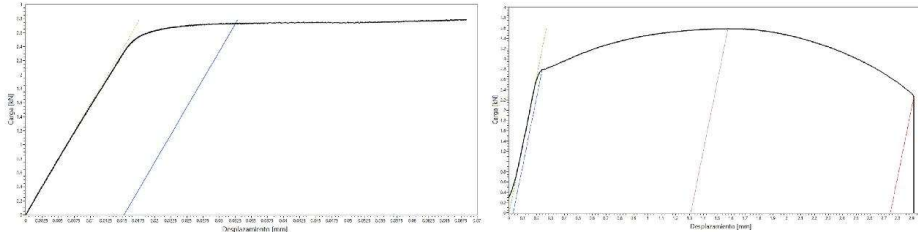
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	10,75	G <sub>r</sub>	13,72
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	12,50	A <sub>r</sub>	15,77
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,73	W <sub>r</sub>	1,73
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,21	T <sub>r</sub>	1,37
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,03	S <sub>r</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,37

Resultados de ensayo				
	Carga (kN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,78	σ <sub>0.2</sub>	460,17
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,63	σ <sub>m</sub>	601,79
Reducción de área (%) : 60,72		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,63		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 11,28		Elongación (%) - ε <sub>a</sub> : 26,19		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021
Norma técnica: ASTM E8M	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002
Identificación de probeta: T17	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo: Rangos seleccionados en máquina de ensayos
Material: A508-3	Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: 7,62 mm
Tipo de probeta: prismática cuadrada	Temperatura de ensayo: 19,7°C
Orientación: Paralelo al eje del aro	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,132
	Fecha de ensayo: 19/10/2021
	Operador: Villanueva    Aprobó: Ciriani    Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **La probeta rompió fuera del 50% central**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: MTS Modelo: 632.16 B-21 S.N.:107	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>9,81</b>	G <sub>f</sub>	<b>12,95</b>
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	<b>11,30</b>	A <sub>f</sub>	<b>14,81</b>
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>2,43</b>	W <sub>f</sub>	<b>1,48</b>
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>2,42</b>	T <sub>f</sub>	<b>1,49</b>
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>5,88</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>2,21</b>

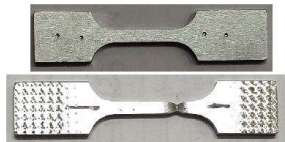
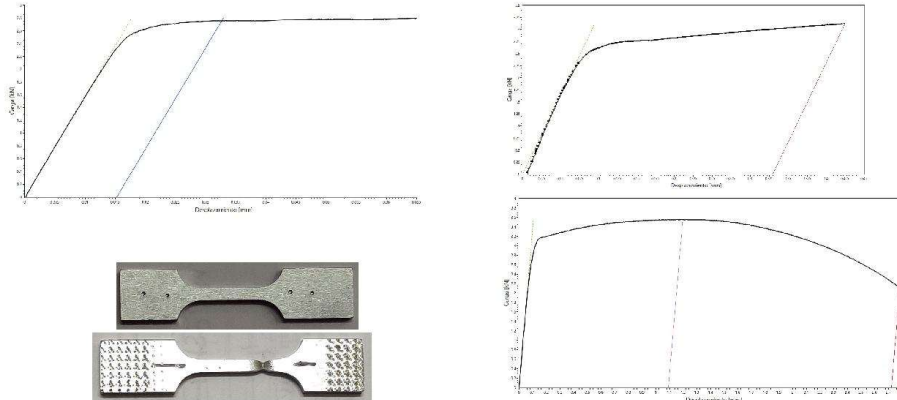
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	<b>2,73</b>	σ <sub>0.2</sub>	<b>463,99</b>
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>3,56</b>	σ <sub>m</sub>	<b>606,20</b>
Reducción de área (%) : <b>62,50</b>		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>32,01</b>		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>13,41</b>		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>31,03</b>		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: 7,62 mm
Identificación de probeta: T18		Temperatura de ensayo: 20,1°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,132		
Tipo de probeta: prismática cuadrada		Fecha de ensayo: 19/10/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **La probeta rompió fuera del 50% central. El ensayo fue suspendido luego de poder calcular el sigma 0,2% y retomado posteriormente**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: MTS Modelo: 632.16 B-21 S.N.:107	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	9,73	G <sub>f</sub>	12,43	
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	11,30	A <sub>f</sub>	14,35	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,43	W <sub>f</sub>	1,53	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,41	T <sub>f</sub>	1,52	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,86	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,33	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,77	σ <sub>0.2</sub>	473,61	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,56	σ <sub>m</sub>	607,09	
Reducción de área (%) : <b>60,29</b>			Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>27,75</b>		
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>12,58</b>			Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : <b>27,00*</b>		

\*Valores de deformación sumados entre los 2 ensayos

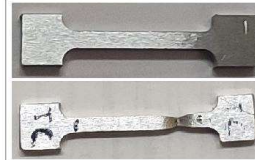
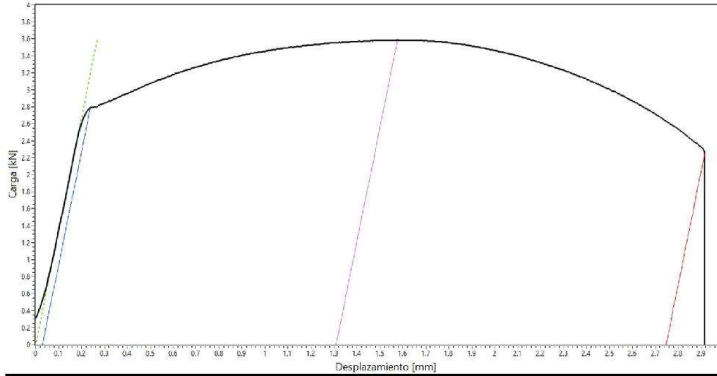
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo	
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021	
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002	
Identificación de probeta: T19		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:	
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos	
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN LVDVT: 100 mm Extens: N/A	
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 23,0°C	
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176	
		Fecha de ensayo: 21/10/2021	
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani
		Intervino Calidad: Villanueva	

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central.**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT EFF-061	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,75	G <sub>f</sub>	16,68
Longitud reducida - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>f</sub>	17,75
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,22
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	2,00
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,95	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,44

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	2,79	σ <sub>0,2</sub>	468,67
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,59	σ <sub>m</sub>	602,76
Reducción de área (%) : <b>58,99</b>		Elongación a rotura (%) - ε <sub>t</sub> : <b>21,31</b>		
Datos LVDT				
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>8,72</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>18,31</b>		

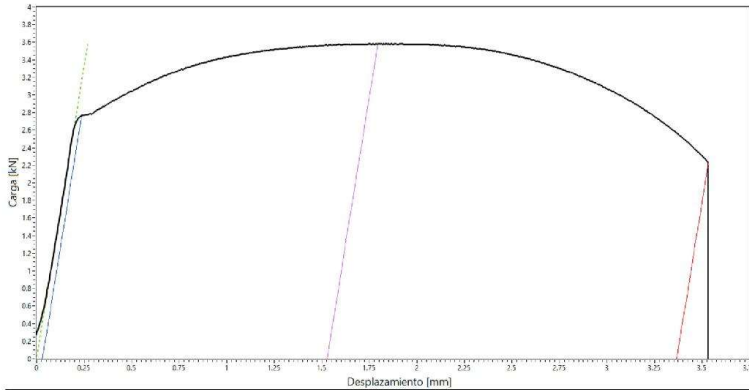
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: T20		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 23,1°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176		
		Fecha de ensayo: 21/10/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central.**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: N/A
Extensómetro: INS-MAT EFF-061	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: N/A	

Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,66	G <sub>f</sub>	16,89	
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>f</sub>	18,37	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,30	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,90	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,97	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,47	

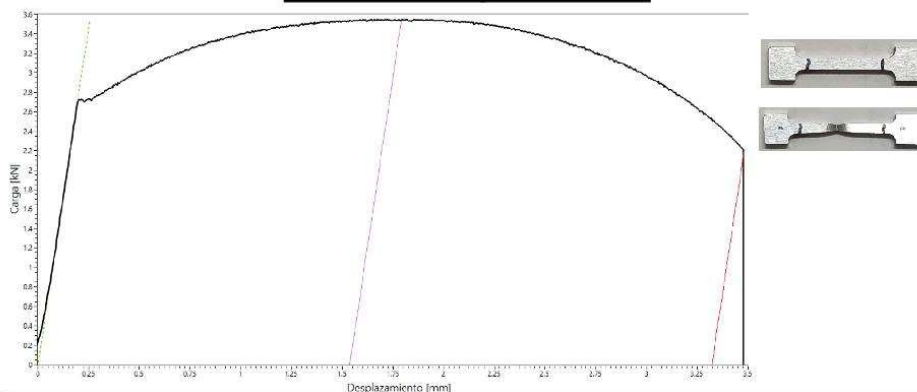
Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	2,77	σ <sub>0,2</sub>	463,29	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,58	σ <sub>m</sub>	599,98	
Reducción de área (%) : <b>58,63</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>23,65</b>			
Datos LVDT					
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>10,18</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>22,45</b>			

# 17APÉNDICE IV

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

## Informe de ensayo de tracción



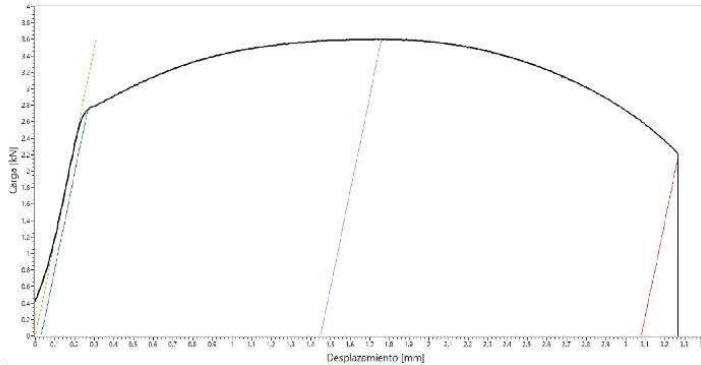
Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Identificación de probeta: TF01		Temperatura de ensayo: 20,9°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 01/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	
		Intervino Calidad: Villanueva		
Observaciones:				
<b>Identificación de instrumentos de medición</b>				
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053		
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018		
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022		
<b>Dimensiones de la probeta (mm)</b>				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,69	G <sub>f</sub>	16,81
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,961	W <sub>f</sub>	1,28
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,988	T <sub>f</sub>	1,88
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,86	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,41

Resultados de ensayo						
		Carga (KN)		Tensión (MPa)		
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--		σ <sub>0.2</sub>	--	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,70		σ <sub>LYS</sub>	460,78	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,73		σ <sub>UYS</sub>	465,26	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,55		σ <sub>m</sub>	606,16	
Reducción de área (%) : 58,93			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,79			
Datos LVDT						
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,54	A <sub>fRot</sub>	18,32
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 10,24			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,15			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



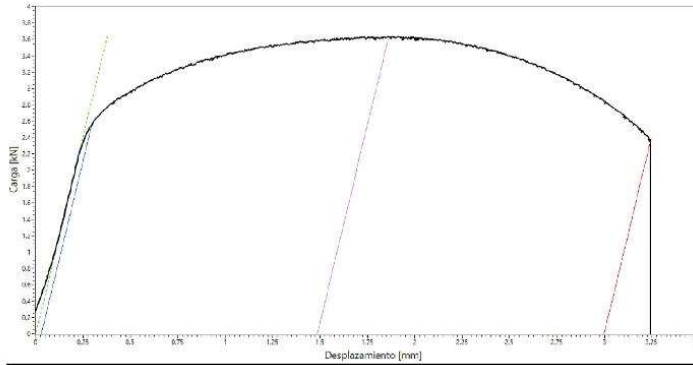
Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo			
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021			
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002			
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:			
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos			
		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A			
Identificación de probeta: TF02		Temperatura de ensayo: 23,1°C			
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176			
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 21/10/2021			
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador:	Aprobó:		
		Villanueva	Ciriani		
		Intervino Calidad:			
		Villanueva			
Observaciones:					
<b>Identificación de instrumentos de medición</b>					
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: N/A			
Extensómetro: INS-MAT EFF-061		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018			
Termocupla/Termoresistencia: N/A					
<b>Dimensiones de la probeta (mm)</b>					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,58	G <sub>f</sub>	16,54	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,00	W <sub>f</sub>	1,28	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,94	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,00	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,48	

<b>Resultados de ensayo</b>					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,74	σ <sub>0.2</sub>	457,35	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,60	σ <sub>m</sub>	600,20	
Reducción de área (%) : 58,61			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 21,80		
<b>Datos LVDT</b>					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>IMax</sub>	16,45	A <sub>fRot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 9,66			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,53		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF03		Temperatura de ensayo: 280°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 28/10/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: N/A
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,58	G <sub>f</sub>	16,38	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,011	W <sub>f</sub>	1,36	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,006	T <sub>f</sub>	1,96	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,05	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,67	

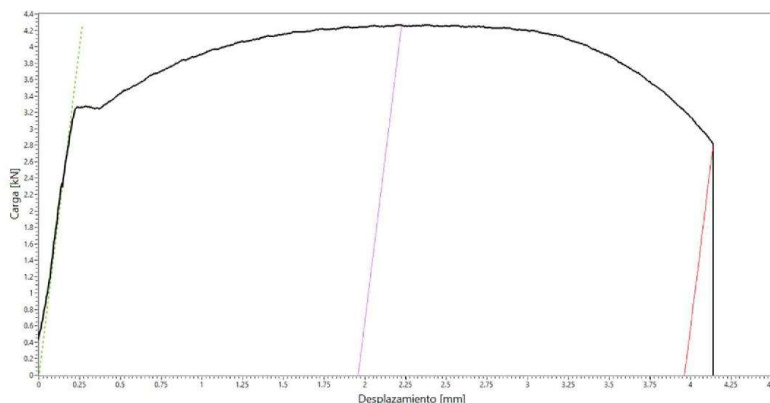
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	2,55	σ <sub>0,2</sub>	422,26
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,64	σ <sub>m</sub>	601,60
Reducción de área (%) : 55,90		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,62		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,48
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 9,90		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 19,99		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TFE04		Carga: 100 kN LVD: 100 mm Extens: N/A		
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: -95°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 27/01/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>13,66</b>	G <sub>f</sub>	<b>17,41</b>	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>1,99</b>	W <sub>f</sub>	<b>1,26</b>	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>3,00</b>	T <sub>f</sub>	<b>1,94</b>	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>5,97</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>2,44</b>	

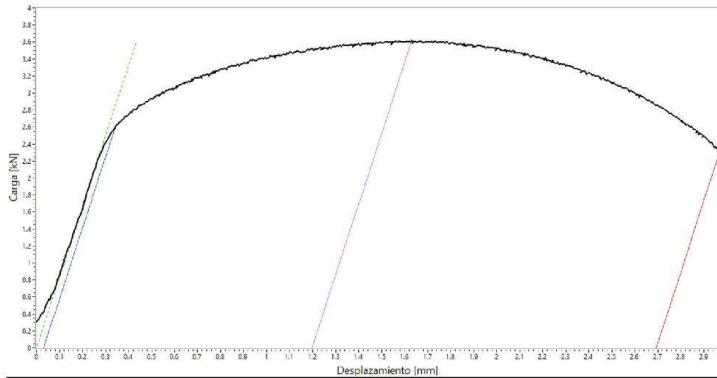
**Resultados de ensayo**

		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	<b>3,25</b>	σ <sub>LYS</sub>	<b>543,93</b>	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	<b>3,27</b>	σ <sub>UYS</sub>	<b>548,46</b>	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>4,27</b>	σ <sub>m</sub>	<b>714,53</b>	
Reducción de área (%) : <b>59,06</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>27,45</b>			
Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	<b>15,00</b>	A <sub>fMax</sub>	<b>16,96</b>	A <sub>fRot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>13,05</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>26,41</b>			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF05		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 280°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 28/10/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: N/A
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,63	G <sub>f</sub>	16,34
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,003	W <sub>f</sub>	1,26
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,004	T <sub>f</sub>	2,04
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,02	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,57

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,59	σ <sub>0.2</sub>	431,09
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,61	σ <sub>m</sub>	600,73
Reducción de área (%) : <b>57,28</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>19,88</b>		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>MAX</sub>	16,20
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>0</sub> : <b>7,98</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>17,95</b>		

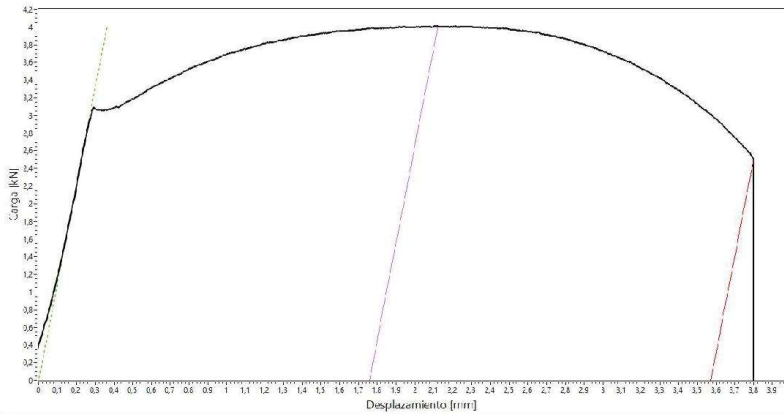
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo			
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021			
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002			
Identificación de probeta: TFE06		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:			
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos			
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A			
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -60°C			
Observaciones: <b>la probeta rompió en el borde del 50% central</b>		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105			
Identificación de instrumentos de medición		Fecha de ensayo: 28/01/2022			
Calibre: INS-MAT EFF-065		Operador: Villanueva			
Extensómetro: N/A		Aprobó: Ciriani			
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Intervino Calidad: Villanueva			
Micrómetro: INS-MAT EFF-022					
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>13,65</b>	G <sub>f</sub>	<b>17,04</b>	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>2,00</b>	W <sub>f</sub>	<b>1,24</b>	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>2,99</b>	T <sub>f</sub>	<b>1,98</b>	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>5,98</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>2,46</b>	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	<b>3,06</b>	σ <sub>LYS</sub>	<b>510,88</b>	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	<b>3,09</b>	σ <sub>UYS</sub>	<b>516,88</b>	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>4,01</b>	σ <sub>m</sub>	<b>670,89</b>	
Reducción de área (%) : <b>58,94</b>			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>24,84</b>		
Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	<b>15,00</b>	A <sub>RMax</sub>	<b>16,76</b>	A <sub>RRot</sub> : <b>18,57</b>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>11,72</b>			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>23,81</b>		

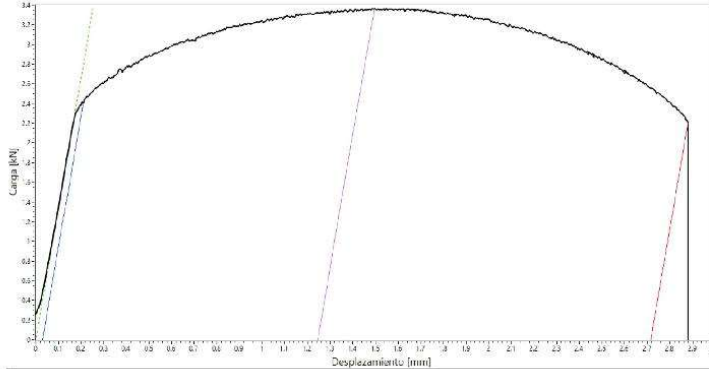
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF07		Temperatura de ensayo: 215°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 01/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: N/A
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,96	G <sub>f</sub>	16,72	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,961	W <sub>f</sub>	1,25	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,990	T <sub>f</sub>	2,00	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,86	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,50	

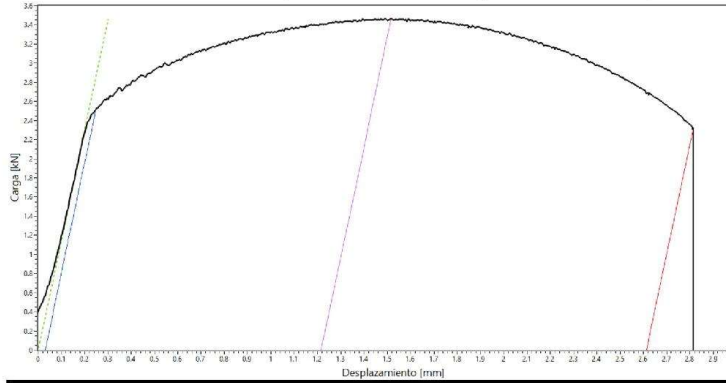
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,41	σ <sub>0.2</sub>	410,26
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,37	σ <sub>m</sub>	573,96
Reducción de área (%) : 57,36		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 19,77		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,24
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 8,30		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 18,10		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF08		Temperatura de ensayo: 215°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 01/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: N/A
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>13,88</b>	G <sub>f</sub>	<b>16,38</b>
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>2,003</b>	W <sub>f</sub>	<b>1,34</b>
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>3,008</b>	T <sub>f</sub>	<b>2,00</b>
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>6,03</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>2,68</b>

Resultados de ensayo				
Carga (kN)			Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	<b>2,52</b>	σ <sub>0.2</sub>	<b>418,79</b>
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>3,46</b>	σ <sub>m</sub>	<b>574,82</b>
Reducción de área (%) : <b>55,52</b>			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>18,01</b>	
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	<b>15,00</b>	A <sub>EMax</sub>	<b>16,22</b>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>8,10</b>			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>17,43</b>	

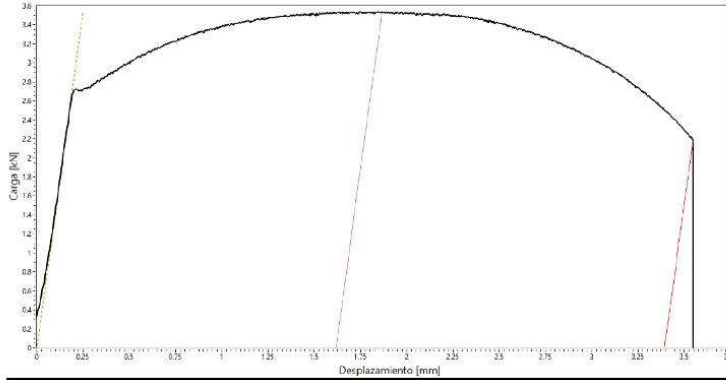
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF09		Temperatura de ensayo: 20,9°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 01/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,58	G <sub>f</sub>	16,93
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,954	W <sub>f</sub>	1,19
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,994	T <sub>f</sub>	1,90
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,85	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,26

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,70	σ <sub>LYS</sub>	461,88
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,73	σ <sub>UYS</sub>	466,18
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,54	σ <sub>m</sub>	604,60

Reducción de área (%) : 61,35      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 24,67

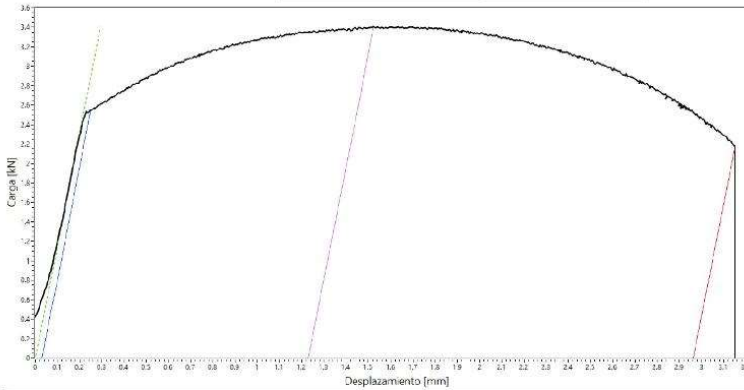
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMx</sub>	16,62	A <sub>fRot</sub>	18,39
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 10,78		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,62				

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF10		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 150°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 01/11/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

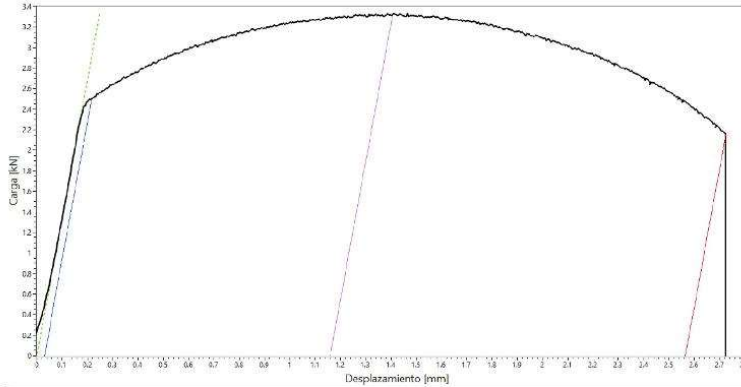
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,57	G <sub>f</sub>	16,56	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,001	W <sub>f</sub>	1,27	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,010	T <sub>f</sub>	1,91	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,02	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,43	

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,55	σ <sub>0.2</sub>	422,90
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,41	σ <sub>m</sub>	565,68
Reducción de área (%) : 59,73		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,03		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,23
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 8,20		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 19,75		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF11		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 150°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 01/11/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

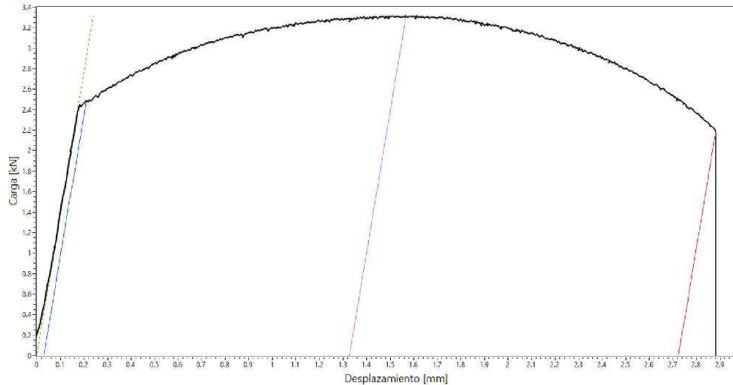
Observaciones:					
Identificación de instrumentos de medición					
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053			
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018			
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022			
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,53	G <sub>f</sub>	16,23	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,970	W <sub>f</sub>	1,27	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,980	T <sub>f</sub>	1,96	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,87	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,49	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,50	σ <sub>0.2</sub>	426,47	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,33	σ <sub>m</sub>	567,26	
Reducción de área (%) : 57,60			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 19,96		
Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,16	A <sub>Rot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 7,73			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 17,10		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



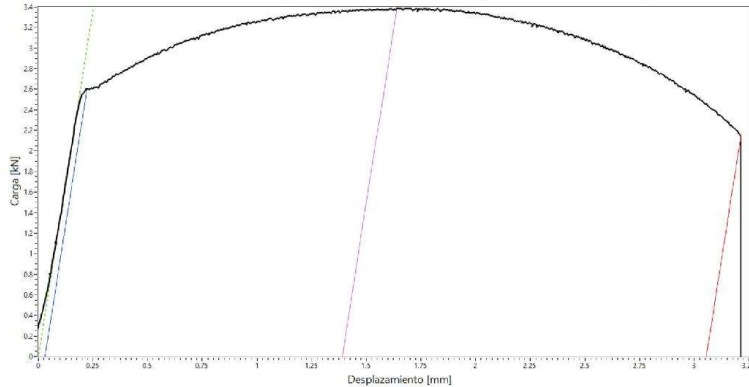
Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo			
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021			
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002			
Identificación de probeta: TF12		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:			
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos			
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A			
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 150°C			
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105			
		Fecha de ensayo: 01/11/2021			
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani		
		Intervino Calidad: Villanueva			
Observaciones: <b>la probeta rompió fuera del 50% central</b>					
Identificación de instrumentos de medición					
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053			
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018			
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022			
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,67	G <sub>f</sub>	16,52	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,968	W <sub>f</sub>	1,25	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,984	T <sub>f</sub>	2,03	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,87	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,54	

Resultados de ensayo					
	Carga (KN)			Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,48	σ <sub>0.2</sub>	423,11	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,32	σ <sub>m</sub>	565,01	
Reducción de área (%) : 56,79			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,85		
Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Máx</sub>	16,33	A <sub>Rot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 8,85			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 18,16		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo	
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021	
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002	
Identificación de probeta: TF13		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:	
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos	
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A	
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 85°C	
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105	
		Fecha de ensayo: 02/11/2021	
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani
		Intervino Calidad: Villanueva	

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,86	G <sub>f</sub>	16,75	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,977	W <sub>f</sub>	1,26	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,993	T <sub>f</sub>	1,94	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,92	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,44	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,60	σ <sub>0.2</sub>	439,88	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,39	σ <sub>m</sub>	572,40	

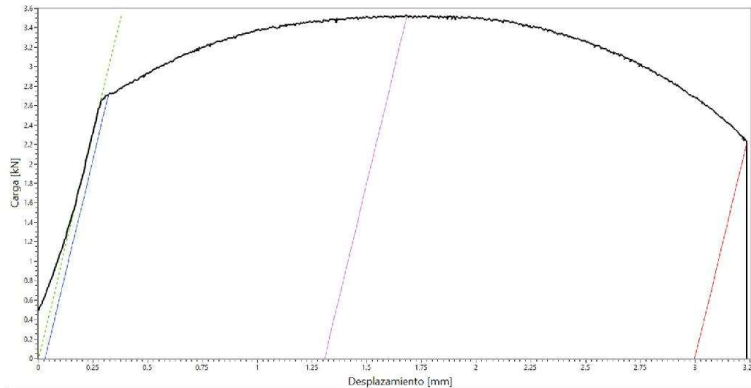
Reducción de área (%) : **58,69**      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : **20,85**

Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,39	A <sub>Rot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub>	: <b>9,26</b>		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>20,37</b>		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF14		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 85°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 02/11/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del 50% central**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>13,86</b>	G <sub>f</sub>	<b>16,59</b>	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>2,018</b>	W <sub>f</sub>	<b>1,28</b>	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>3,004</b>	T <sub>f</sub>	<b>1,96</b>	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>6,06</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>2,51</b>	

**Resultados de ensayo**

	Carga (kN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	<b>2,72</b>	σ <sub>0,2</sub>	<b>448,13</b>
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>3,53</b>	σ <sub>m</sub>	<b>581,70</b>

Reducción de área (%) : **58,61**      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : **19,7**

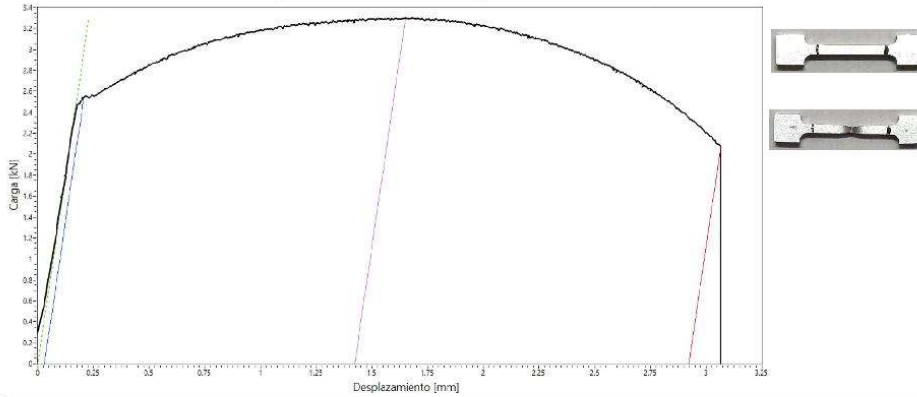
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	<b>15,00</b>	A <sub>fMax</sub>	<b>16,31</b>	A <sub>fRot</sub>	<b>18,00</b>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : <b>8,71</b>			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>19,99</b>			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF15		Temperatura de ensayo: 85°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 02/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

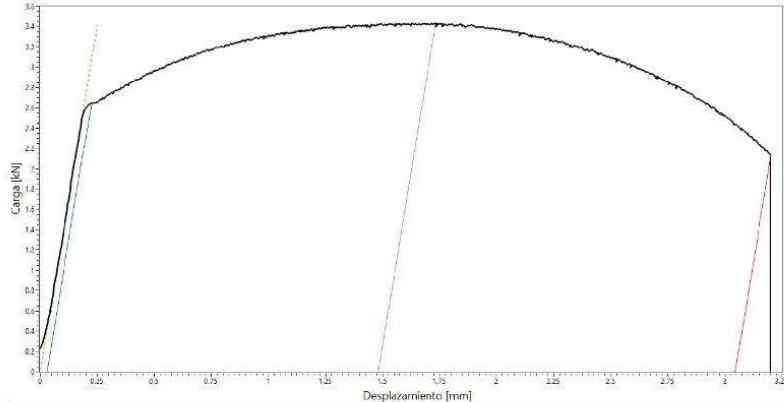
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,85	G <sub>f</sub>	16,74
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,930	W <sub>f</sub>	1,28
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,984	T <sub>f</sub>	1,97
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,76	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,52

Resultados de ensayo				
	Carga (kN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,54	σ <sub>0.2</sub>	440,81
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,30	σ <sub>m</sub>	573,08
Reducción de área (%) : 56,22		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,87		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMx</sub>	16,42
			A <sub>fRot</sub>	18,92
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 9,48		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 19,48		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Identificación de probeta: TF16		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Material: A508-3		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Tipo de probeta: Atucha		Temperatura de ensayo: 85°C		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 04/11/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

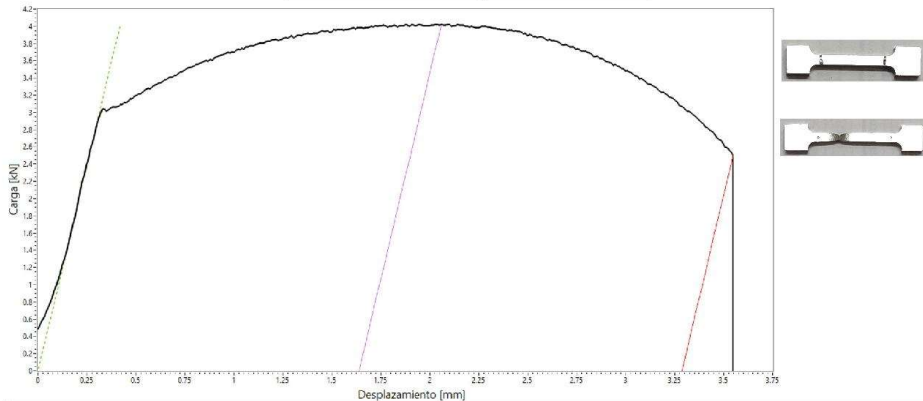
Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,78	G <sub>f</sub>	16,59
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,979	W <sub>f</sub>	1,25
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,004	T <sub>f</sub>	1,92
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,94	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,40

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,65	σ <sub>0.2</sub>	445,27
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,44	σ <sub>m</sub>	577,82
Reducción de área (%) : 59,63		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,39		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,48
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 9,88		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 20,30		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayos: Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TF17		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: -40°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 05/11/2021		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió en el borde del 50% central**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	<b>13,64</b>	G <sub>f</sub>	<b>16,65</b>
Ancho - W	W <sub>0</sub>	<b>2,015</b>	W <sub>f</sub>	<b>1,29</b>
Espesor - T	T <sub>0</sub>	<b>3,010</b>	T <sub>f</sub>	<b>2,01</b>
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>6,07</b>	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	<b>2,59</b>

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	--	σ <sub>0,2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>L,YS</sub>	<b>3,01</b>	σ <sub>L,YS</sub>	<b>496,64</b>
Tensión de fluencia máxima	P <sub>U,YS</sub>	<b>3,04</b>	σ <sub>U,YS</sub>	<b>501,89</b>
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	<b>4,02</b>	σ <sub>m</sub>	<b>663,07</b>

Reducción de área (%) : **57,25**      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : **22,07**

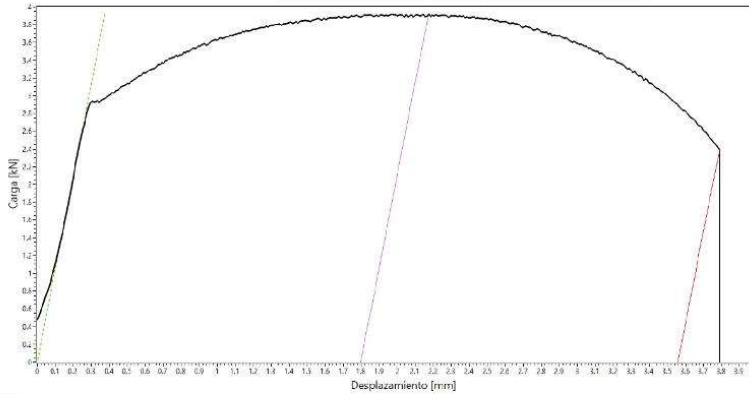
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	<b>15,00</b>	A <sub>DMAX</sub>	<b>16,64</b>	A <sub>fRot</sub>	<b>18,29</b>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>q</sub> : <b>10,93</b>			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : <b>21,91</b>			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF18		Temperatura de ensayo: -40°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 05/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,84	G <sub>f</sub>	17,40
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,993	W <sub>f</sub>	1,22
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,007	T <sub>f</sub>	1,95
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,99	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,38

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,93	σ <sub>LYS</sub>	488,16
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,94	σ <sub>UYS</sub>	491,11
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,92	σ <sub>m</sub>	653,46

Reducción de área (%) : 60,30      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 25,72

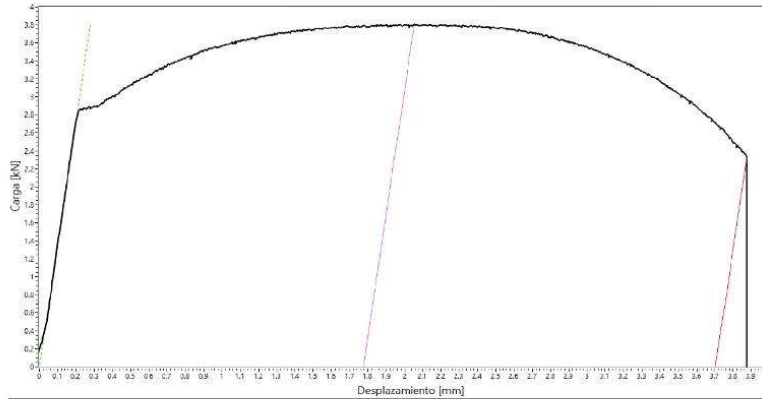
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,80	A <sub>fRot</sub>	18,56
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 11,98			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,73			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF19		Temperatura de ensayo: -40°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 15/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,78	G <sub>f</sub>	17,25
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,951	W <sub>f</sub>	1,21
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,985	T <sub>f</sub>	1,93
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,82	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,82

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,86	σ <sub>LYS</sub>	491,53
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,88	σ <sub>UYS</sub>	494,46
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,80	σ <sub>m</sub>	653,36


Reducción de área (%) : 59,90      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 25,18

**Datos LVDT**

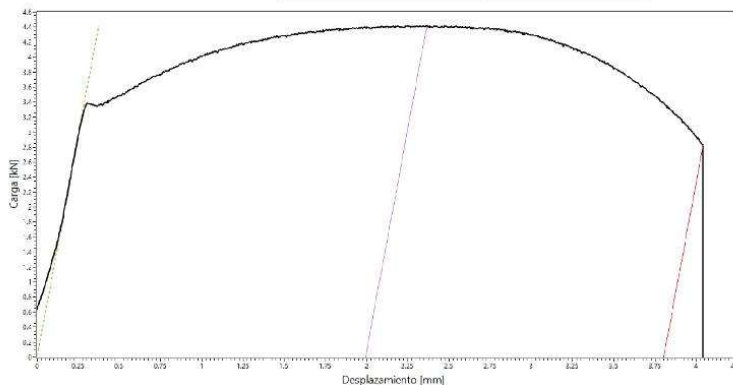
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>IMax</sub>	16,77	A <sub>fRot</sub>	18,70
------------------------	----------------	-------	-------------------	-------	-------------------	-------

Elongación fuerza máxima (%) - ε<sub>m</sub> : 11,83      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 24,69

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF20		Temperatura de ensayo: -105°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 15/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

**Observaciones:**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,94	G <sub>f</sub>	17,77	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,986	W <sub>f</sub>	1,27	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,011	T <sub>f</sub>	2,02	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,98	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,57	

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,34	σ <sub>LYS</sub>	558,42
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,39	σ <sub>UYS</sub>	566,82
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,42	σ <sub>m</sub>	738,72

Reducción de área (%) : 57,10      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 27,47

**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,99	A <sub>fRot</sub>	18,80
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 13,28			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 25,35			

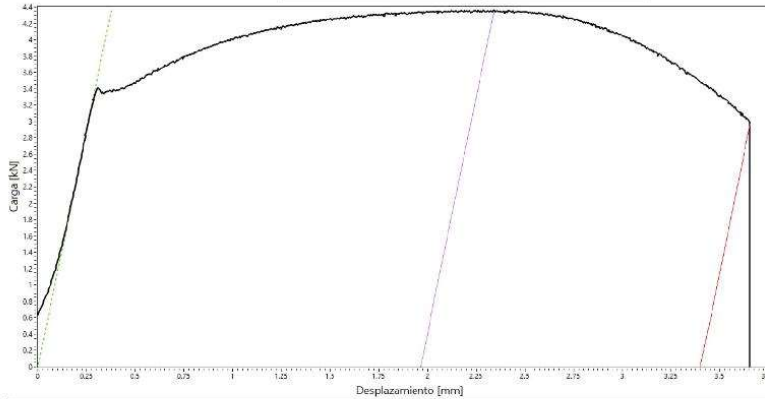
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**

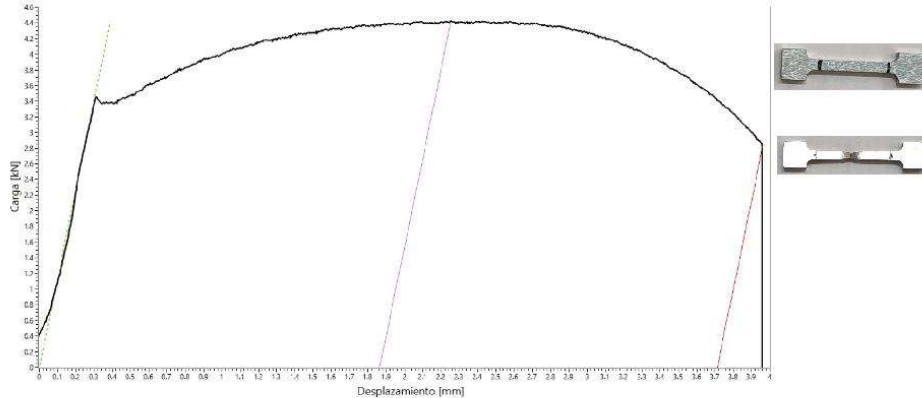


Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF21		Temperatura de ensayo: -105°C *		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 15/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva
Observaciones: *La temperatura se conservó hasta superar la fluencia. Luego la misma subió hasta aproximadamente -93°C a -95°C, temperatura en la cual atravesó la tensión máxima. Luego la temperatura volvió a bajar y finalmente se retiró el nitrógeno. Debido a esto, los valores de tensión máxima y elongaciones no son a una temperatura de -105°C.				
Identificación de instrumentos de medición				
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053		
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018		
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022		
Dimensiones de la probeta (mm)				
		Antes del ensayo		Después del ensayo
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,88	G <sub>f</sub>	17,08
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,011	W <sub>f</sub>	1,30
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,014	T <sub>f</sub>	2,00
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,06	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,60
Resultados de ensayo				
		Carga (KN)		Tensión (MPa)
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0,2</sub>	--	σ <sub>0,2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,34	σ <sub>LYS</sub>	550,79
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,42	σ <sub>UYS</sub>	563,69
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,36	σ <sub>m</sub>	719,22
Reducción de área (%) : 57,10		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,05		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,96
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 13,09		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,66		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF22		Temperatura de ensayo: -105°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 17/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termo-resistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,80	G <sub>f</sub>	17,40	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,006	W <sub>f</sub>	1,28	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,009	T <sub>f</sub>	1,96	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,04	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,51	

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,36	σ <sub>LYS</sub>	557,04
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,45	σ <sub>UYS</sub>	571,97
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,42	σ <sub>m</sub>	732,80
Reducción de área (%) : 58,44		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,09		

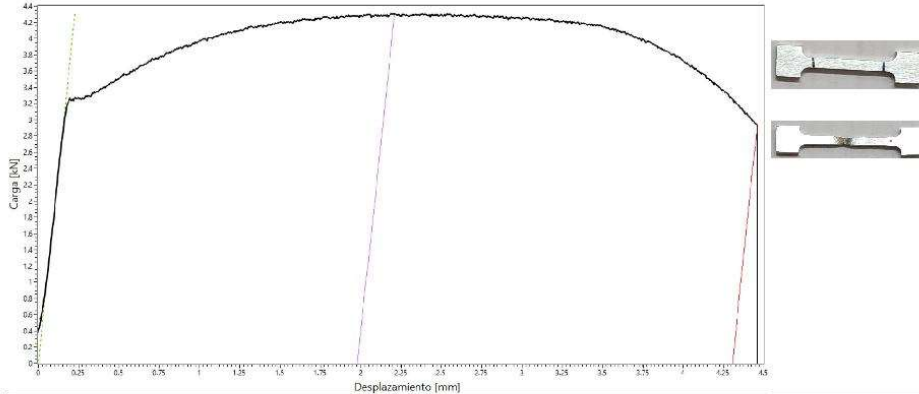
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,86	A <sub>fRot</sub>	18,71
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 12,43			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 24,75			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF23		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -105°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 17/11/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada – G	G <sub>0</sub>	13,68	G <sub>f</sub>	17,79
Ancho – W	W <sub>0</sub>	1,975	W <sub>f</sub>	1,22
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,986	T <sub>f</sub>	1,95
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,90	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,38

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,23	σ <sub>LYS</sub>	547,52
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,26	σ <sub>UYS</sub>	552,96
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,31	σ <sub>m</sub>	730,05

Reducción de área (%) : 59,66      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 30,04

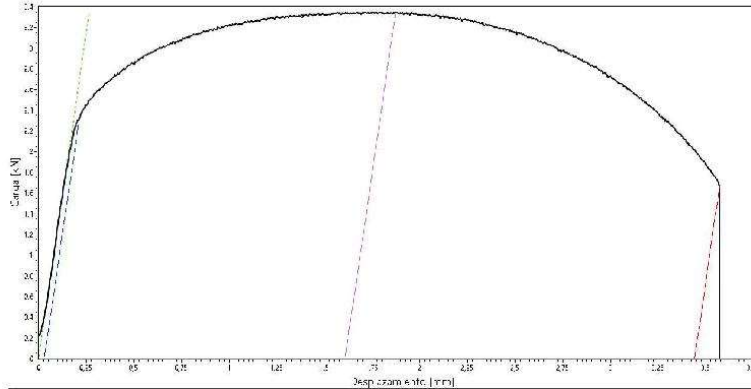
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>TMix</sub>	16,98	A <sub>Rot</sub>	19,31
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 13,20		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 28,70				

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF24		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 350°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 18/11/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

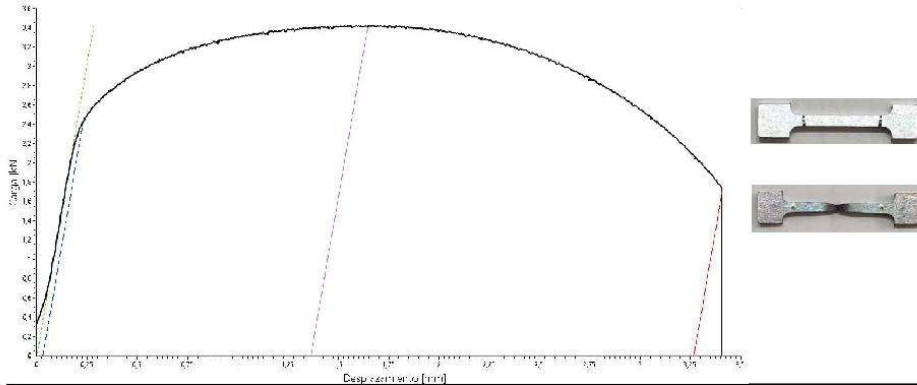
Observaciones:					
Identificación de instrumentos de medición					
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053			
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018			
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022			
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,48	G <sub>f</sub>	16,76	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,944	W <sub>f</sub>	1,07	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,996	T <sub>f</sub>	1,88	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,82	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,01	

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,32	σ <sub>0.2</sub>	398,97
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,35	σ <sub>m</sub>	575,14
Reducción de área (%) : 65,46		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 24,33		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,61
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 10,72		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 22,94		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF25		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 350°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 18/11/2021		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,71	G <sub>f</sub>	17,04
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,000	W <sub>f</sub>	1,13
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,986	T <sub>f</sub>	1,78
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,97	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,01

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,42	σ <sub>0.2</sub>	404,93
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,42	σ <sub>m</sub>	573,21

Reducción de área (%) : 66,32      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 24,29

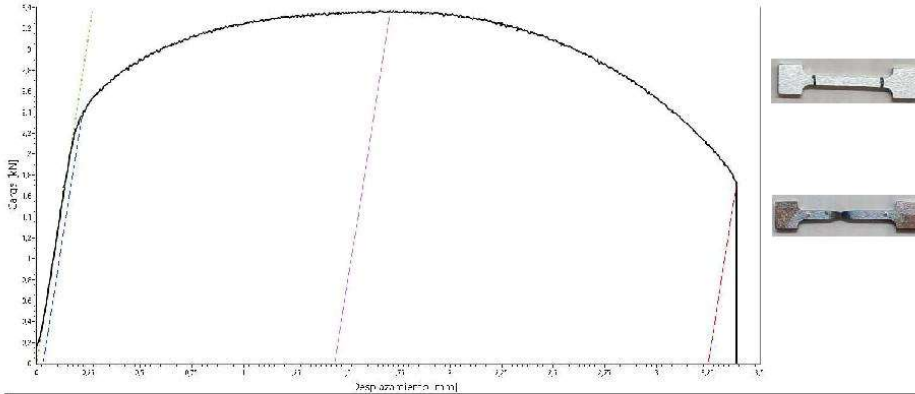
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,36	A <sub>fRot</sub>	18,27
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 9,09			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 21,78			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF26		Temperatura de ensayo: 350°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 18/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

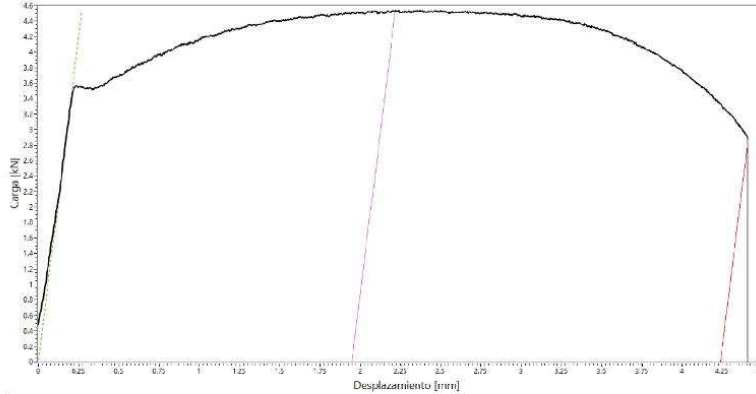
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada – G	G <sub>0</sub>	13,60	G <sub>f</sub>	16,86
Ancho – W	W <sub>0</sub>	1,958	W <sub>f</sub>	1,08
Espesor – T	T <sub>0</sub>	2,990	T <sub>f</sub>	1,79
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,85	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	1,93

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,39	σ <sub>0.2</sub>	408,43
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,37	σ <sub>m</sub>	575,84
Reducción de área (%) : 66,93		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,97		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,44
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>a</sub> : 9,61		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 21,66		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF27		Temperatura de ensayo: -120°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 19/11/2021		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada – G	G <sub>0</sub>	13,88	G <sub>f</sub>	17,99
Ancho – W	W <sub>0</sub>	1,989	W <sub>f</sub>	1,31
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,982	T <sub>f</sub>	1,88
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,93	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,46

**Resultados de ensayo**


	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,51	σ <sub>LYS</sub>	591,65
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,57	σ <sub>UYS</sub>	602,07
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,54	σ <sub>m</sub>	764,96

Reducción de área (%) : 58,48      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 29,61

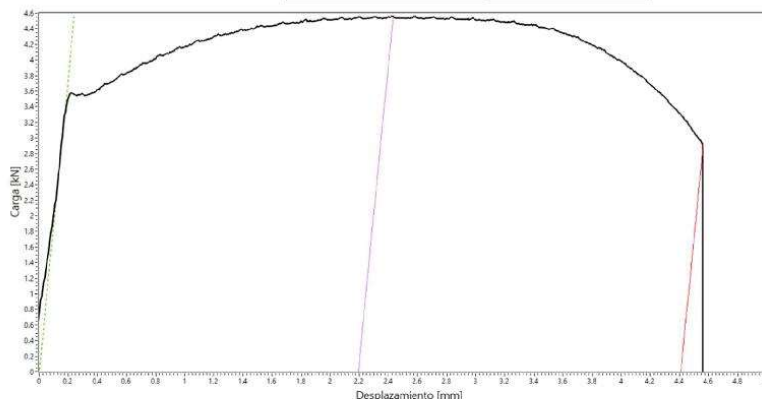
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMx</sub>	16,95	A <sub>fRot</sub>	19,24
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 12,98			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 28,26			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TF28		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: -120°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió en el borde del medio-medio**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,90	G <sub>f</sub>	17,98	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,01	W <sub>f</sub>	1,29	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,98	T <sub>f</sub>	1,91	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,99	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,46	



**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,54	σ <sub>LYS</sub>	590,71
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,58	σ <sub>UYS</sub>	596,97
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,56	σ <sub>m</sub>	761,22
Reducción de área (%) : 58,87		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 29,35		

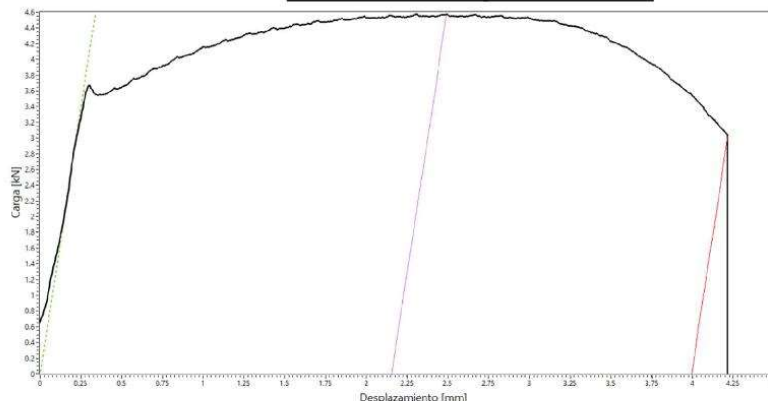
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,19	A <sub>fRot</sub>	19,41
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 14,62			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 29,40			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TF29		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Material: A5 08-3		Temperatura de ensayo: -120°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada – G	G <sub>0</sub>	13,68	G <sub>f</sub>	17,45
Ancho – W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,31
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,01	T <sub>f</sub>	1,98
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,99	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,59

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,55	σ <sub>LYS</sub>	592,00
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,67	σ <sub>UYS</sub>	613,18
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,58	σ <sub>m</sub>	764,20
Reducción de área (%) : 56,70		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,56		

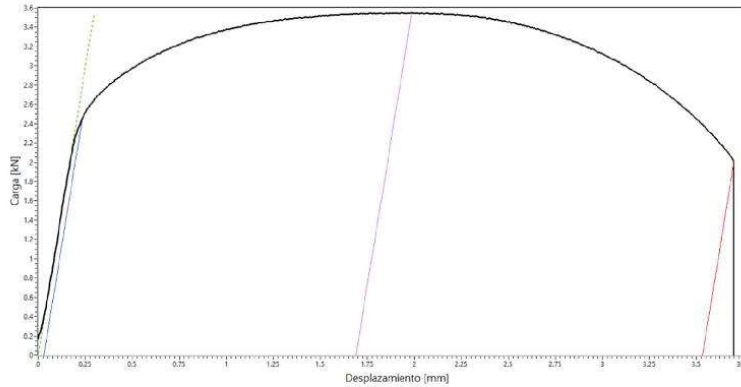
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,16	A <sub>fRot</sub>	18,99
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 14,37			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,62			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TF30		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 315°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 01/02/2022		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

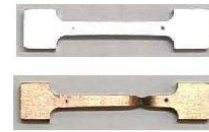
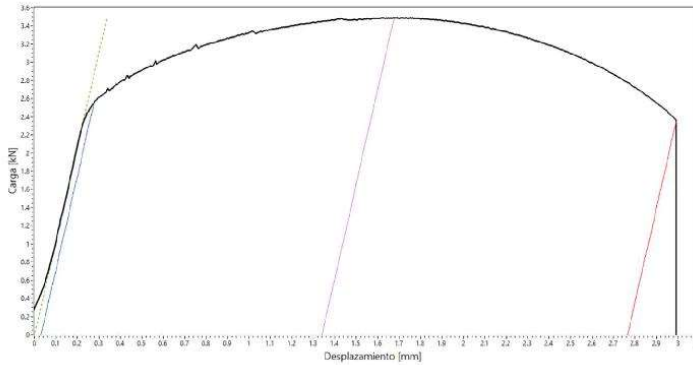
Observaciones:					
Identificación de instrumentos de medición					
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053			
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018			
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022			
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,63	G <sub>f</sub>	17,14	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,15	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,82	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,95	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,09	

Resultados de ensayo					
		Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,46	σ <sub>0.2</sub>	414,00	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,55	σ <sub>m</sub>	596,44	
Reducción de área (%) : 64,82			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 25,75		
Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,69	A <sub>fRot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 11,26			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,54		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TF31		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: 250°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 02/02/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió en el borde del medio-medio**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

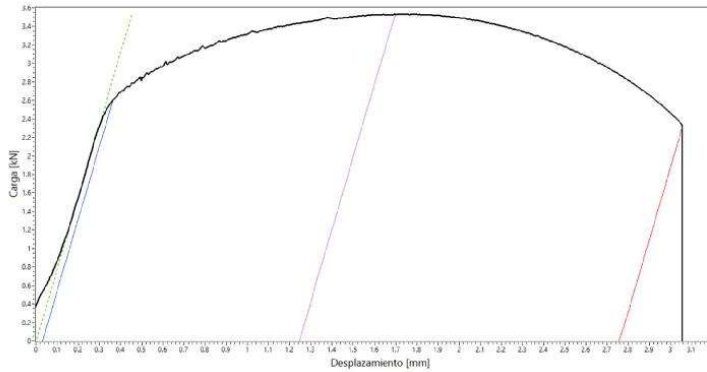
Dimensiones de la probeta (mm)					
Antes del ensayo			Después del ensayo		
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,76	G <sub>f</sub>		16,35
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,00	W <sub>f</sub>		1,32
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,98	T <sub>f</sub>		2,04
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,96	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )		2,69

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,55	σ <sub>0.2</sub>	428,45
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,49	σ <sub>m</sub>	585,67
Reducción de área (%) : 54,82		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 18,82		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,34
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 8,93		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 18,44		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF32		Temperatura de ensayo: 250°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 02/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

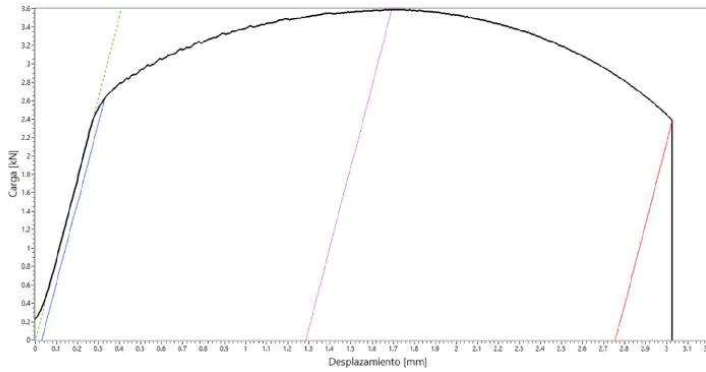
Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada – G	G <sub>0</sub>	13,57	G <sub>f</sub>	16,16
Ancho – W	W <sub>0</sub>	2,00	W <sub>f</sub>	1,28
Espesor – T	T <sub>0</sub>	3,01	T <sub>f</sub>	1,96
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,02	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,51

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,61	σ <sub>0.2</sub>	433,71
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,53	σ <sub>m</sub>	586,88
Reducción de área (%) : 58,33		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 19,09		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,24
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 8,29		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 18,39		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF33		Temperatura de ensayo: 250°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 02/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del medio-medio**

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,46	G <sub>f</sub>	15,97	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,01	W <sub>f</sub>	1,28	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,01	T <sub>f</sub>	1,91	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	6,05	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,44	

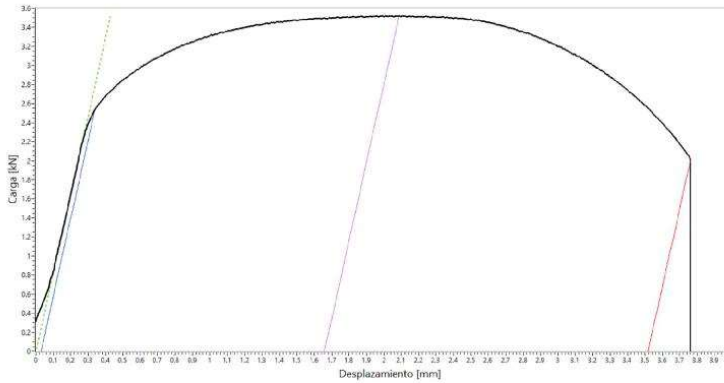
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,62	σ <sub>0.2</sub>	433,68
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,59	σ <sub>m</sub>	593,10
Reducción de área (%) : 59,59		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 18,65		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,28
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 8,56		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 18,37		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
	Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF35	Temperatura de ensayo: 315°C		
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha	Fecha de ensayo: 02/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,51	G <sub>f</sub>	16,95
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,98	W <sub>f</sub>	1,26
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,98	T <sub>f</sub>	1,89
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,90	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,38

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,53	σ <sub>0.2</sub>	428,42
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,52	σ <sub>m</sub>	596,86

Reducción de área (%) : 59,64      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 25,46

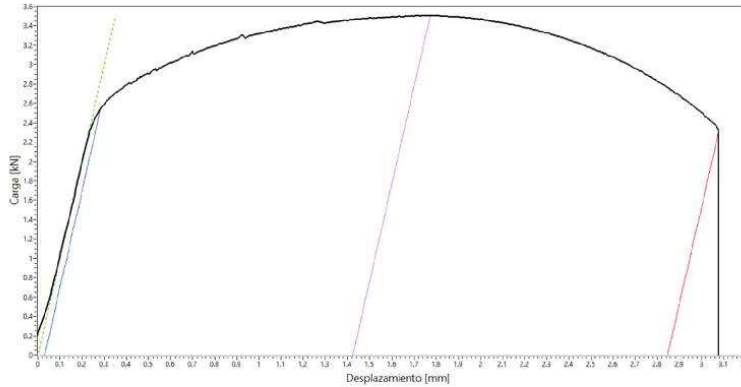
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>f</sub> (mm)	16,66
			A <sub>f</sub> (rot)	18,52
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 11,06		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,45		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
	Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF36	Temperatura de ensayo: 250°C		
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha	Fecha de ensayo: 03/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada – G	G <sub>0</sub>	13,57	G <sub>f</sub>	16,53
Ancho – W	W <sub>0</sub>	1,98	W <sub>f</sub>	1,35
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,99
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,92	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,69

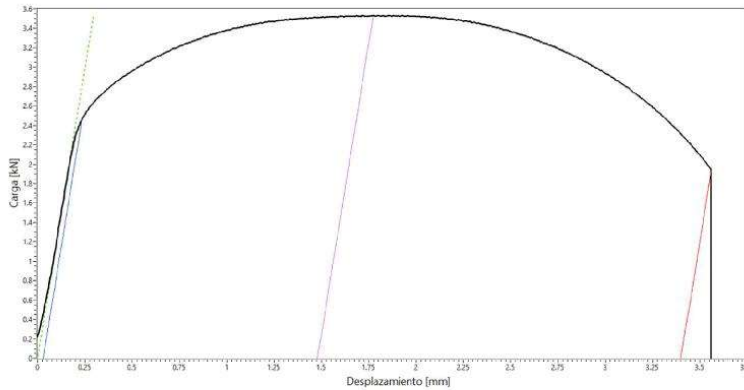
**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,55	σ <sub>0.2</sub>	430,15
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,51	σ <sub>m</sub>	592,97
Reducción de área (%) : 54,62		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 21,81		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>IMax</sub>	16,42
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 9,49		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 18,98		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TF37		Temperatura de ensayo: 315°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 03/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,60	G <sub>f</sub>	16,77	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,98	W <sub>f</sub>	1,23	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,81	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,94	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,23	

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	2,47	σ <sub>0.2</sub>	415,34
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	--	σ <sub>LYS</sub>	--
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	--	σ <sub>UYS</sub>	--
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,53	σ <sub>m</sub>	595,11


Reducción de área (%) : 62,52      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 23,31

**Datos LVDT**

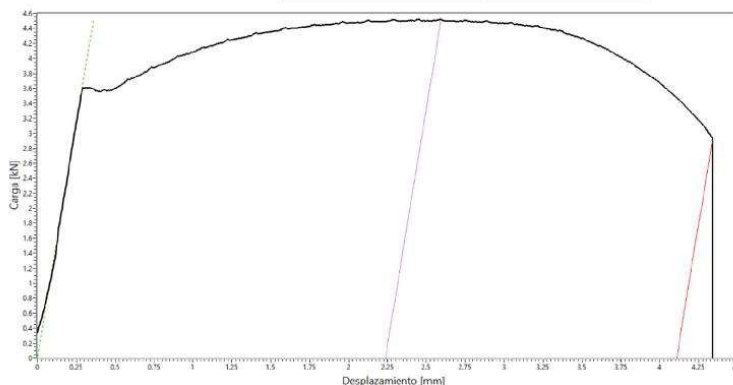
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,48	A <sub>fRot</sub>	18,40
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 9,86			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,66			

# 18APÉNDICE V

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

## Informe de ensayo de tracción



Parámetros de la probeta	Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
	Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
	Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M	Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
	Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE01	Temperatura de ensayo: -120°C		
Material: A508-3	Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha	Fecha de ensayo: 27/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro	Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

### Identificación de instrumentos de medición

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

### Dimensiones de la probeta (mm)

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,45	G <sub>f</sub>	17,20
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,26
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,98
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,89	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,49

### Resultados de ensayo

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,55	σ <sub>LYS</sub>	601,36
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,61	σ <sub>UYS</sub>	612,93
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,52	σ <sub>m</sub>	767,30

Reducción de área (%) : 57,65      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 27,88

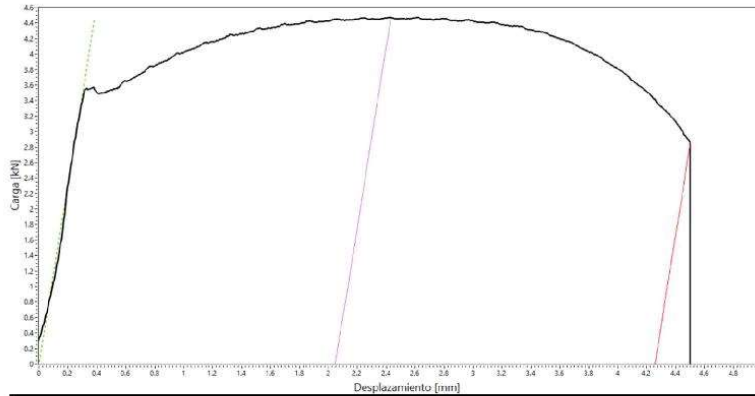
### Datos LVDT

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	17,24	A <sub>Rot</sub>	19,11
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 14,90			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,38			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE02		Temperatura de ensayo: -120°C		
Material: A5 08-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 27/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Círiani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,74	G <sub>f</sub>	17,65
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,31
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,97
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,89	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,58

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,49	σ <sub>LYS</sub>	592,54
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	5,57	σ <sub>UYS</sub>	605,72
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,47	σ <sub>m</sub>	759,50

Reducción de área (%) : 56,19      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 28,46

**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,02	A <sub>fRot</sub>	19,26

Elongación fuerza máxima (%) - ε<sub>m</sub> : 13,65      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 28,38

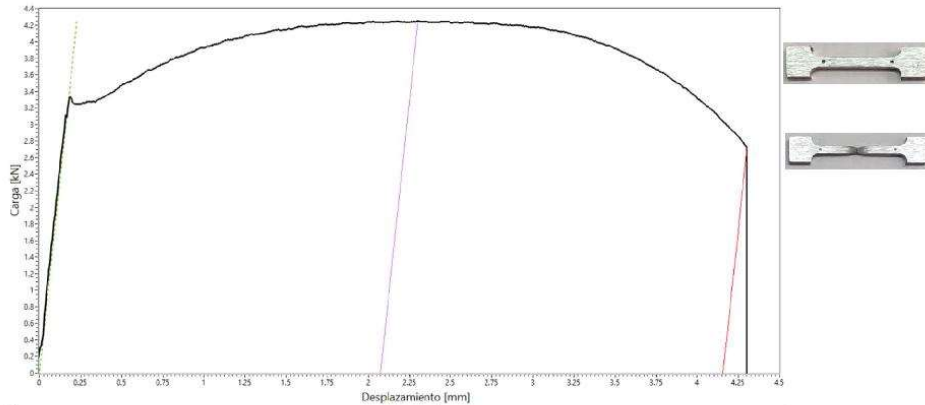
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE03		Temperatura de ensayo: -95°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 27/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,69	G <sub>f</sub>	17,62
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,26
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,88
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,95	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,37

**Resultados de ensayo**



	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,25	σ <sub>LYS</sub>	545,42
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,33	σ <sub>UYS</sub>	559,10
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,25	σ <sub>m</sub>	713,93

Reducción de área (%) : 60,19      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 28,71

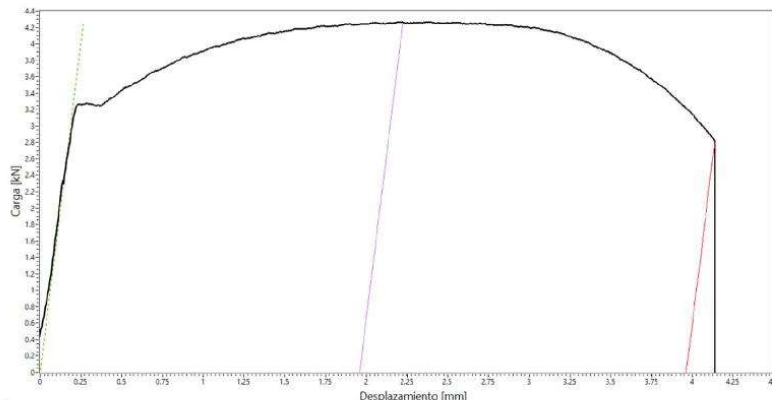
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,07	A <sub>fRot</sub>	19,16
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 13,82			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,71			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE04		Temperatura de ensayo: -95°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 27/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió fuera del medio-medio**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

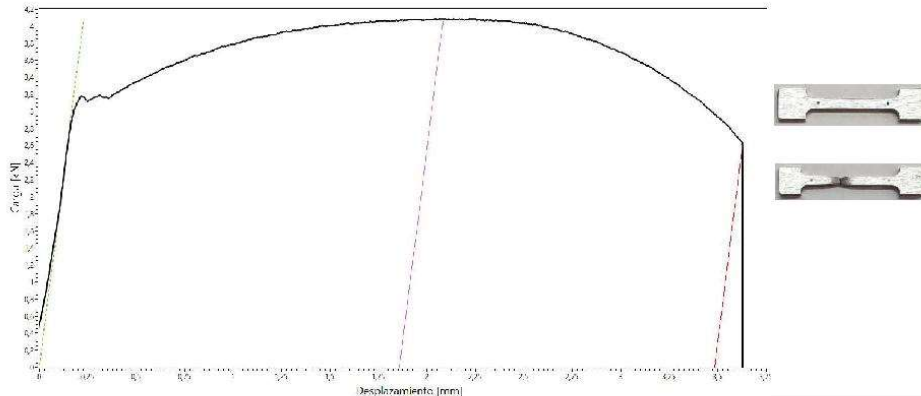
Dimensiones de la probeta (mm)					
		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,66	G <sub>f</sub>	17,41	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,26	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,94	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,97	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,44	

Resultados de ensayo					
		Carga (kN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,25	σ <sub>LYS</sub>	543,93	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,27	σ <sub>UYS</sub>	548,46	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,27	σ <sub>m</sub>	714,53	
Reducción de área (%) : 59,06		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 27,45			
Datos LVDT					
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,96	A <sub>Rot</sub>
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 13,05		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,41			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE05		Temperatura de ensayo: -80°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

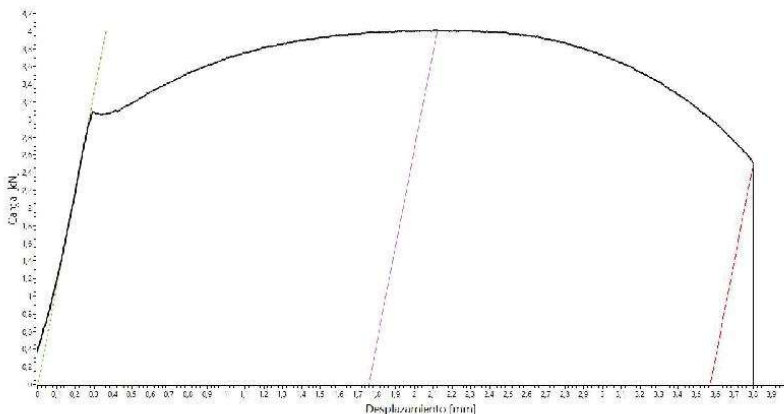
Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,71	G <sub>f</sub>	16,95
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,95	W <sub>f</sub>	1,22
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,94
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,85	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,37

Resultados de ensayo						
		Carga (KN)		Tensión (MPa)		
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--		σ <sub>0.2</sub>	--	
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,16		σ <sub>LYS</sub>	540,10	
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,18		σ <sub>UYS</sub>	544,21	
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,09		σ <sub>m</sub>	698,82	
Reducción de área (%) : 59,54			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,63			
Datos LVDT						
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>Max</sub>	16,86	A <sub>Rot</sub>	18,48
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 12,38			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,22			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TFE06		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -60°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones: **la probeta rompió en el borde del medio-medio**

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,65	G <sub>f</sub>	17,04
Ancho - W	W <sub>0</sub>	2,00	W <sub>f</sub>	1,24
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,98
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,98	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,46

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,06	σ <sub>LYS</sub>	510,88
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,09	σ <sub>UYS</sub>	516,88
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,01	σ <sub>m</sub>	670,89

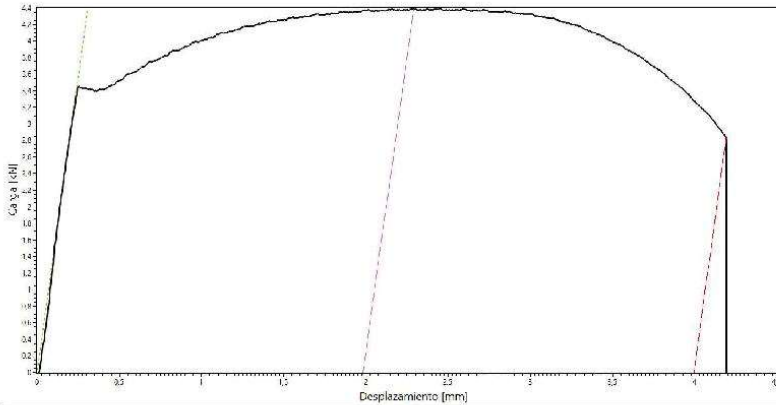
Reducción de área (%) : **58,94**      Elongación (%) - ε : **24,84**

Datos LVDT						
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,76	A <sub>fRot</sub>	18,57
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 11,72			Elongación (%) - ε : 23,81			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TFE07		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -105°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,69	G <sub>f</sub>	17,31
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,98	W <sub>f</sub>	1,27
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,95
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,94	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,48

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,40	σ <sub>LYS</sub>	571,74
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,45	σ <sub>UYS</sub>	581,05
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,39	σ <sub>m</sub>	739,38

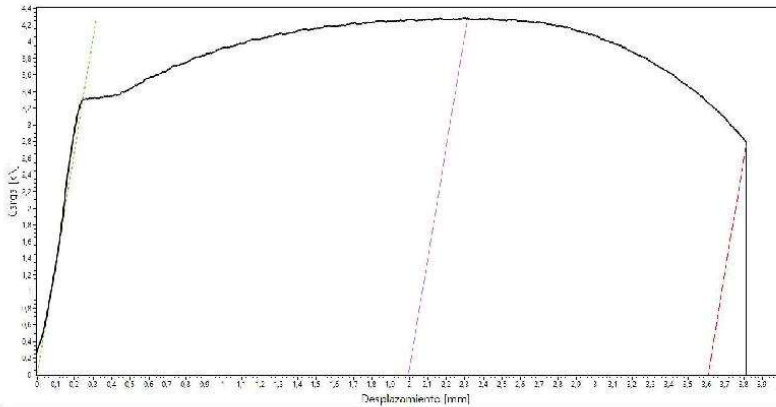
Reducción de área (%) : 58,31      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 26,44

Datos LVDT						
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>FMAX</sub>	16,98	A <sub>Rot</sub>	18,99
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 13,22			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,62			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TFE08		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -105°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,74	G <sub>f</sub>	17,11
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,95	W <sub>f</sub>	1,29
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,92
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,85	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,48

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,32	σ <sub>LYS</sub>	567,49
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,33	σ <sub>UYS</sub>	568,69
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,28	σ <sub>m</sub>	731,73

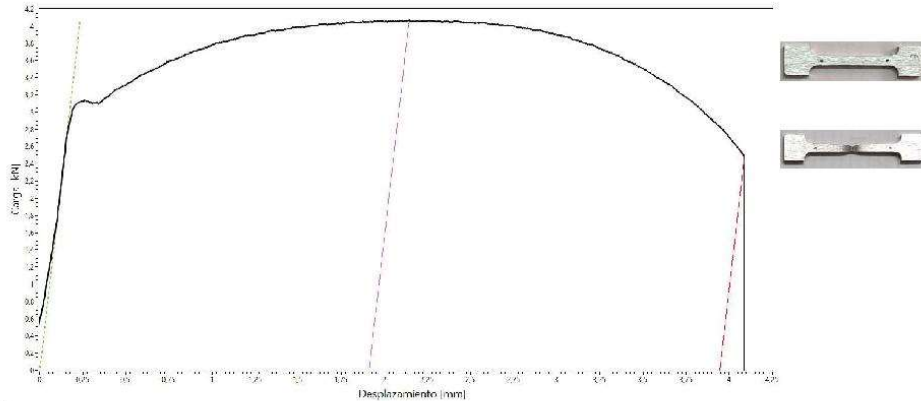
Reducción de área (%) : 57,66      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 24,53

Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>TMAX</sub>	17,00
			A <sub>Rot</sub>	18,61
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 13,31		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 24,05		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE09		Temperatura de ensayo: -80°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,39	G <sub>f</sub>	17,07
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,95	W <sub>f</sub>	1,22
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,91
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,83	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,33

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,10	σ <sub>LYS</sub>	530,94
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,13	σ <sub>UYS</sub>	537,61
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,07	σ <sub>m</sub>	697,55

Reducción de área (%) : 60,03      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 27,48

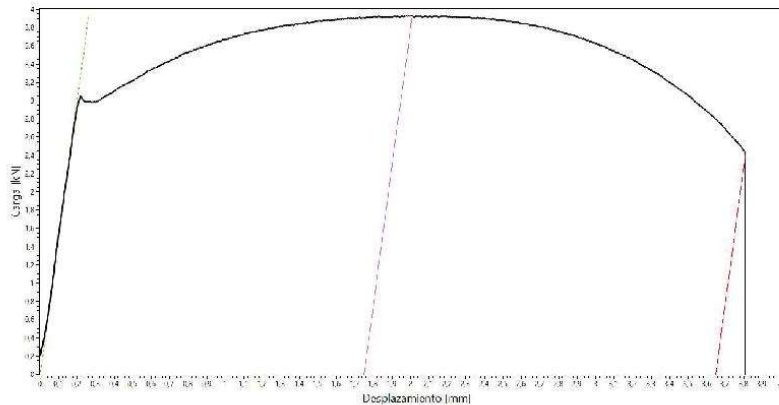
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,91	A <sub>fRot</sub>	18,95
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 12,74			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 26,30			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE10		Temperatura de ensayo: -60°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 28/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

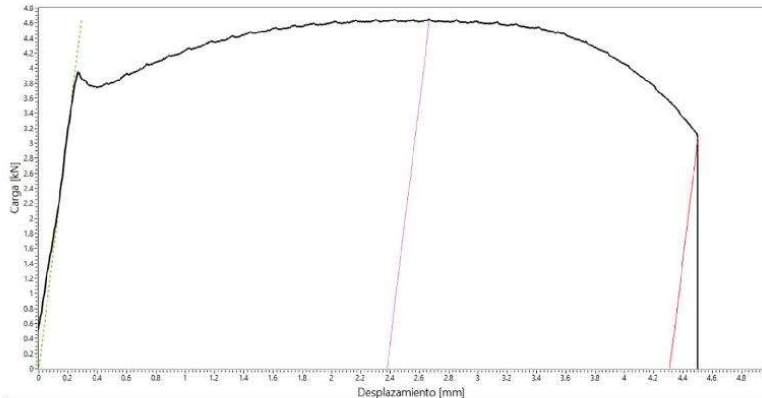
Observaciones:				
Identificación de instrumentos de medición				
Calibre: INS-MAT EFF-065		Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053		
Extensómetro: N/A		Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018		
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079		Micrómetro: INS-MAT EFF-022		
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,51	G <sub>f</sub>	16,96
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,95	W <sub>f</sub>	1,25
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,91
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,83	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,39

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,98	σ <sub>LYS</sub>	510,74
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,04	σ <sub>UYS</sub>	521,66
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,93	σ <sub>m</sub>	674,05
Reducción de área (%) : 59,05		Elongación (%) - ε : 25,54		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,75
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 11,66		Elongación (%) - ε : 24,32		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TFE11		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN LVDT: 100 mm Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -135°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 31/01/2022		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

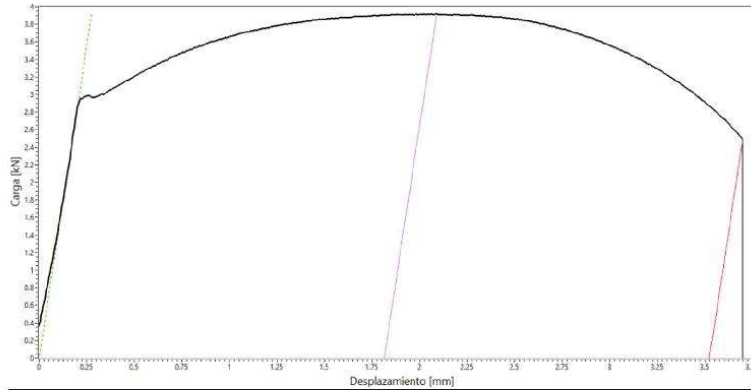
Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,78	G <sub>f</sub>	17,71
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,96	W <sub>f</sub>	1,28
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,98
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,86	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,53

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,75	σ <sub>LYS</sub>	639,06
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,94	σ <sub>UYS</sub>	672,95
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,66	σ <sub>m</sub>	794,42
Reducción de área (%) : 56,75		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 28,52		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,38
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 15,86		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 28,73		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE13		Temperatura de ensayo: -50°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 31/01/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,46	G <sub>f</sub>	16,74
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,24
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,90
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,89	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,36

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,97	σ <sub>LYS</sub>	503,80
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,99	σ <sub>UYS</sub>	507,44
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,92	σ <sub>m</sub>	665,08

Reducción de área (%) : 60,00      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 24,37

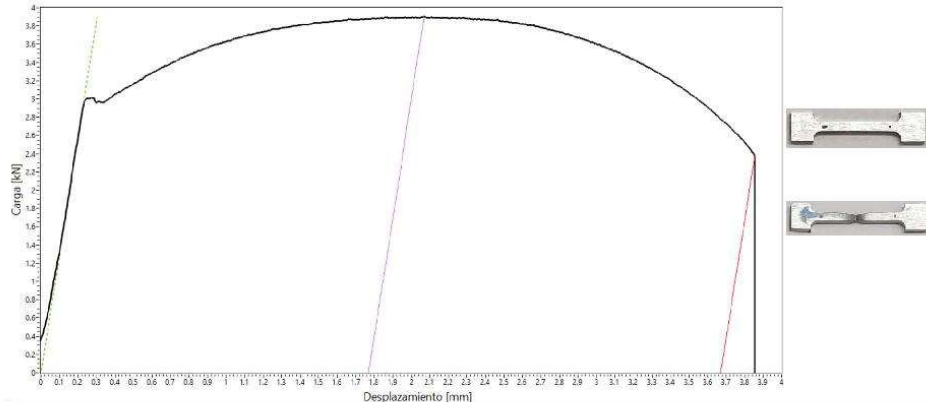
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,81	A <sub>fRot</sub>	18,52
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>a</sub> : 12,09			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 23,49			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b>	
	Departamento de Caracterización y Fractomecánica	
	División Fractura	
	Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TFE14		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: -50°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
		Fecha de ensayo: 31/01/2022		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

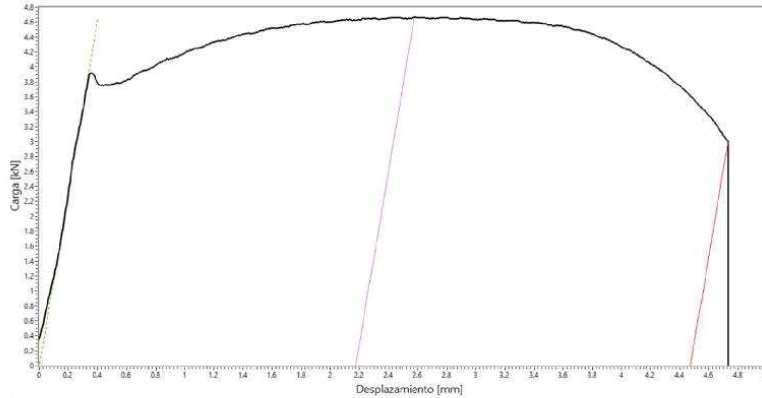
Dimensiones de la probeta (mm)				
Antes del ensayo			Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,71	G <sub>f</sub>	17,22
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,27
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,88
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,89	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,39

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,96	σ <sub>LYS</sub>	501,88
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,01	σ <sub>UYS</sub>	511,34
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,90	σ <sub>m</sub>	662,48
Reducción de área (%) : 59,47		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 25,60		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,77
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 11,79		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 24,47		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TFE15		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Material: A5 08-3		Temperatura de ensayo: -135°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 01/02/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,47	G <sub>f</sub>	17,66	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,99	W <sub>f</sub>	1,24	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,93	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,95	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,39	

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,75	σ <sub>LYS</sub>	630,59
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,92	σ <sub>UYS</sub>	659,03
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,67	σ <sub>m</sub>	784,88
Reducción de área (%) : 59,75		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 31,11		

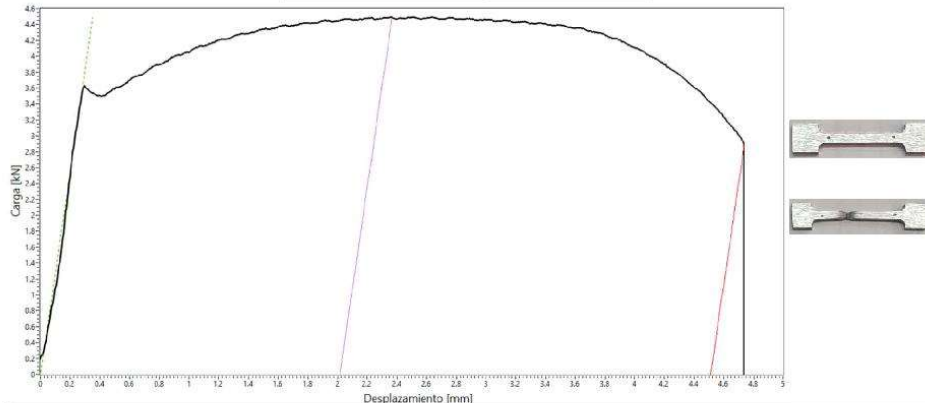
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,17	A <sub>fRot</sub>	19,47
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 14,50			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 29,82			

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE16		Temperatura de ensayo: -120°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 01/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

		Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,66	G <sub>f</sub>	17,88	
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,26	
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,94	
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,89	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,44	

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,49	σ <sub>LYS</sub>	593,65
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,63	σ <sub>UYS</sub>	617,13
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,49	σ <sub>m</sub>	762,98
Reducción de área (%) : 58,47		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 30,89		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	17,02
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 13,44		Elongación (%) - ε <sub>f</sub> : 30,08		

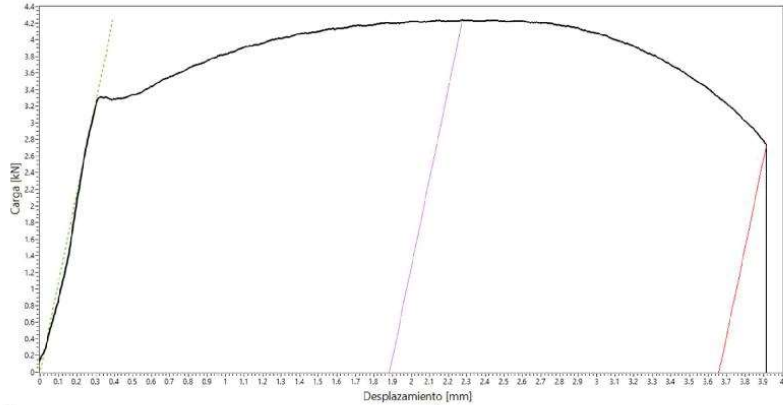
FO-CNEAMAT EFF-01 r4



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN LVDT: 100 mm Extens: N/A		
Identificación de probeta: TFE17		Temperatura de ensayo: -95°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,105		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 01/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

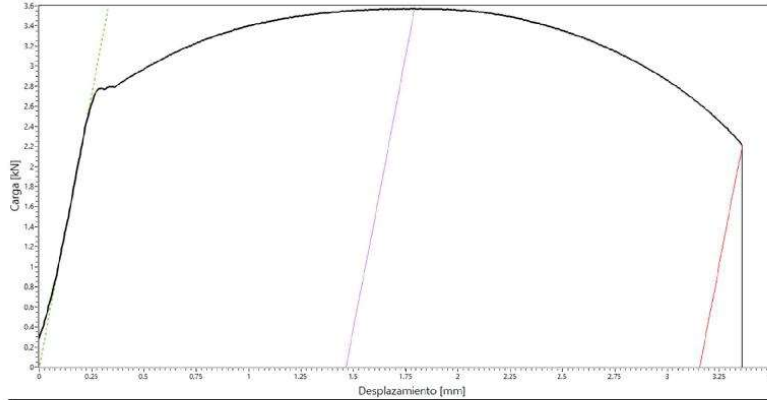
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,51	G <sub>f</sub>	16,95
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,27
Espesor - T	T <sub>0</sub>	3,00	T <sub>f</sub>	1,92
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,91	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,44

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	3,27	σ <sub>LYS</sub>	554,13
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	3,31	σ <sub>UYS</sub>	559,91
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	4,24	σ <sub>m</sub>	717,11
Reducción de área (%) : 58,74		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 25,46		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,88
			A <sub>fRot</sub>	18,66
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>u</sub> : 12,56		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 24,40		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Norma técnica: ASTM E8M		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Identificación de probeta: TFE18		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Material: A508-3		Temperatura de ensayo: 23.8°C		
Tipo de probeta: Atucha		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Fecha de ensayo: 02/02/2022		
		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,45	G <sub>f</sub>	16,41
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,98	W <sub>f</sub>	1,24
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,89
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,92	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,34

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,77	σ <sub>LYS</sub>	467,67
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,78	σ <sub>UYS</sub>	469,44
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,57	σ <sub>m</sub>	603,56

Reducción de área (%) : **60,41**      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : **22,01**

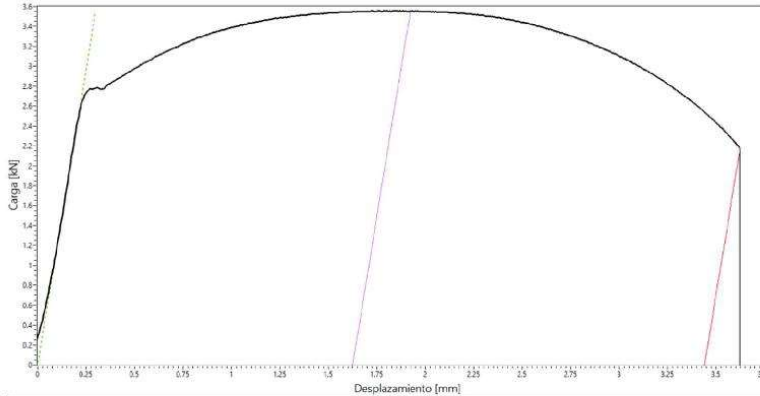
**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,47	A <sub>fRot</sub>	18,15
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 9,77		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 21,03				

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
Norma técnica: ASTM E8M		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
Identificación de probeta: TFE19		Procedimiento utilizado en máquina de ensayos:		
Material: A508-3		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
Tipo de probeta: Atucha		Carga: 100 kN    LVDT: 100 mm    Extens: N/A		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Temperatura de ensayo: 24,2°C		
		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176		
		Fecha de ensayo: 02/02/2022		
		Operador:	Aprobó:	Intervino Calidad:
		Villanueva	Ciriani	Villanueva

Observaciones:

Identificación de instrumentos de medición	
Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

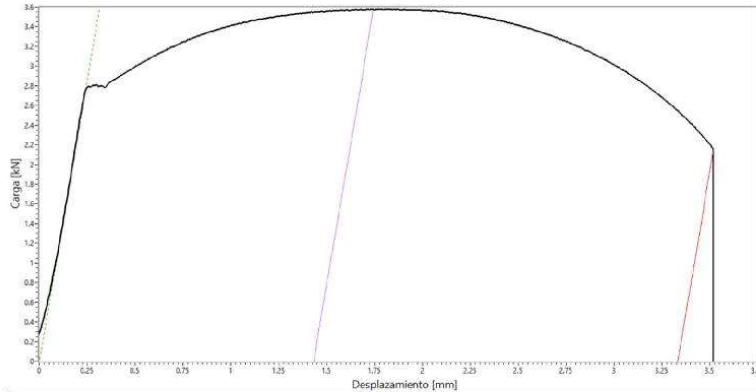
Dimensiones de la probeta (mm)				
	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,62	G <sub>f</sub>	17,00
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,96	W <sub>f</sub>	1,20
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,88
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,86	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,26

Resultados de ensayo				
	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,77	σ <sub>LYS</sub>	471,96
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,79	σ <sub>UYS</sub>	475,29
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,56	σ <sub>m</sub>	607,18
Reducción de área (%) : 61,50		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 24,82		
Datos LVDT				
Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>IMax</sub>	16,62
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>n</sub> : 10,83		Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,94		

FO-CNEAMAT EFF-01 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

**Informe de ensayo de tracción**



Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo: N/A		Máquina de ensayo: EQU-MAT EFF-021		
		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT EFF-002		
		Procedimiento utilizado en máquina de ensayo:		
Norma técnica: ASTM E8M		Rangos seleccionados en máquina de ensayos		
		Carga: 100 kN	LVDT: 100 mm	Extens: N/A
Identificación de probeta: TFE24		Temperatura de ensayo: 24,0°C		
Material: A508-3		Velocidad de ensayo (mm/min): 0,176		
Tipo de probeta: Atucha		Fecha de ensayo: 02/02/2022		
Orientación: Paralelo al eje del aro		Operador: Villanueva	Aprobó: Ciriani	Intervino Calidad: Villanueva

Observaciones:

**Identificación de instrumentos de medición**

Calibre: INS-MAT EFF-065	Controlador de temperatura: INS-MAT EFF-053
Extensómetro: N/A	Termohigrómetro: INS-MAT EFF-018
Termocupla/Termoresistencia: INS-MAT EFF-079	Micrómetro: INS-MAT EFF-022

**Dimensiones de la probeta (mm)**

	Antes del ensayo		Después del ensayo	
Longitud calibrada - G	G <sub>0</sub>	13,34	G <sub>f</sub>	16,56
Ancho - W	W <sub>0</sub>	1,97	W <sub>f</sub>	1,20
Espesor - T	T <sub>0</sub>	2,99	T <sub>f</sub>	1,90
S (mm <sup>2</sup> )	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	5,89	S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )	2,28

**Resultados de ensayo**

	Carga (KN)		Tensión (MPa)	
Tensión de fluencia 0.2%	P <sub>0.2</sub>	--	σ <sub>0.2</sub>	--
Tensión de fluencia mínima	P <sub>LYS</sub>	2,78	σ <sub>LYS</sub>	472,44
Tensión de fluencia máxima	P <sub>UYS</sub>	2,81	σ <sub>UYS</sub>	476,83
Tensión máxima	P <sub>m</sub>	3,58	σ <sub>m</sub>	607,38

Reducción de área (%) : 61,29      Elongación (%) - ε<sub>t</sub> : 24,14

**Datos LVDT**

Longitud calibrada - A	A <sub>0</sub>	15,00	A <sub>fMax</sub>	16,43	A <sub>fRot</sub>	18,33
Elongación fuerza máxima (%) - ε <sub>m</sub> : 9,55			Elongación (%) - ε <sub>t</sub> : 22,21			

## 19APÉNDICE VI

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



### Informe de ensayo $K_{Jc}$

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F13	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-88
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	12/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	541,74	B	16,50	$B_N$	13,60
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	708,32	W	33,02	Side Groove	17,6%
E [GPa]	218,1	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,50

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado			
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1	22,3	0,1
2	17,1	19,0	0,1
3	14,7	16,3	0,1
4	12,6	14,0	0,1

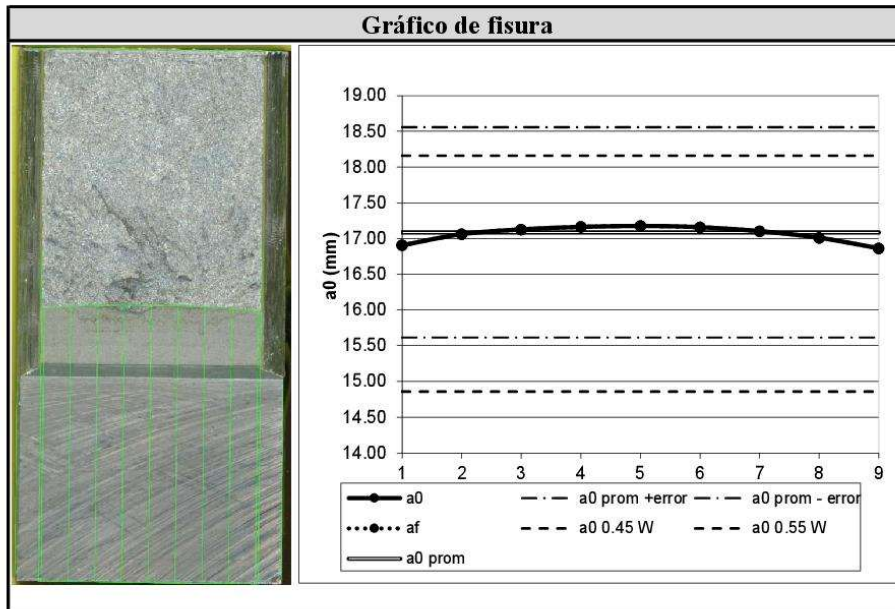
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,91	$a_{f.1}$	16,91	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	17,06	$a_{f.2}$	17,06	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	17,13	$a_{f.3}$	17,13	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	17,17	$a_{f.4}$	17,17	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	17,18	$a_{f.5}$	17,18	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	17,16	$a_{f.6}$	17,16	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,10	$a_{f.7}$	17,10	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	17,01	$a_{f.8}$	17,01	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	16,87	$a_{f.9}$	16,87	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	17,09	$a_f$	17,09	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	29,07	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	13,72
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	42,79	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	101,27

FO-CNEAMAT EFP-XXXX r0  
**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina

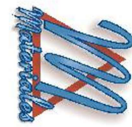
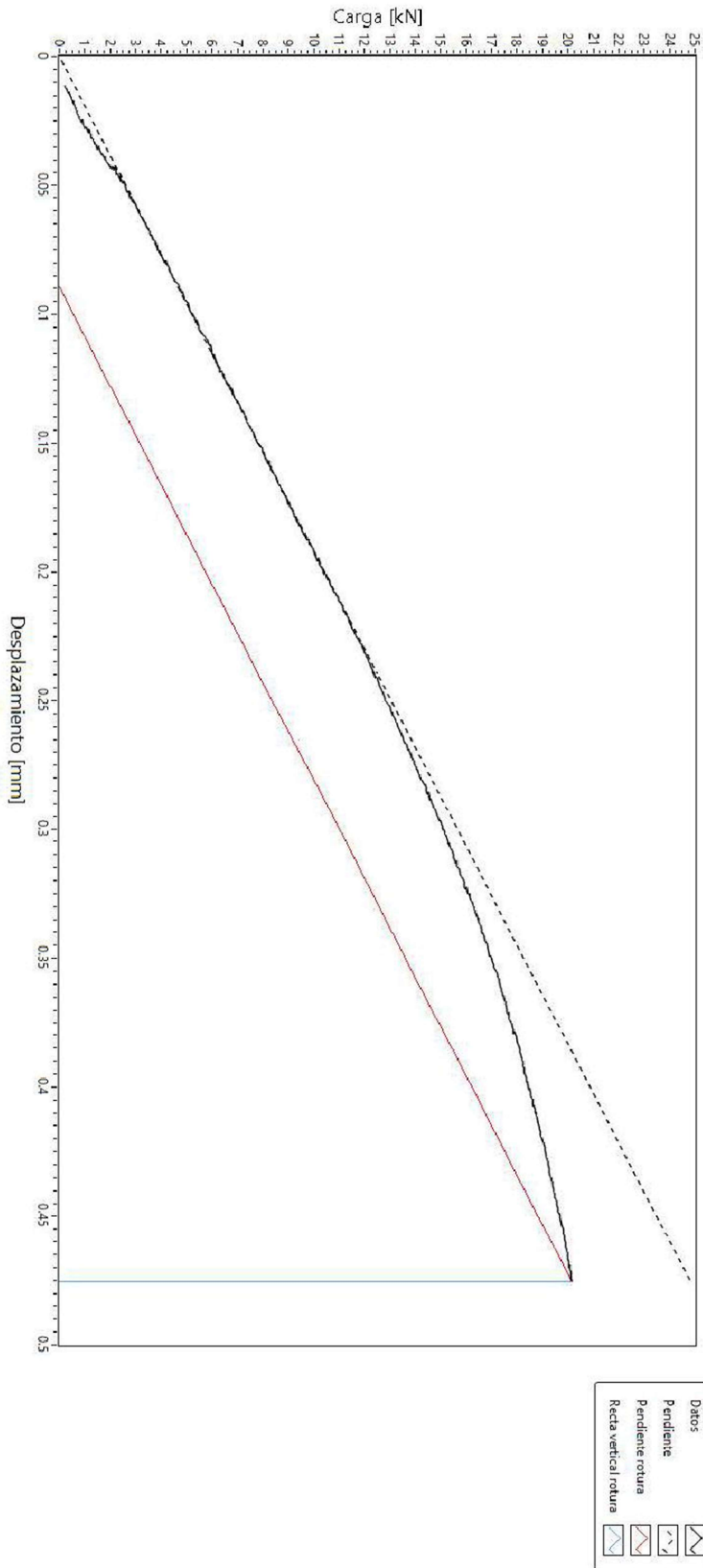


Gráfico de ensayo



FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F14	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	08/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,262

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	16,50	$B_N$	13,50
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	33,02	Side Groove	18%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	$a_N$ (entalla) 13,51

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado			
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1	22,3	0,1
2	17,1	19,0	0,1
3	14,7	16,3	0,1
4	12,6	14,0	0,1

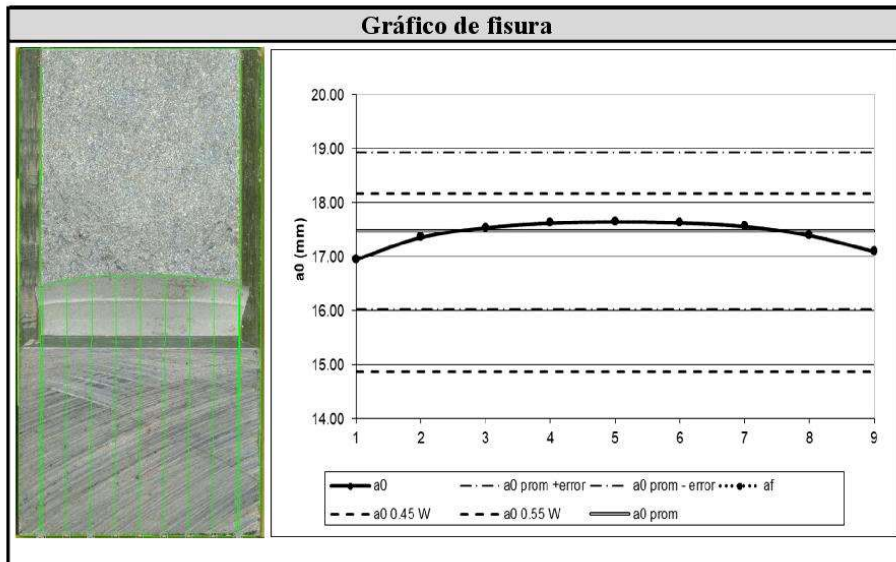
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,95	$a_{f.1}$	16,95	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	17,36	$a_{f.2}$	17,36	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	17,54	$a_{f.3}$	17,54	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	17,63	$a_{f.4}$	17,63	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	17,65	$a_{f.5}$	17,65	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	17,63	$a_{f.6}$	17,63	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,57	$a_{f.7}$	17,57	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	17,40	$a_{f.8}$	17,40	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	17,10	$a_{f.9}$	17,10	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	17,48	$a_f$	17,48	$\Delta a$	0,00

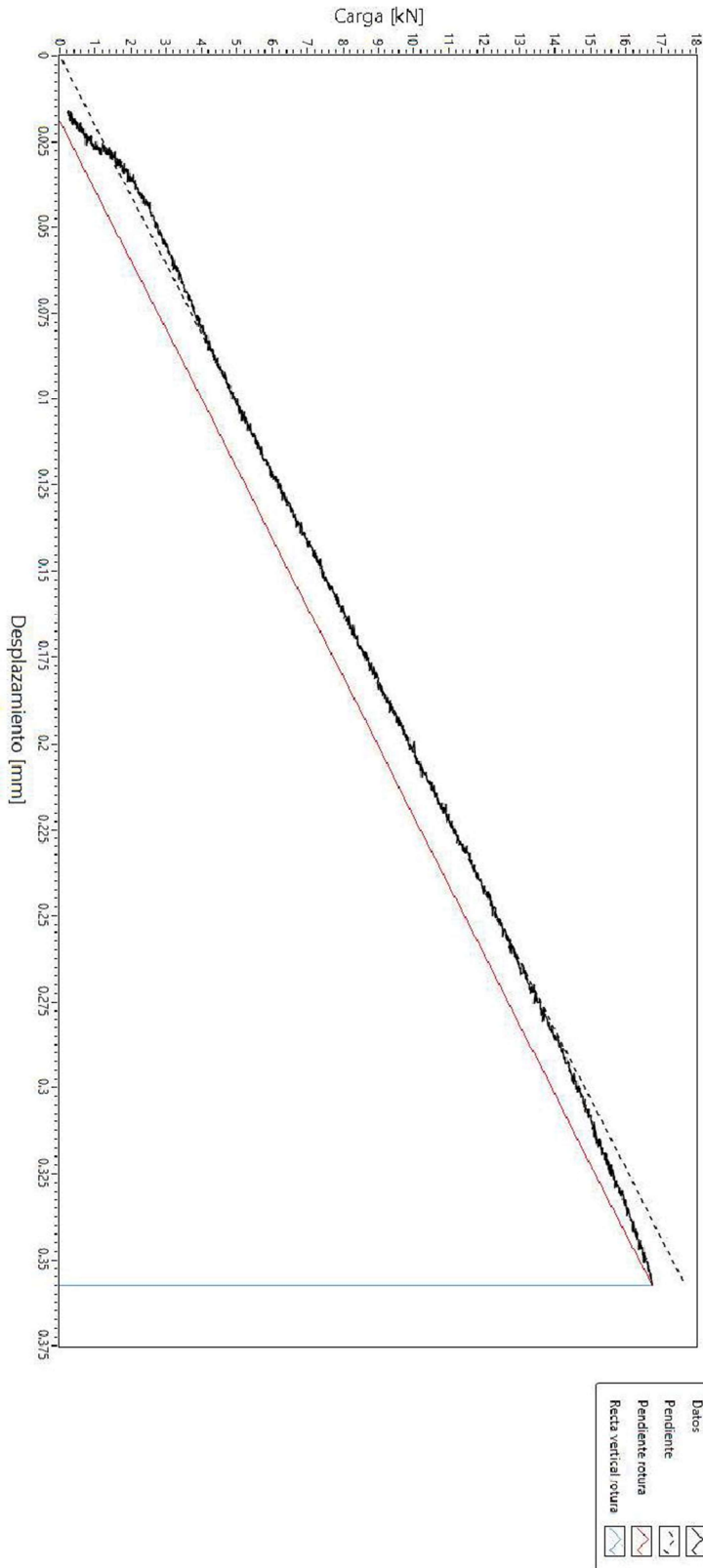


Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	21,78	$J_p$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	2,23
$J_c$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	24,01	$K_{Jc}$ [ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ]	75,99

FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10  
**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina



Gráfico de ensayo



FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F15	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-88
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	12/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	541,74	B	16,51	$B_N$	13,62
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	708,32	W	33,02	Side Groove	17,5%
E [GPa]	218,1	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,52

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

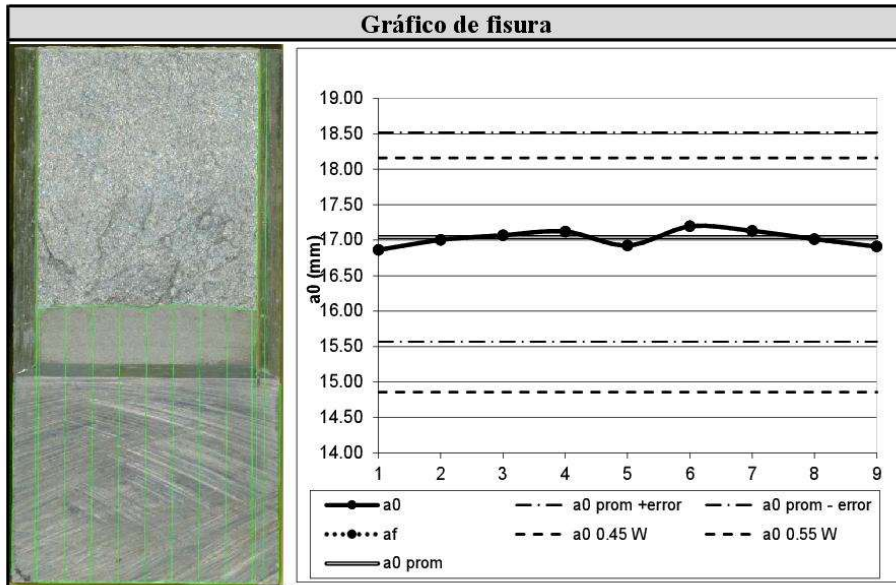
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	16,86	a <sub>f.1</sub>	16,86	Δa <sub>1</sub>	0,00
a <sub>0.2</sub>	17,00	a <sub>f.2</sub>	17,00	Δa <sub>2</sub>	0,00
a <sub>0.3</sub>	17,07	a <sub>f.3</sub>	17,07	Δa <sub>3</sub>	0,00
a <sub>0.4</sub>	17,12	a <sub>f.4</sub>	17,12	Δa <sub>4</sub>	0,00
a <sub>0.5</sub>	16,93	a <sub>f.5</sub>	16,93	Δa <sub>5</sub>	0,00
a <sub>0.6</sub>	17,20	a <sub>f.6</sub>	17,20	Δa <sub>6</sub>	0,00
a <sub>0.7</sub>	17,13	a <sub>f.7</sub>	17,13	Δa <sub>7</sub>	0,00
a <sub>0.8</sub>	17,02	a <sub>f.8</sub>	17,02	Δa <sub>8</sub>	0,00
a <sub>0.9</sub>	16,91	a <sub>f.9</sub>	16,91	Δa <sub>9</sub>	0,00
a <sub>0</sub>	17,04	a <sub>f</sub>	17,04	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	29,07	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	13,72
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	44,11	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	102,82

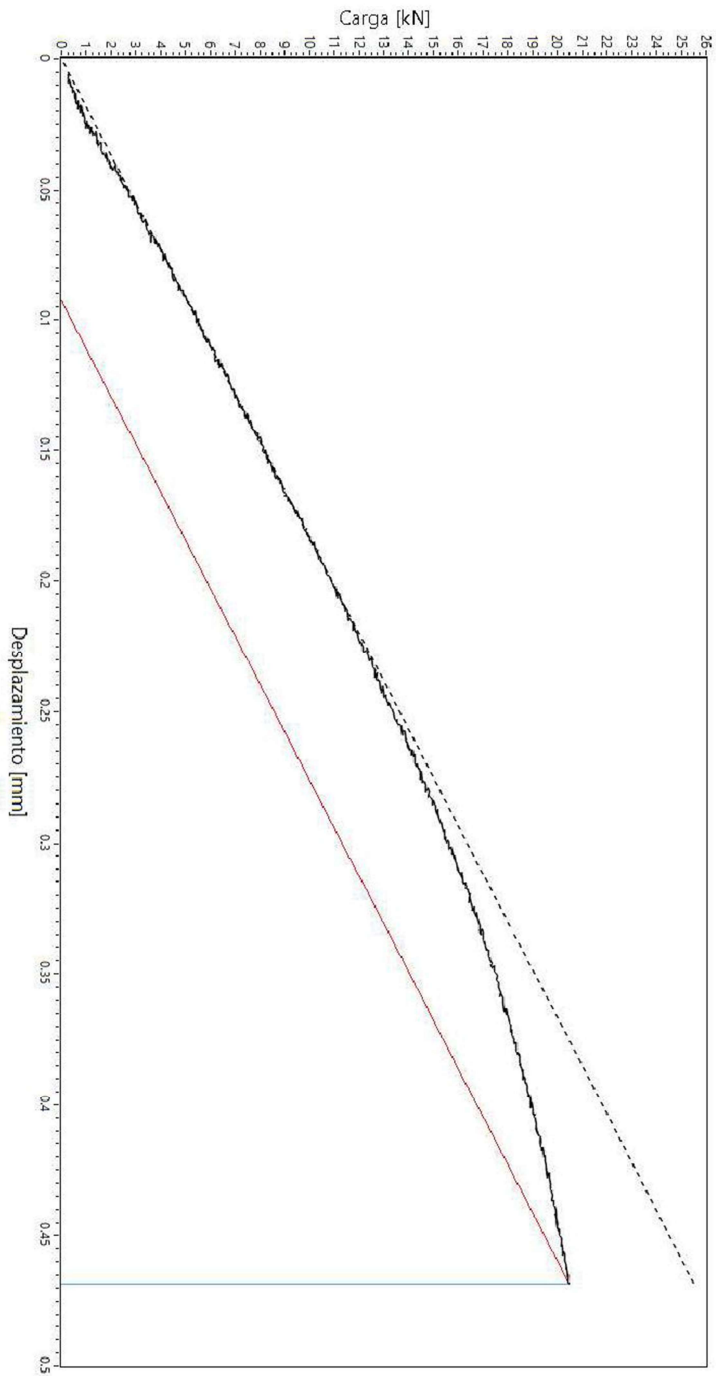


FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10

**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



Datos

- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F16	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-88
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	12/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	541,74	B	16,50	$B_N$	13,64
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	708,32	W	33,03	Side Groove	17,3%
E [GPa]	218,1	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,52

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

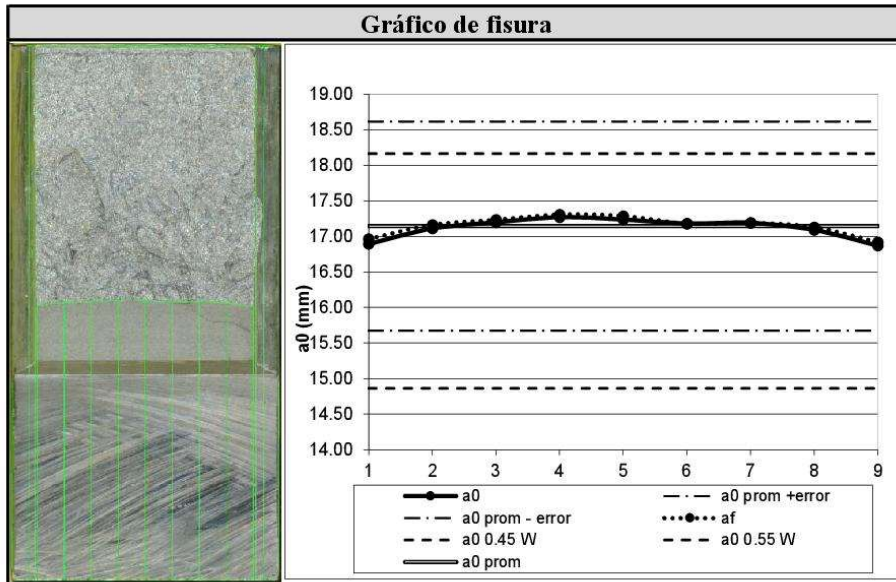
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,90	$a_{f.1}$	16,97	$\Delta a_1$	0,07
$a_{0.2}$	17,11	$a_{f.2}$	17,16	$\Delta a_2$	0,05
$a_{0.3}$	17,20	$a_{f.3}$	17,24	$\Delta a_3$	0,04
$a_{0.4}$	17,27	$a_{f.4}$	17,31	$\Delta a_4$	0,04
$a_{0.5}$	17,24	$a_{f.5}$	17,29	$\Delta a_5$	0,05
$a_{0.6}$	17,18	$a_{f.6}$	17,18	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,19	$a_{f.7}$	17,19	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	17,09	$a_{f.8}$	17,13	$\Delta a_8$	0,04
$a_{0.9}$	16,87	$a_{f.9}$	16,92	$\Delta a_9$	0,05
$a_0$	17,15	$a_f$	17,18	$\Delta a$	0,03



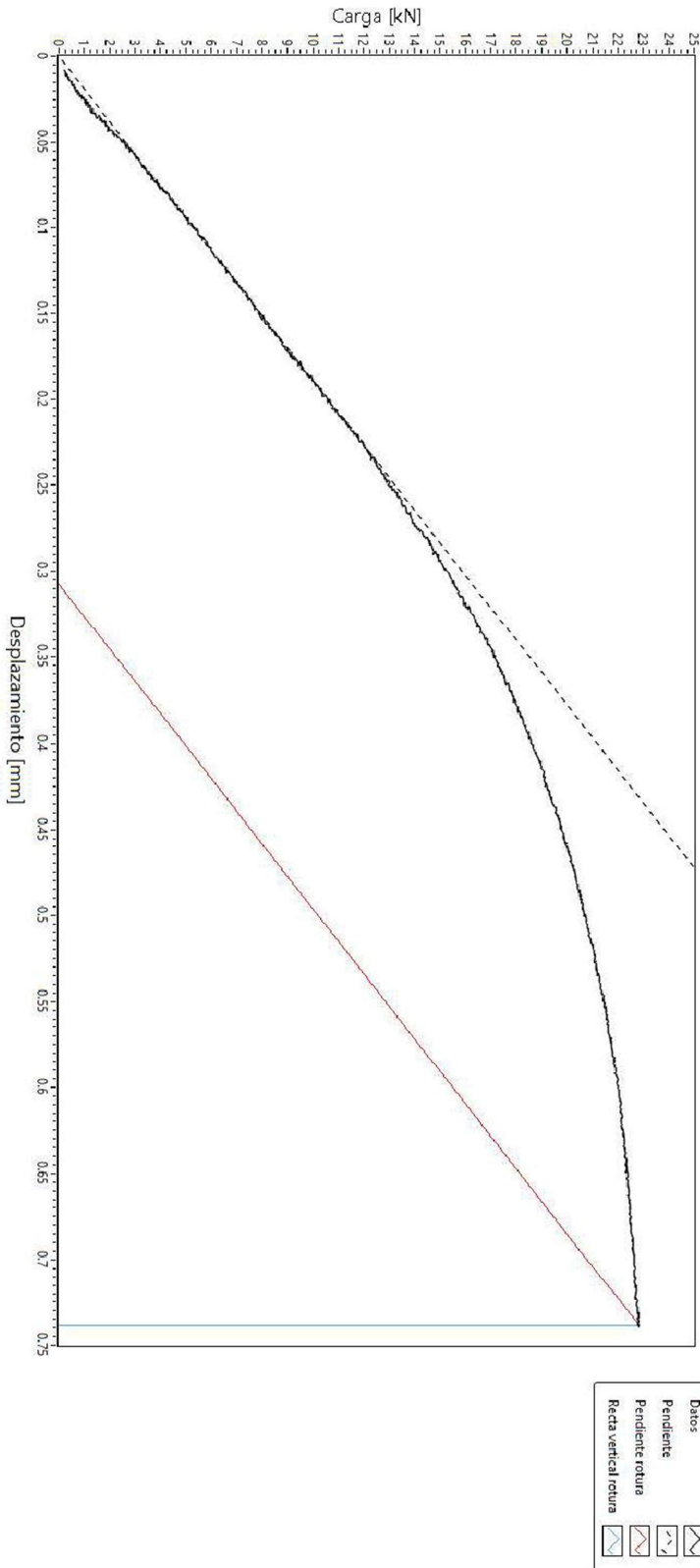
Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	37,53	$J_p$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	55,92
$J_c$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	93,45	$K_{Jc}$ [ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ]	149,65



FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10  
GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F17	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	20/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	16,52	$B_N$	13,67
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	33,03	Side Groove	17,2%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,61

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

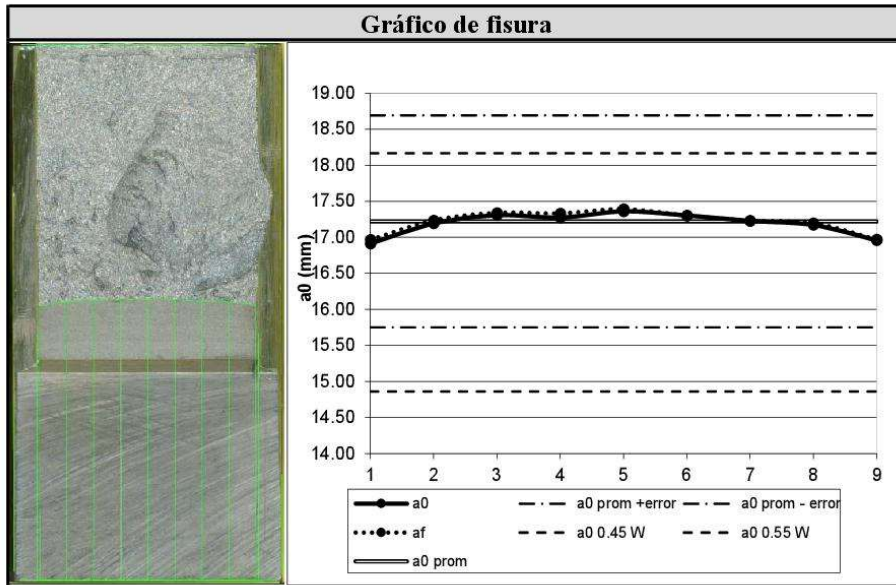
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,91	$a_{f.1}$	16,97	$\Delta a_1$	0,05
$a_{0.2}$	17,19	$a_{f.2}$	17,24	$\Delta a_2$	0,04
$a_{0.3}$	17,31	$a_{f.3}$	17,34	$\Delta a_3$	0,03
$a_{0.4}$	17,28	$a_{f.4}$	17,33	$\Delta a_4$	0,06
$a_{0.5}$	17,36	$a_{f.5}$	17,39	$\Delta a_5$	0,03
$a_{0.6}$	17,30	$a_{f.6}$	17,30	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,23	$a_{f.7}$	17,23	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	17,17	$a_{f.8}$	17,20	$\Delta a_8$	0,03
$a_{0.9}$	16,96	$a_{f.9}$	16,97	$\Delta a_9$	0,01
$a_0$	17,22	$a_f$	17,25	$\Delta a$	0,03

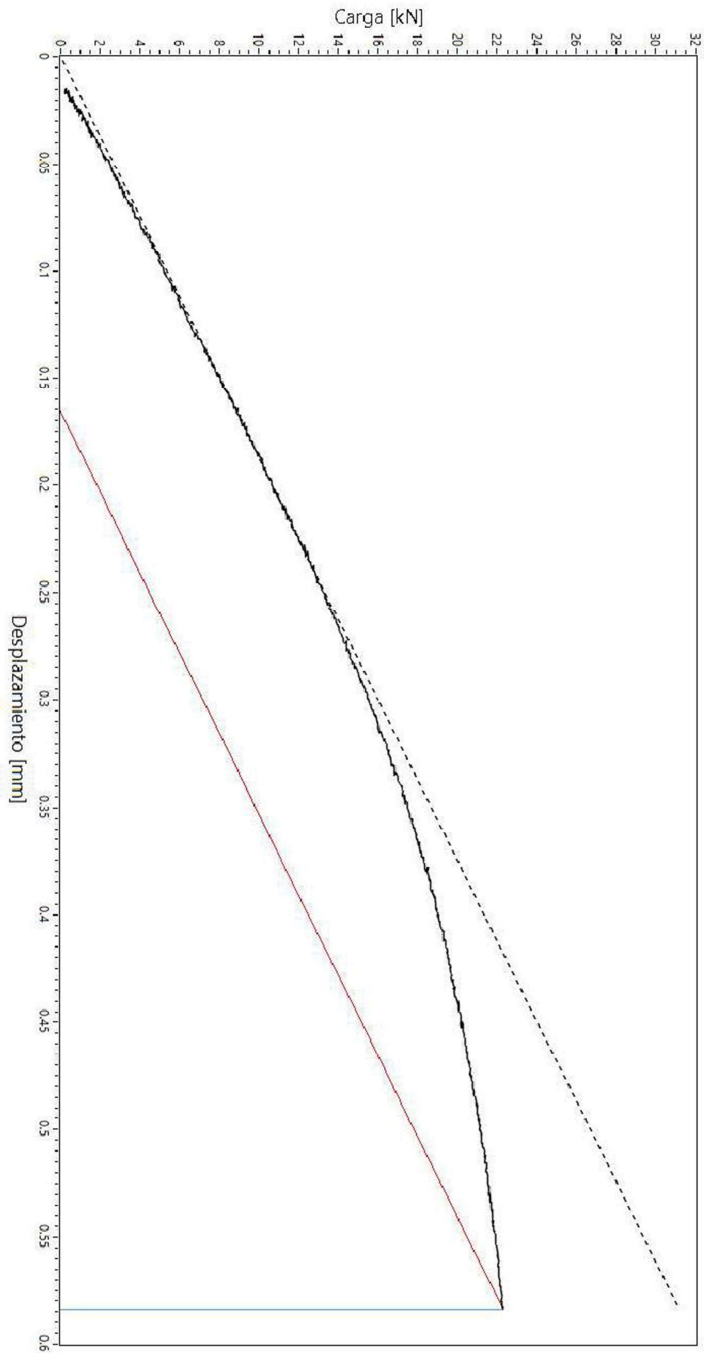


Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	36,06	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	28,96
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	65,02	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	125,03

FO-CNEAMAT\_EPF-XXX-10  
GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical / rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F18	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	16,50	$B_N$	13,52
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	33,02	Side Groove	18,1%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,56

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

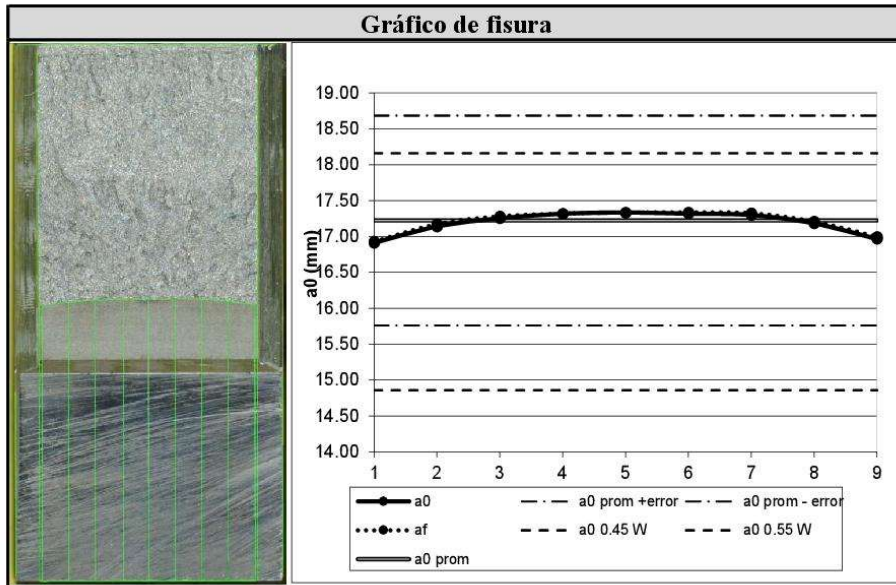
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,91	$a_{f.1}$	16,93	$\Delta a_1$	0,02
$a_{0.2}$	17,14	$a_{f.2}$	17,17	$\Delta a_2$	0,03
$a_{0.3}$	17,25	$a_{f.3}$	17,28	$\Delta a_3$	0,03
$a_{0.4}$	17,32	$a_{f.4}$	17,32	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	17,33	$a_{f.5}$	17,33	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	17,32	$a_{f.6}$	17,34	$\Delta a_6$	0,02
$a_{0.7}$	17,30	$a_{f.7}$	17,33	$\Delta a_7$	0,02
$a_{0.8}$	17,18	$a_{f.8}$	17,21	$\Delta a_8$	0,03
$a_{0.9}$	16,97	$a_{f.9}$	17,00	$\Delta a_9$	0,03
$a_0$	17,22	$a_f$	17,24	$\Delta a$	0,02



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	33,63	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	21,15
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	54,79	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	114,78

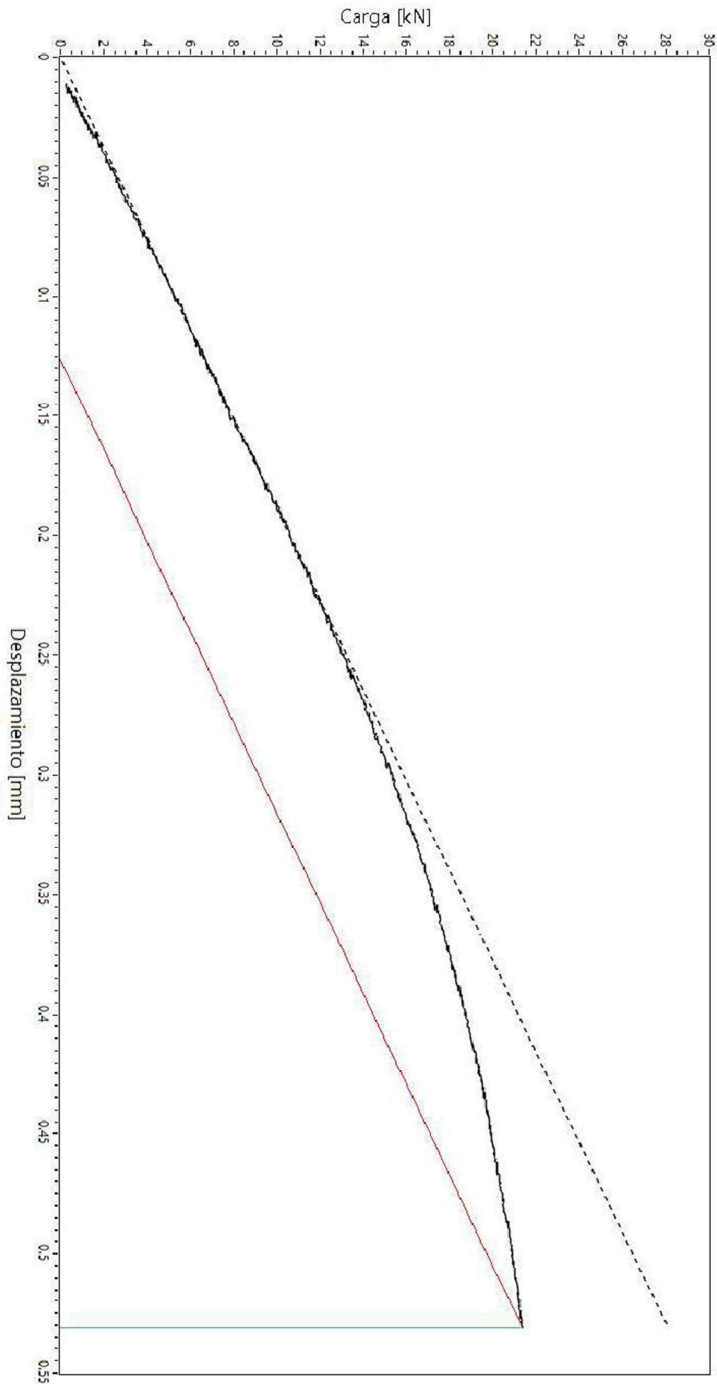


FO-CNEAMAT\_EPF-XXX-10

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F19	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	16,50	$B_N$	13,65
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	33,03	Side Groove	17,3%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,55

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

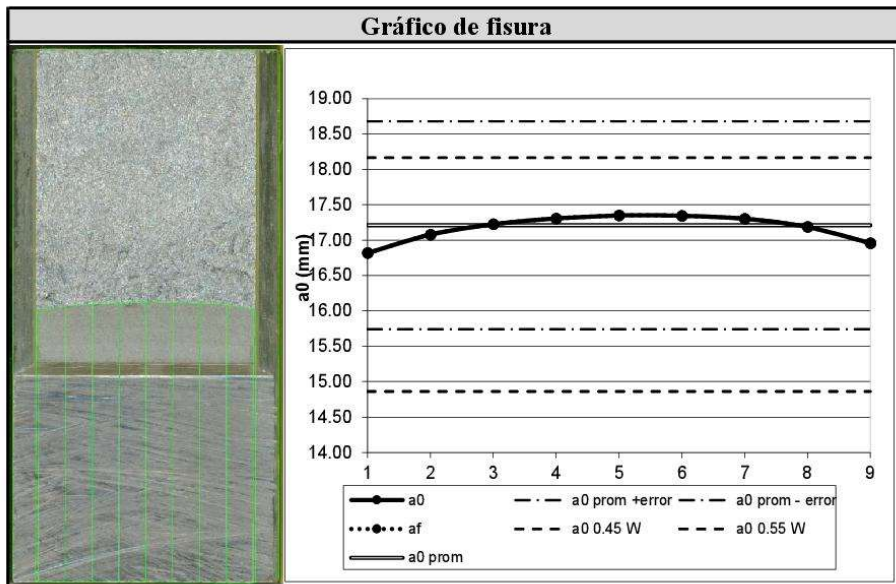
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,82	$a_{f.1}$	16,82	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	17,08	$a_{f.2}$	17,08	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	17,23	$a_{f.3}$	17,23	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	17,31	$a_{f.4}$	17,31	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	17,35	$a_{f.5}$	17,35	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	17,35	$a_{f.6}$	17,35	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,30	$a_{f.7}$	17,30	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	17,19	$a_{f.8}$	17,19	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	16,96	$a_{f.9}$	16,96	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	17,21	$a_f$	17,21	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	19,06	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	1,59
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	20,65	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	70,47

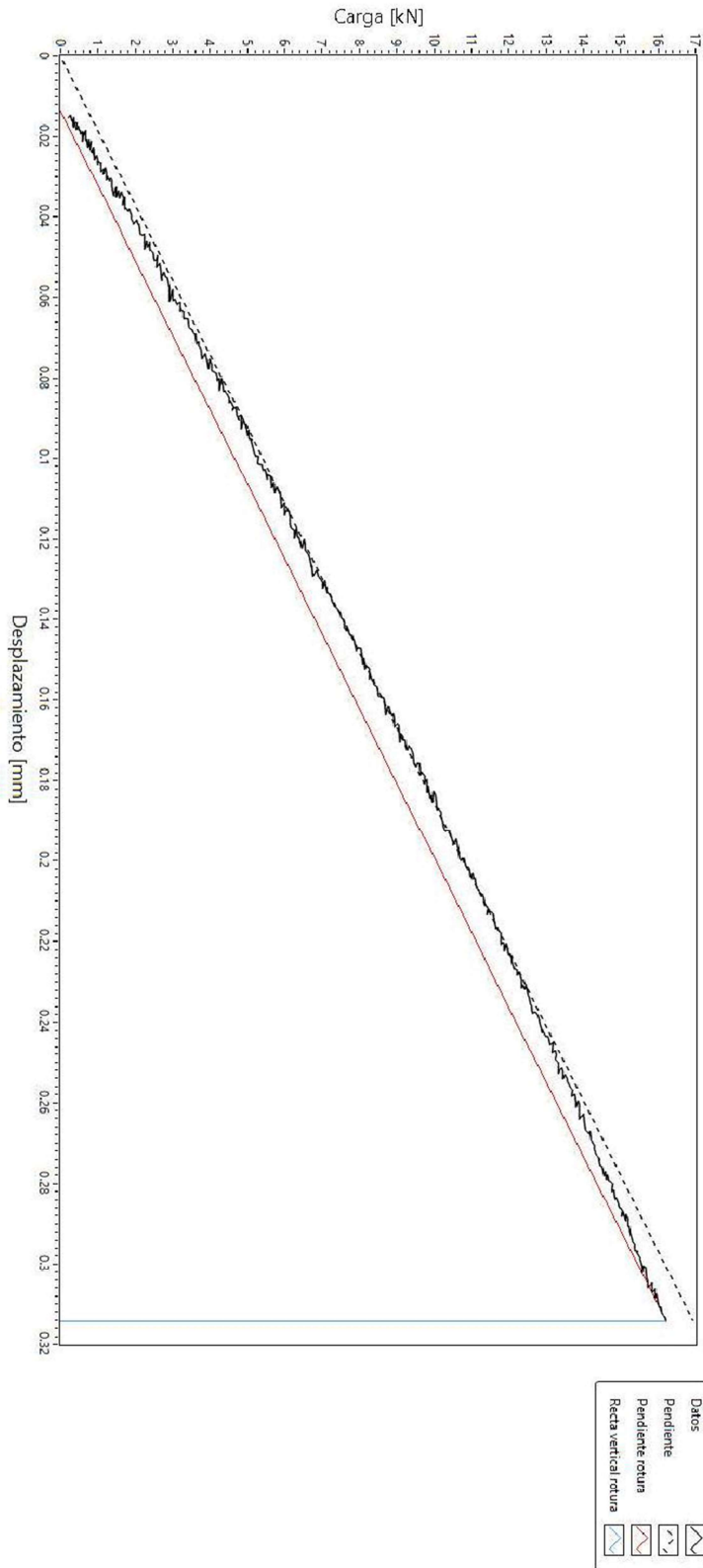


FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F20	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	16,52	$B_N$	13,72
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	33,02	Side Groove	17,0%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,58

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

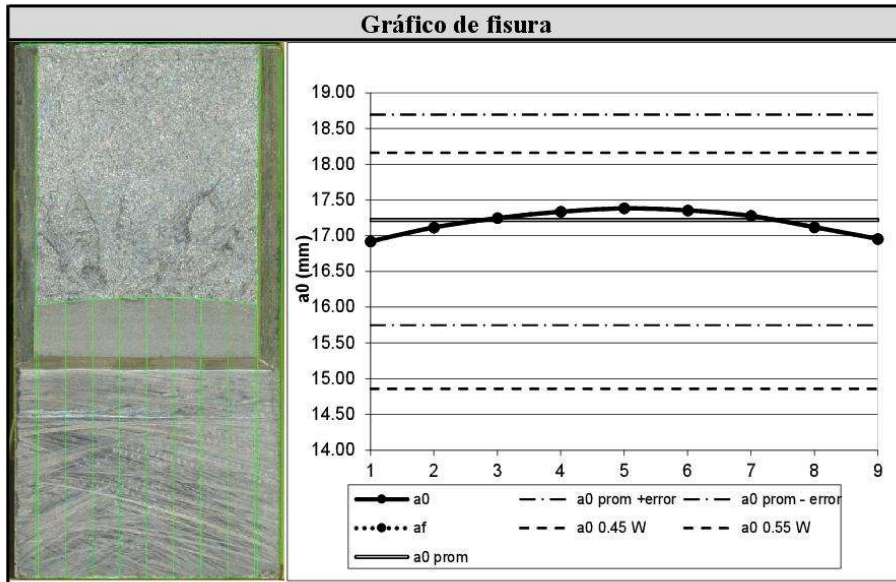
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,92	$a_{f.1}$	16,92	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	17,12	$a_{f.2}$	17,12	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	17,25	$a_{f.3}$	17,25	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	17,34	$a_{f.4}$	17,34	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	17,38	$a_{f.5}$	17,38	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	17,36	$a_{f.6}$	17,36	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,28	$a_{f.7}$	17,28	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	17,12	$a_{f.8}$	17,12	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	16,96	$a_{f.9}$	16,96	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	17,22	$a_f$	17,22	$\Delta a$	0,00

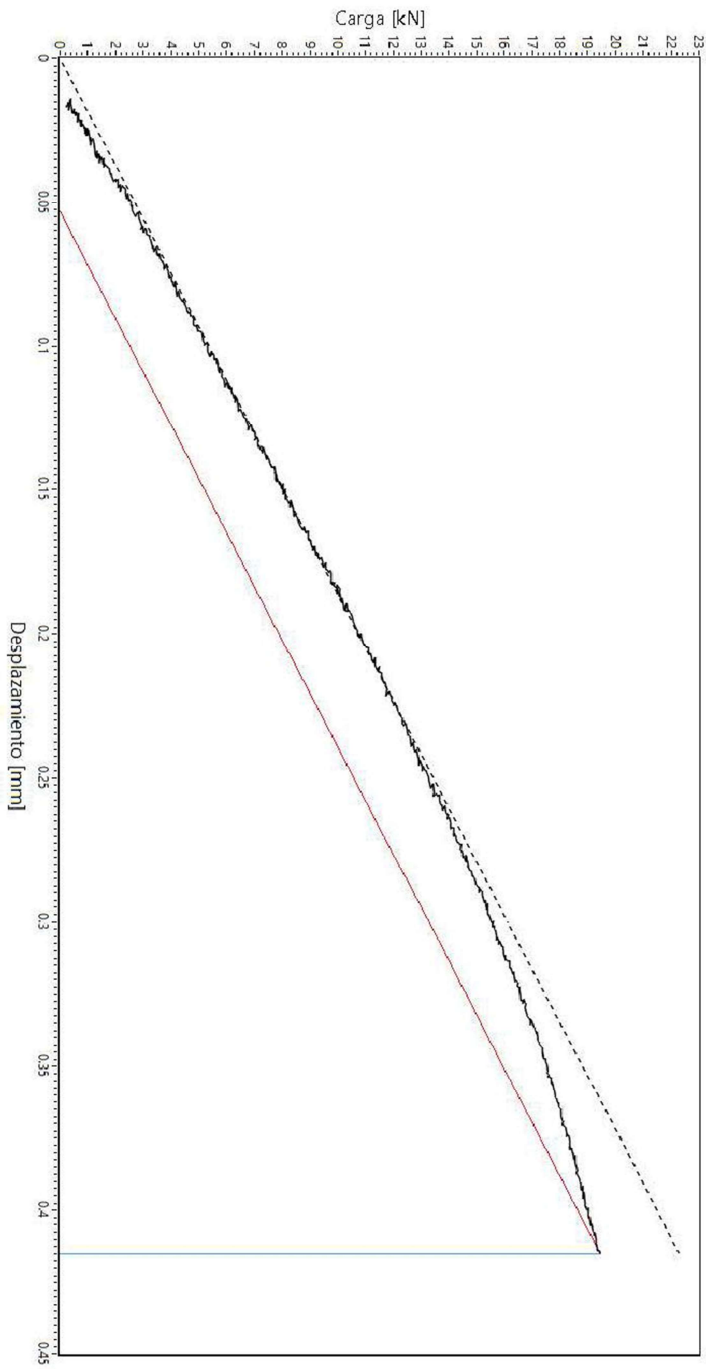


Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	27,40	$J_p$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	7,84
$J_c$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	35,24	$K_{Jc}$ [ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ]	92,05

FO-CNEAMAT\_EPF-XXX-10  
**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina



Gráfico de ensayo



Datos

- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F21	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-76
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	22/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	527,13	B	16,51	$B_N$	13,62
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	692,24	W	33,03	Side Groove	17,5%
E [GPa]	217,4	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,6

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

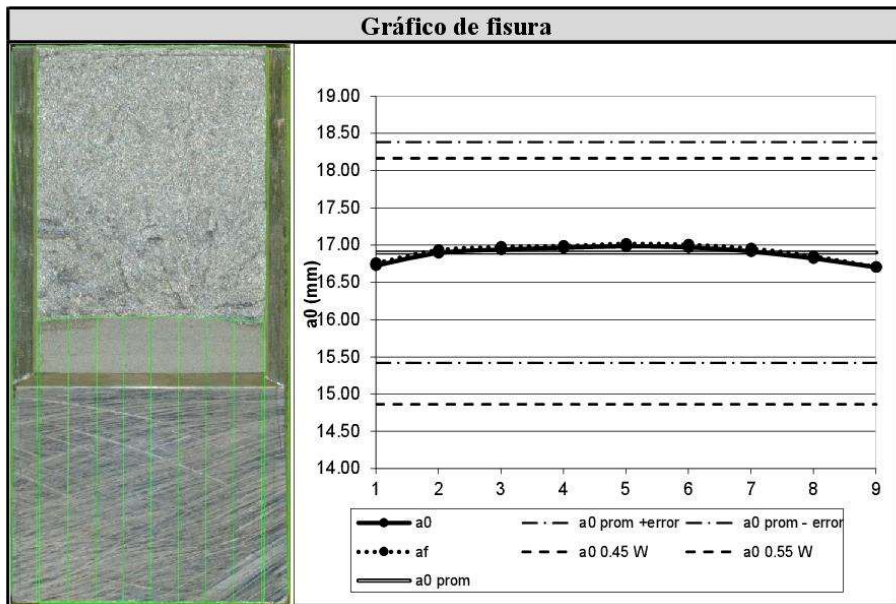
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,73	$a_{f.1}$	16,76	$\Delta a_1$	0,03
$a_{0.2}$	16,90	$a_{f.2}$	16,93	$\Delta a_2$	0,04
$a_{0.3}$	16,94	$a_{f.3}$	16,98	$\Delta a_3$	0,04
$a_{0.4}$	16,97	$a_{f.4}$	16,99	$\Delta a_4$	0,02
$a_{0.5}$	16,99	$a_{f.5}$	17,02	$\Delta a_5$	0,03
$a_{0.6}$	16,97	$a_{f.6}$	17,01	$\Delta a_6$	0,04
$a_{0.7}$	16,92	$a_{f.7}$	16,96	$\Delta a_7$	0,04
$a_{0.8}$	16,82	$a_{f.8}$	16,85	$\Delta a_8$	0,03
$a_{0.9}$	16,71	$a_{f.9}$	16,71	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	16,90	$a_f$	16,93	$\Delta a$	0,03

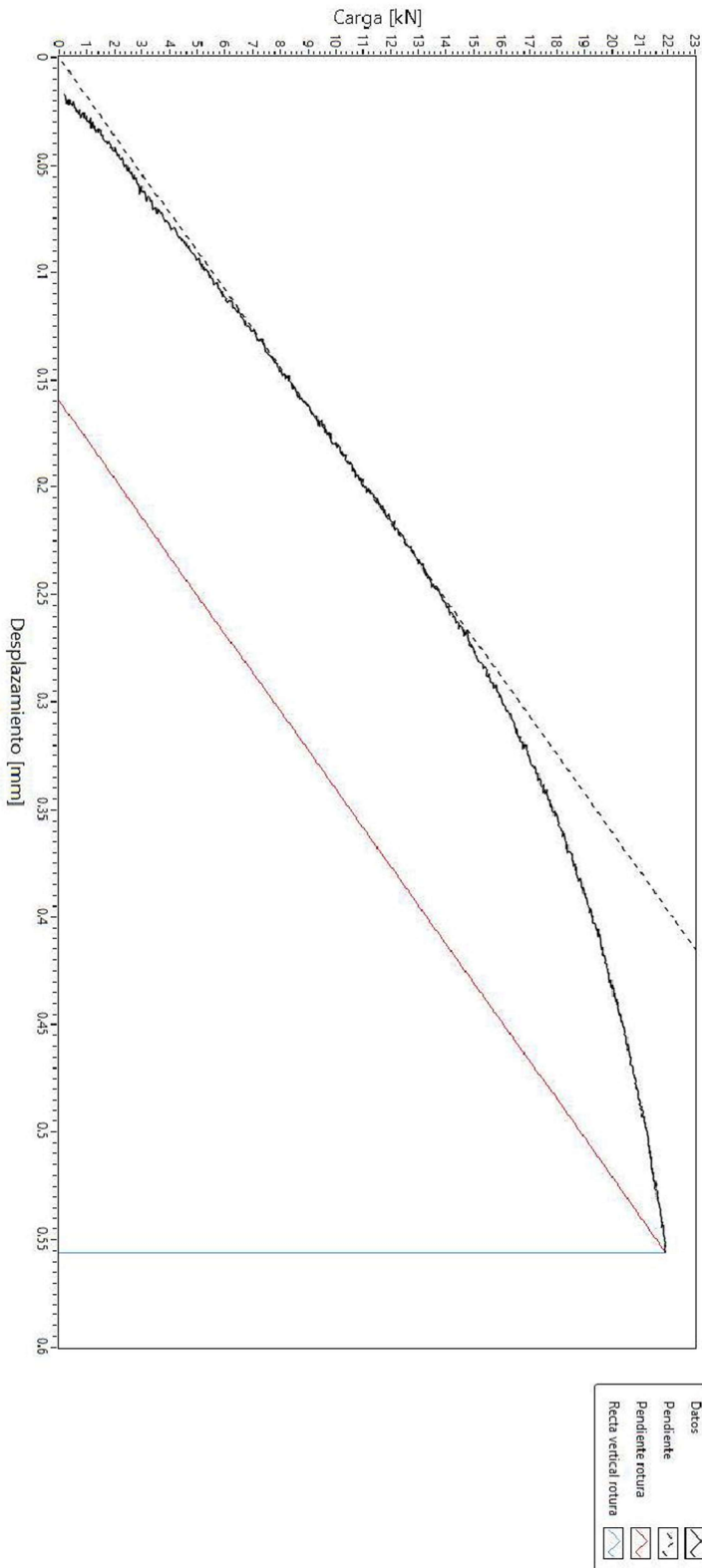


Valores de tenacidad de fractura			
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	33,20	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	26,95
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	60,15	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	119,87

FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10  
GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F22	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-76
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	22/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	527,13	B	16,51	$B_N$	13,69
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	692,24	W	33,03	Side Groove	17,1%
E [GPa]	217,4	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,54

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	
1	20,1		22,3	
2	17,1		19,0	
3	14,7		16,3	
4	12,6		14,0	
				R
				0,1
				0,1
				0,1
				0,1

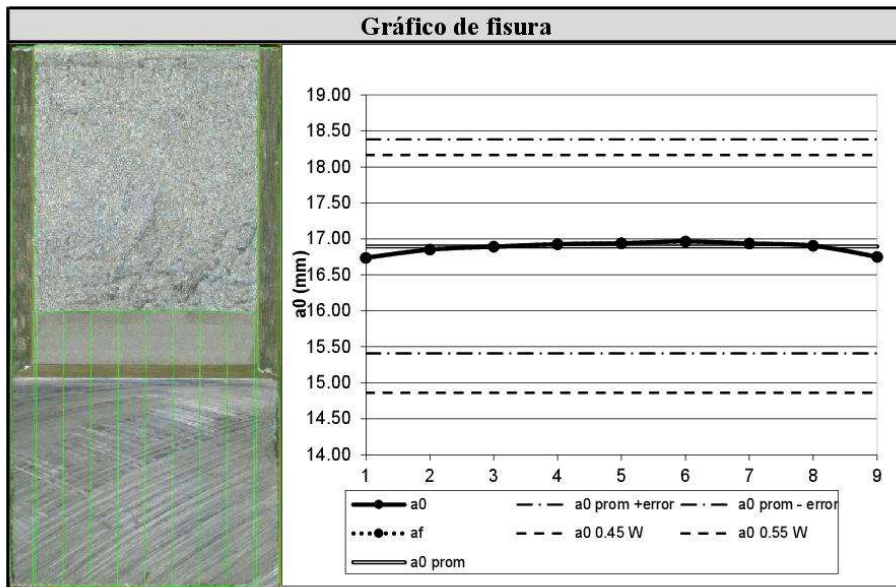
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,74	$a_{f.1}$	16,74	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	16,85	$a_{f.2}$	16,85	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	16,89	$a_{f.3}$	16,89	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	16,93	$a_{f.4}$	16,93	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	16,94	$a_{f.5}$	16,94	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	16,97	$a_{f.6}$	16,97	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	16,94	$a_{f.7}$	16,94	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	16,91	$a_{f.8}$	16,91	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	16,75	$a_{f.9}$	16,75	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	16,90	$a_f$	16,90	$\Delta a$	0,00

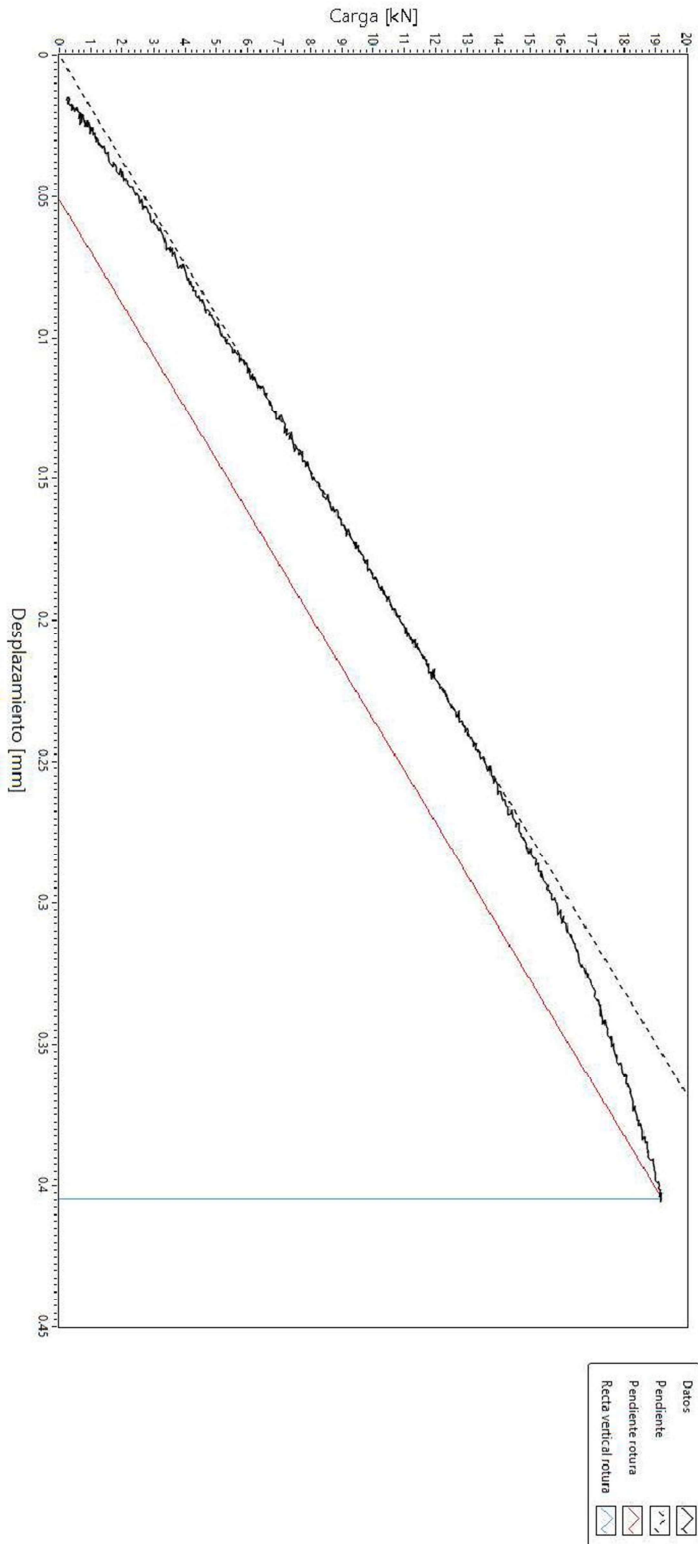


Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	25,26	$J_p$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	7,76
$J_c$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	33,02	$K_{Jc}$ [ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ]	88,82

FO-CNEAMAT\_EPF-XXX-10  
GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F23	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-76
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	25/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	527,13	B	16,51	$B_N$	13,44
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	692,24	W	33,02	Side Groove	18,6%
E [GPa]	217,4	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,59

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	
1	20,1		22,3	
2	17,1		19,0	
3	14,7		16,3	
4	12,6		14,0	
				R
				0,1
				0,1
				0,1
				0,1

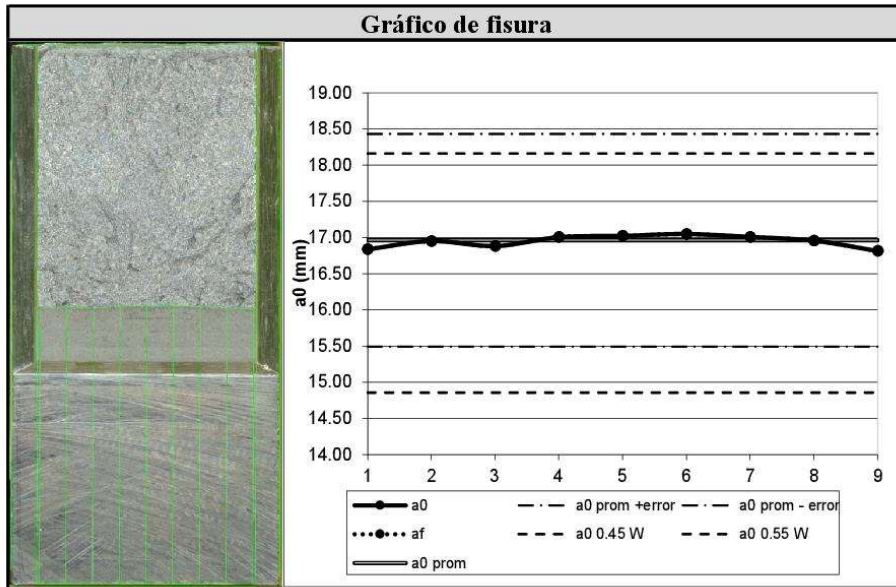
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,84	$a_{f.1}$	16,84	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	16,95	$a_{f.2}$	16,95	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	16,88	$a_{f.3}$	16,88	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	17,01	$a_{f.4}$	17,01	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	17,02	$a_{f.5}$	17,02	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	17,05	$a_{f.6}$	17,05	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	17,01	$a_{f.7}$	17,01	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	16,96	$a_{f.8}$	16,96	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	16,81	$a_{f.9}$	16,81	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	16,96	$a_f$	16,96	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	28,40	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	14,21
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	42,61	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	100,89

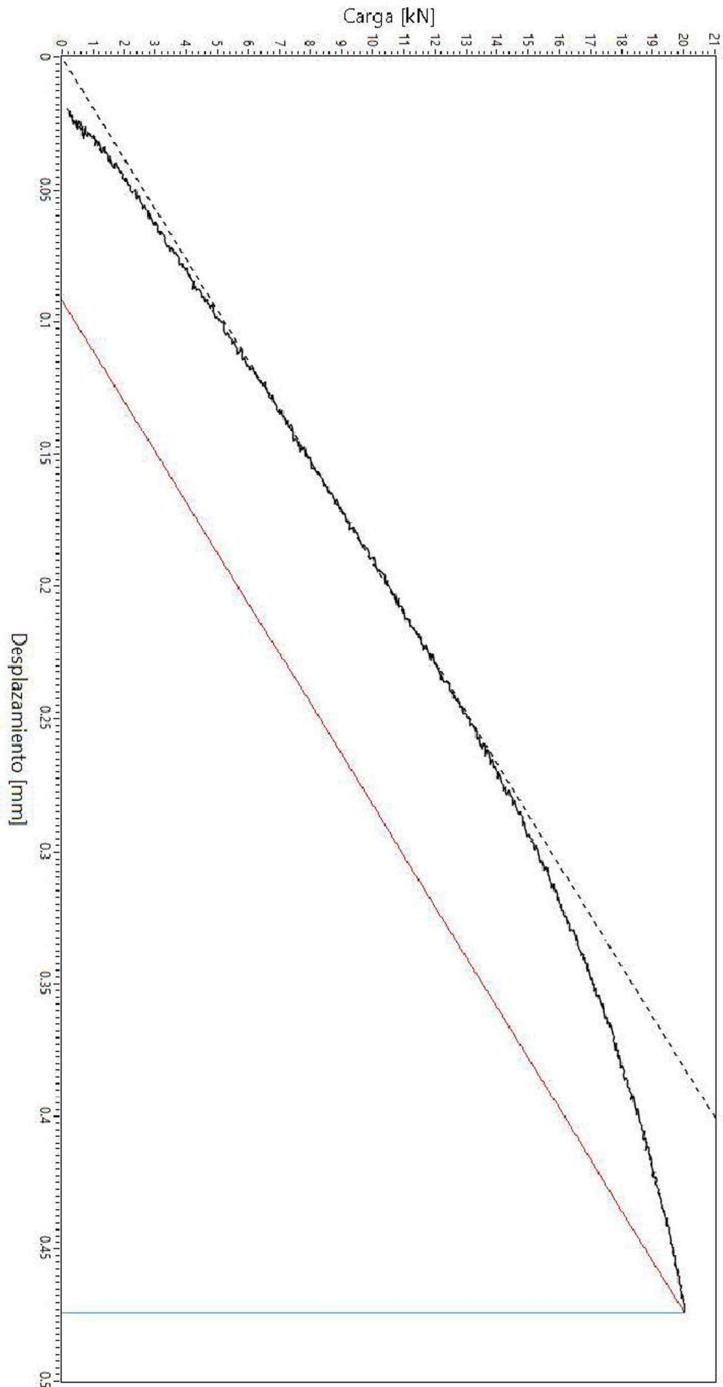


FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	F24	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Oviedo

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-76
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	25/04/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,131

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	527,13	B	16,51	$B_N$	13,59
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	692,24	W	33,02	Side Groove	17,7%
E [GPa]	217,4	v	0,3	S	132,08
				$a_N$ (entalla)	13,65

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz		Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]		(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R
1	20,1		22,3	0,1
2	17,1		19,0	0,1
3	14,7		16,3	0,1
4	12,6		14,0	0,1

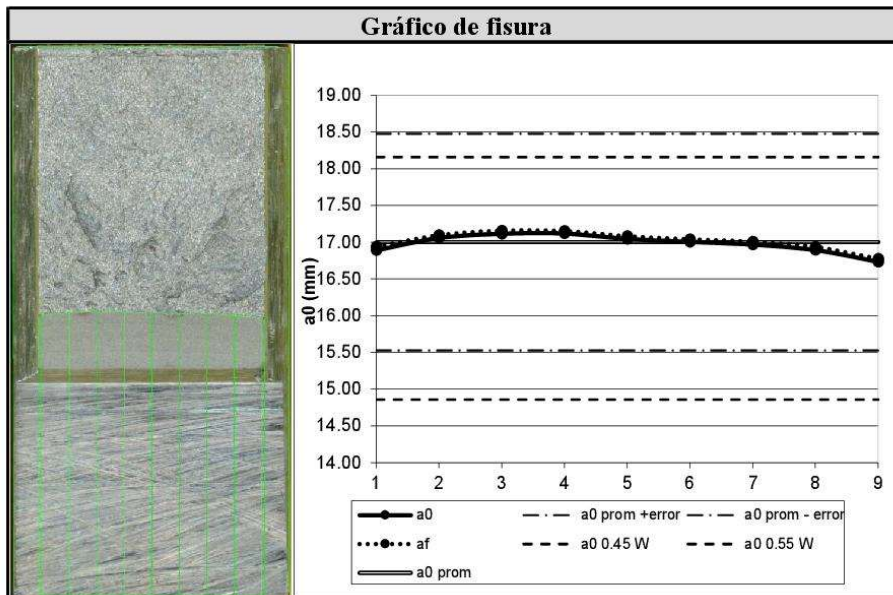
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	16,89	$a_{f.1}$	16,94	$\Delta a_1$	0,05
$a_{0.2}$	17,06	$a_{f.2}$	17,10	$\Delta a_2$	0,04
$a_{0.3}$	17,12	$a_{f.3}$	17,16	$\Delta a_3$	0,04
$a_{0.4}$	17,12	$a_{f.4}$	17,15	$\Delta a_4$	0,03
$a_{0.5}$	17,05	$a_{f.5}$	17,09	$\Delta a_5$	0,04
$a_{0.6}$	17,01	$a_{f.6}$	17,04	$\Delta a_6$	0,04
$a_{0.7}$	16,97	$a_{f.7}$	17,01	$\Delta a_7$	0,04
$a_{0.8}$	16,90	$a_{f.8}$	16,94	$\Delta a_8$	0,04
$a_{0.9}$	16,74	$a_{f.9}$	16,78	$\Delta a_9$	0,04
$a_0$	17,00	$a_f$	17,04	$\Delta a$	0,04

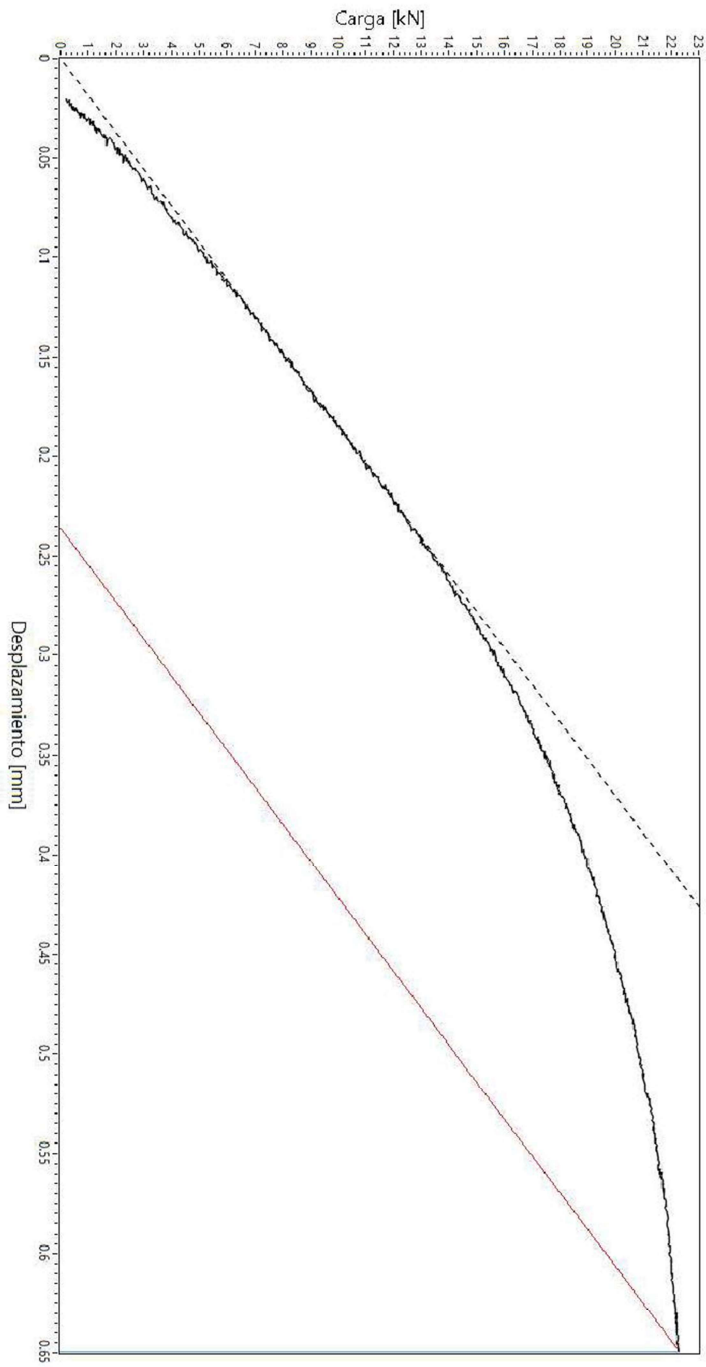


Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	35,08	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	41,38
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	76,46	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	135,16

FO-CNEAMAT\_EPR-XXX-10  
**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina



Gráfico de ensayo



Datos

- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

## 20APÉNDICE VII

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



### Informe de ensayo $K_{Jc}$

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	13A	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	17/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta						
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]			
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	10,00	$B_N$	8,03	
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	10,00	Side Groove	19,7%	
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	40,00	$a_N$ nominal (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado			
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [MPa $\sqrt{m}$ ]	R
1	17,6	19,6	0,1
2	16,7	18,6	0,1
3	15,8	17,6	0,1
4	14,9	16,6	0,1
5	14,2	15,8	0,1
6	13,6	15,1	0,1
7	13,1	14,5	0,1
8	12,6	14,0	0,1

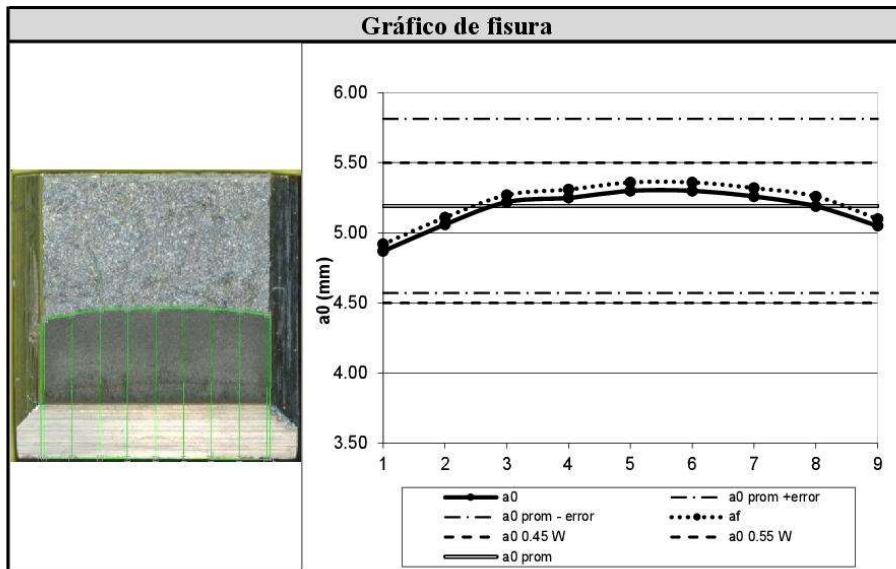
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

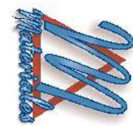


Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	4.87	$a_{f.1}$	4.92	$\Delta a_1$	0.05
$a_{0.2}$	5.06	$a_{f.2}$	5.11	$\Delta a_2$	0.05
$a_{0.3}$	5.22	$a_{f.3}$	5.27	$\Delta a_3$	0.05
$a_{0.4}$	5.25	$a_{f.4}$	5.31	$\Delta a_4$	0.06
$a_{0.5}$	5.30	$a_{f.5}$	5.36	$\Delta a_5$	0.06
$a_{0.6}$	5.30	$a_{f.6}$	5.36	$\Delta a_6$	0.06
$a_{0.7}$	5.26	$a_{f.7}$	5.32	$\Delta a_7$	0.06
$a_{0.8}$	5.19	$a_{f.8}$	5.26	$\Delta a_8$	0.07
$a_{0.9}$	5.05	$a_{f.9}$	5.10	$\Delta a_9$	0.05
$a_0$	5,19	$a_f$	5,25	$\Delta a$	0,06

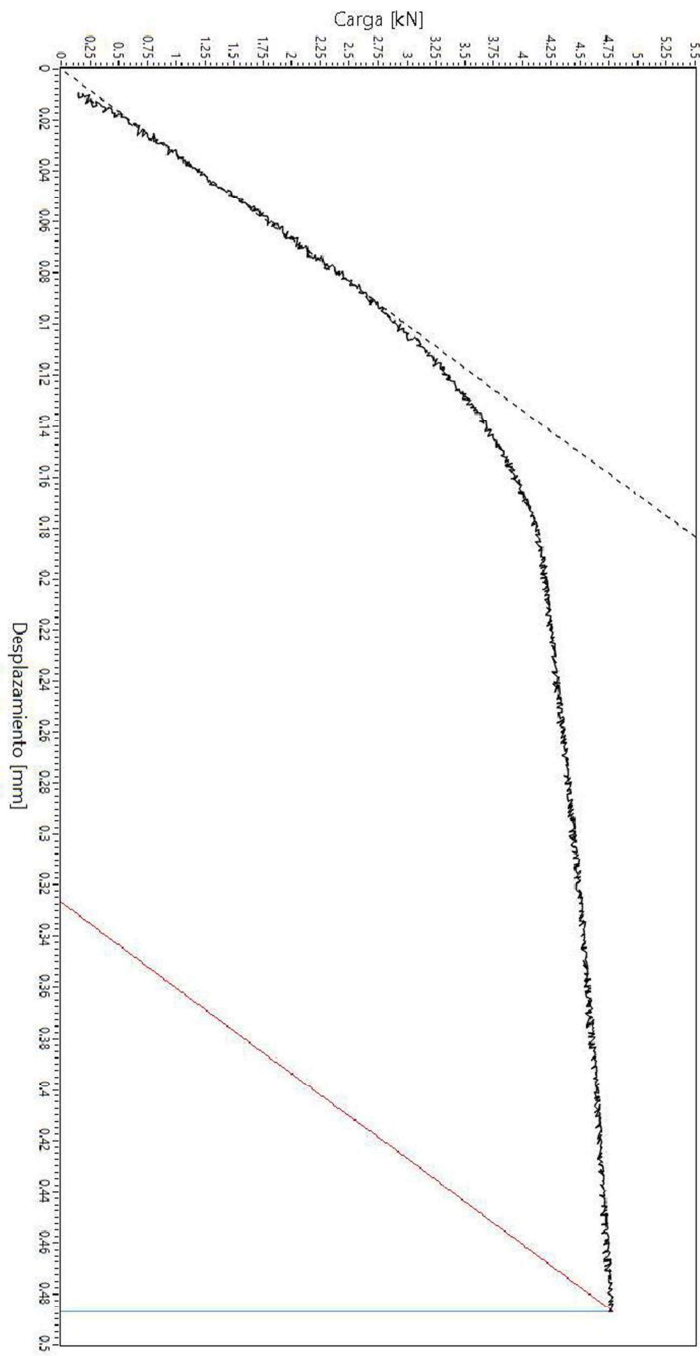


Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	15,23	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	70,74
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	85,98	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	143,78

PO-CNEAMAT\_EFE-XXX-10  
**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina



**Gráfico de ensayo**



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	13B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-105
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	19/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	567,72	B	10,01	$B_N$	8,02
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	734,27	W	9,99	Side Groove	19,8%
E [GPa]	219,2	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

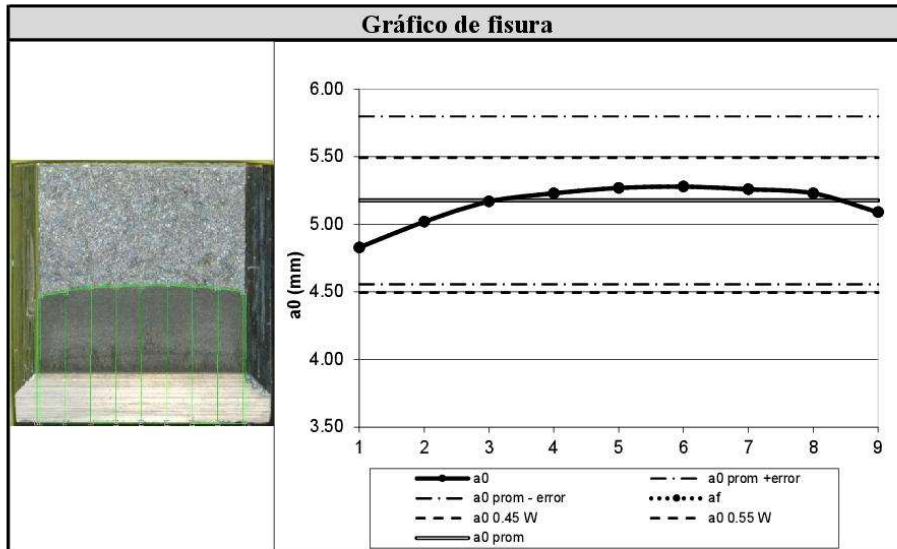
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	4.83	a <sub>f.1</sub>	4.83	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.02	a <sub>f.2</sub>	5.02	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.17	a <sub>f.3</sub>	5.17	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.23	a <sub>f.4</sub>	5.23	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.27	a <sub>f.5</sub>	5.27	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.28	a <sub>f.6</sub>	5.28	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.26	a <sub>f.7</sub>	5.26	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.23	a <sub>f.8</sub>	5.23	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.09	a <sub>f.9</sub>	5.09	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,18	a <sub>f</sub>	5,18	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	12,03	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	14,13
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	26,16	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	79,38

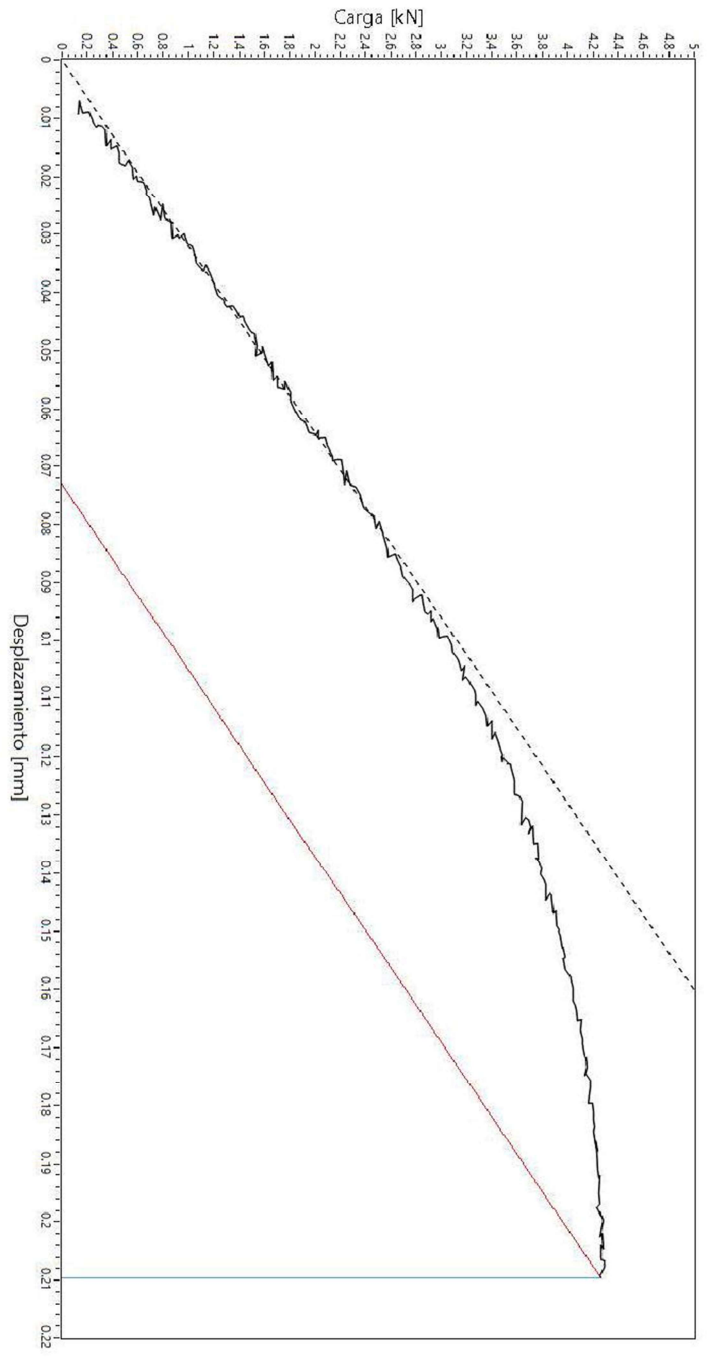


FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	13C	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-110
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	18/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	576,77	B	10,00	$B_N$	8,04
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	742,70	W	10,00	Side Groove	19,6%
E [GPa]	219,5	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

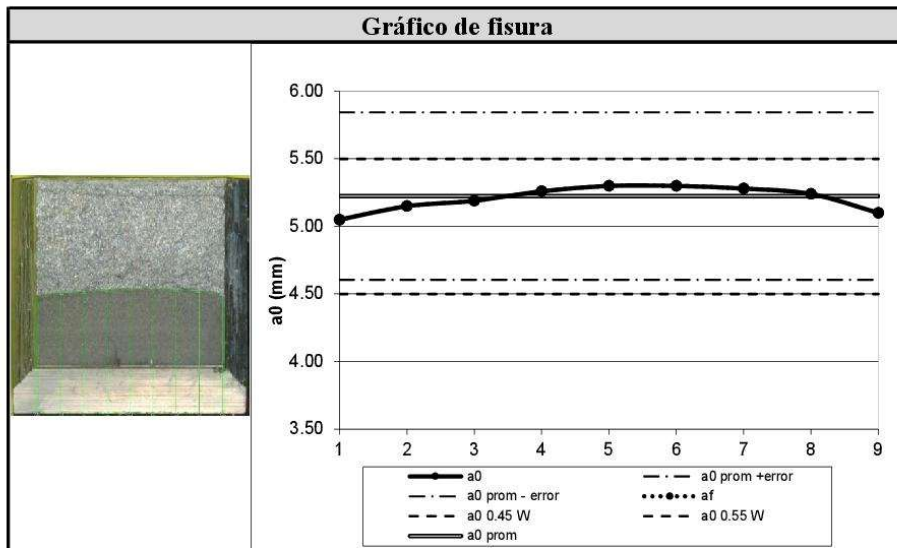
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.05	a <sub>f.1</sub>	5.05	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.15	a <sub>f.2</sub>	5.15	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.19	a <sub>f.3</sub>	5.19	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.26	a <sub>f.4</sub>	5.26	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.30	a <sub>f.5</sub>	5.30	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.30	a <sub>f.6</sub>	5.30	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.28	a <sub>f.7</sub>	5.28	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.24	a <sub>f.8</sub>	5.24	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.10	a <sub>f.9</sub>	5.10	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,22	a <sub>f</sub>	5,22	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	10,87	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	4,96
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	15,83	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	61,80



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

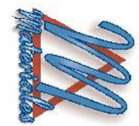
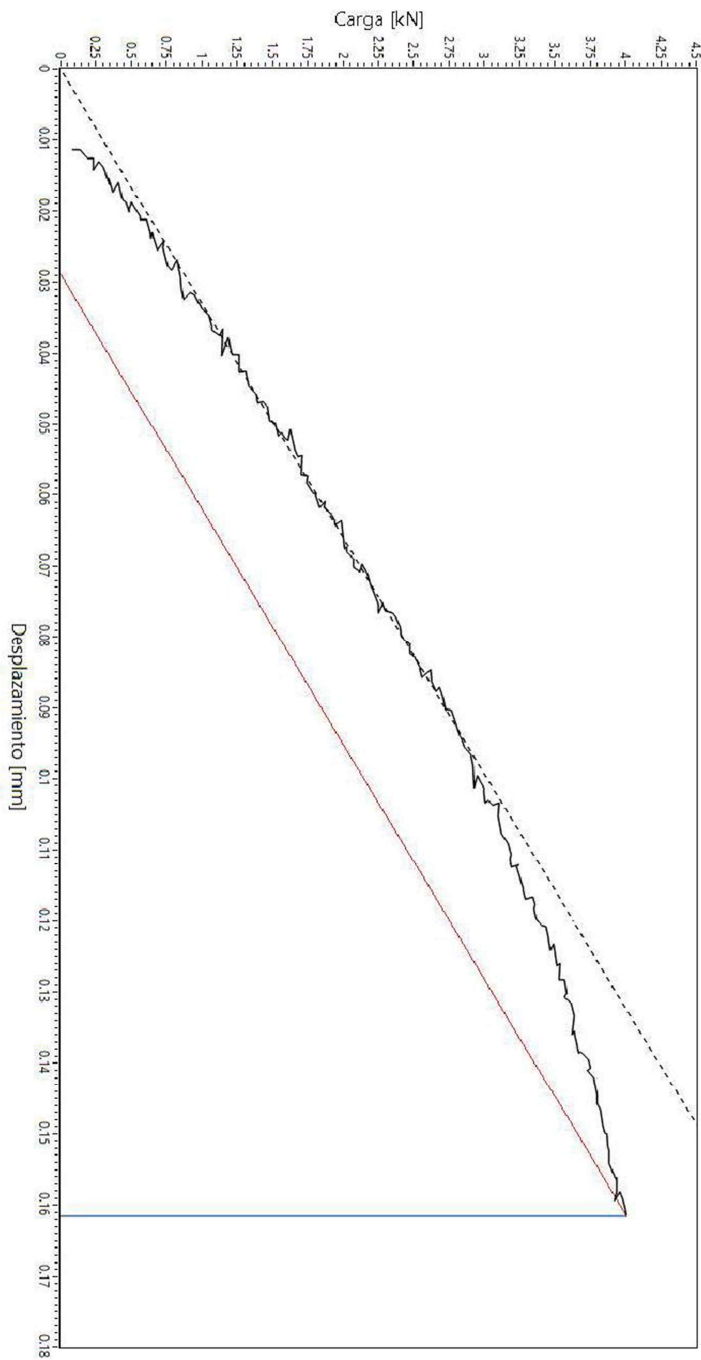


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	13D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-115
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	586,55	B	10,01	$B_N$	8,02
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	751,51	W	9,99	Side Groove	19,8%
E [GPa]	219,8	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

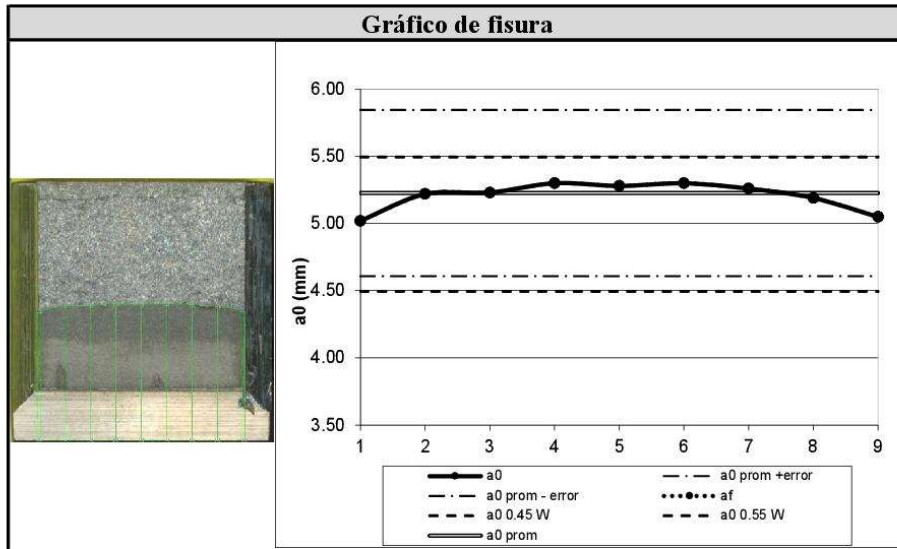
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.02	a <sub>f.1</sub>	5.02	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.22	a <sub>f.2</sub>	5.22	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.23	a <sub>f.3</sub>	5.23	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.30	a <sub>f.4</sub>	5.30	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.28	a <sub>f.5</sub>	5.28	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.30	a <sub>f.6</sub>	5.30	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.26	a <sub>f.7</sub>	5.26	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.19	a <sub>f.8</sub>	5.19	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.05	a <sub>f.9</sub>	5.05	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,23	a <sub>f</sub>	5,23	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	10,64	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	5,54
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	16,48	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	63,09



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina

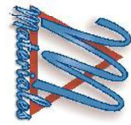
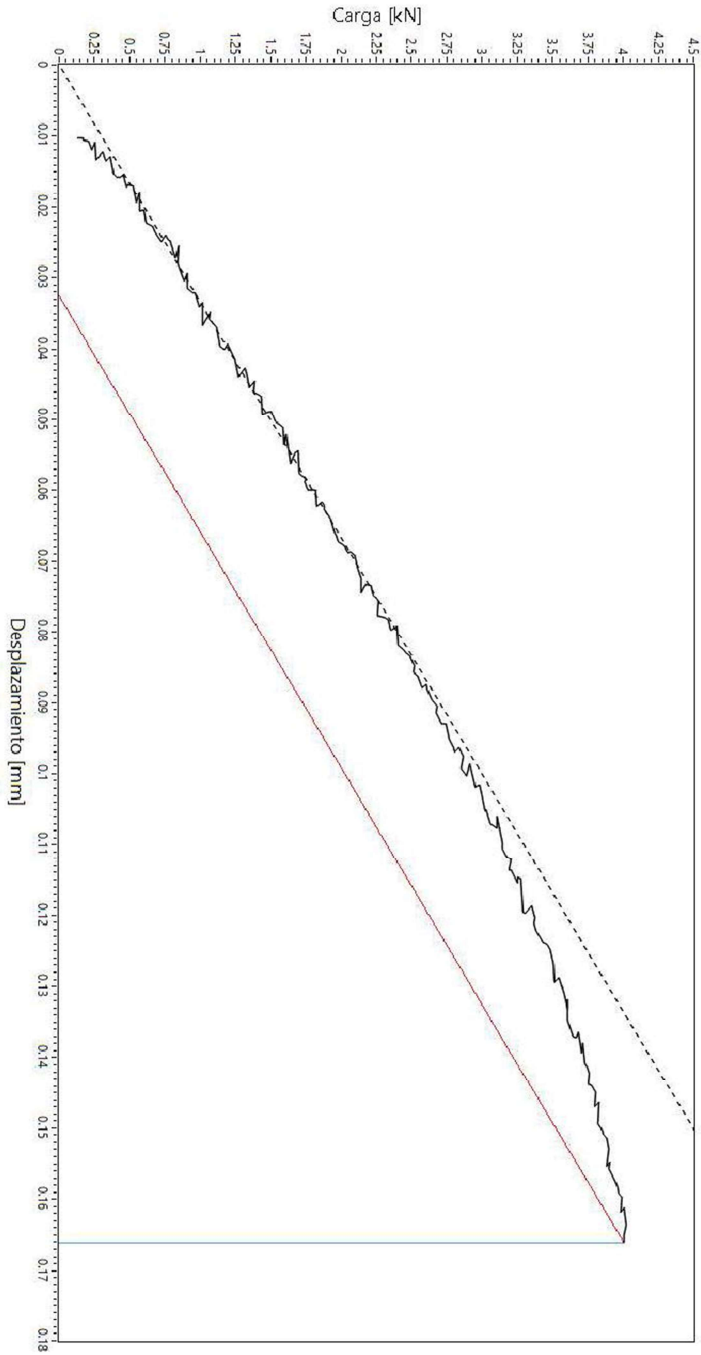


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	14B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-115
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	586,55	B	10,00	$B_N$	8,03
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	751,51	W	10,00	Side Groove	19,7%
E [GPa]	219,8	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

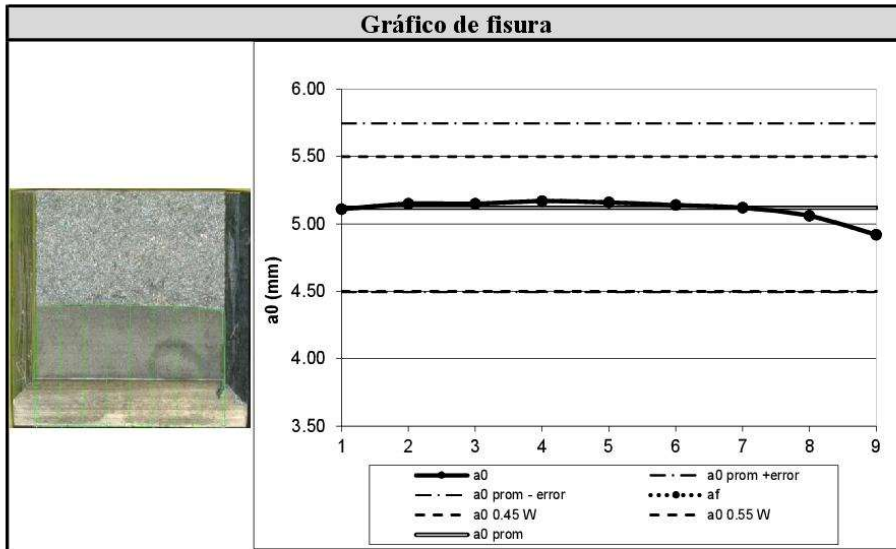
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.11	a <sub>f.1</sub>	5.11	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.15	a <sub>f.2</sub>	5.15	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.15	a <sub>f.3</sub>	5.15	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.17	a <sub>f.4</sub>	5.17	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.16	a <sub>f.5</sub>	5.16	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.14	a <sub>f.6</sub>	5.14	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.12	a <sub>f.7</sub>	5.12	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.06	a <sub>f.8</sub>	5.06	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	4.92	a <sub>f.9</sub>	4.92	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,12	a <sub>f</sub>	5,12	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	11,68	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	5,21
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	16,89	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	63,87

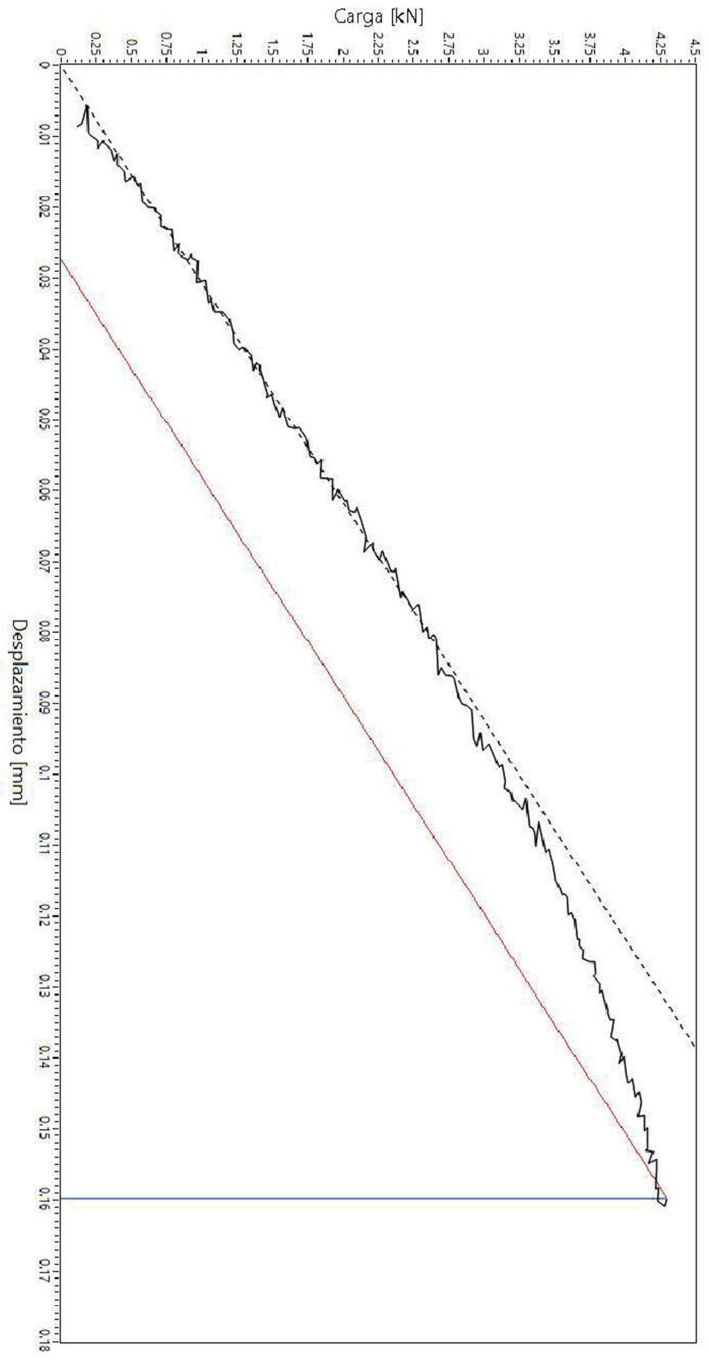


FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	16A	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-120
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	13/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,143

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	597,12	B	10,00	$B_N$	8,06
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	760,72	W	10,00	Side Groove	19,4%
E [GPa]	220,1	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

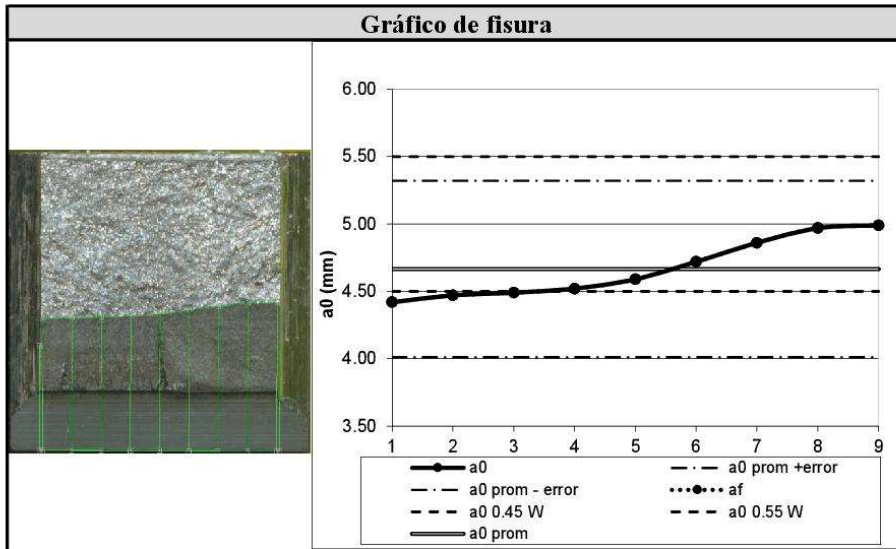
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	4,42	a <sub>f.1</sub>	4,42	Δa <sub>1</sub>	0,00
a <sub>0.2</sub>	4,47	a <sub>f.2</sub>	4,47	Δa <sub>2</sub>	0,00
a <sub>0.3</sub>	4,49	a <sub>f.3</sub>	4,49	Δa <sub>3</sub>	0,00
a <sub>0.4</sub>	4,52	a <sub>f.4</sub>	4,52	Δa <sub>4</sub>	0,00
a <sub>0.5</sub>	4,59	a <sub>f.5</sub>	4,59	Δa <sub>5</sub>	0,00
a <sub>0.6</sub>	4,72	a <sub>f.6</sub>	4,72	Δa <sub>6</sub>	0,00
a <sub>0.7</sub>	4,86	a <sub>f.7</sub>	4,86	Δa <sub>7</sub>	0,00
a <sub>0.8</sub>	4,97	a <sub>f.8</sub>	4,97	Δa <sub>8</sub>	0,00
a <sub>0.9</sub>	4,99	a <sub>f.9</sub>	4,99	Δa <sub>9</sub>	0,00
a <sub>0</sub>	4,67	a <sub>f</sub>	4,67	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	14,32	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	7,66
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	21,98	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	72,91



PC-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina

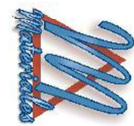
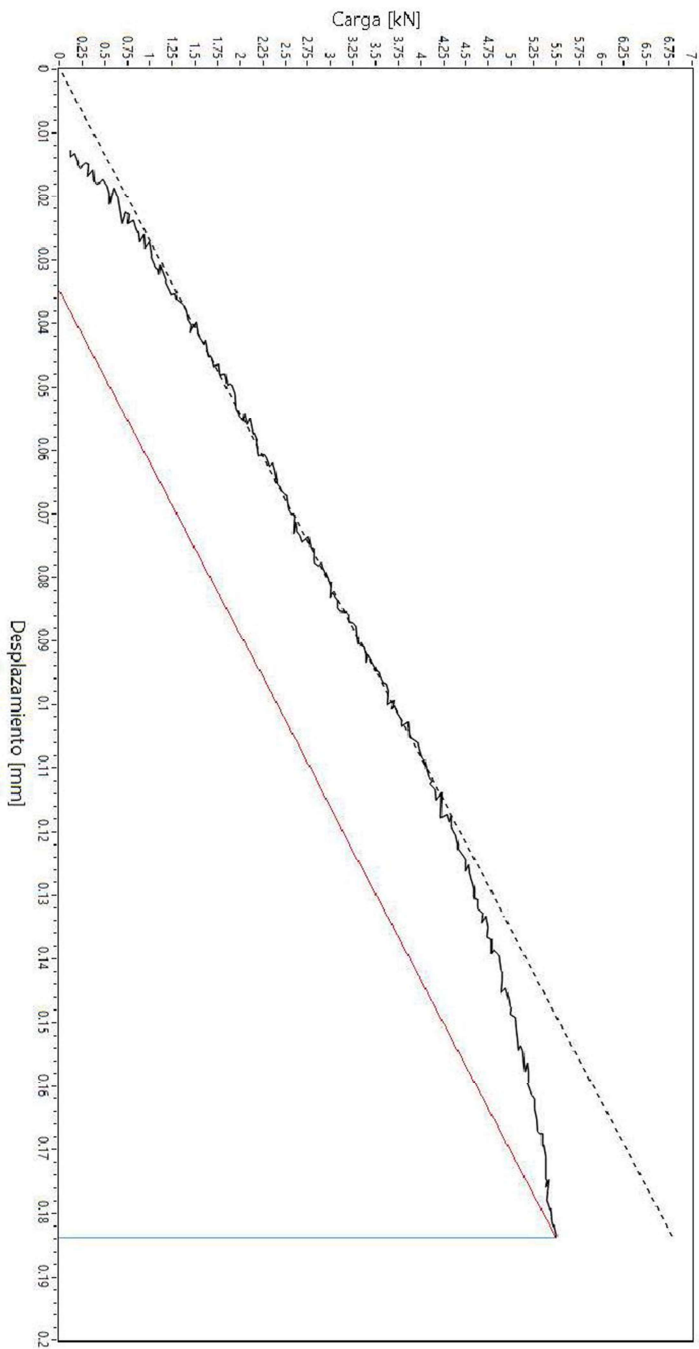


Gráfico de ensayo



- Datos
- Datos
  - Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	16B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	17/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	10,01	$B_N$	8,04
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	9,99	Side Groove	19,6%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

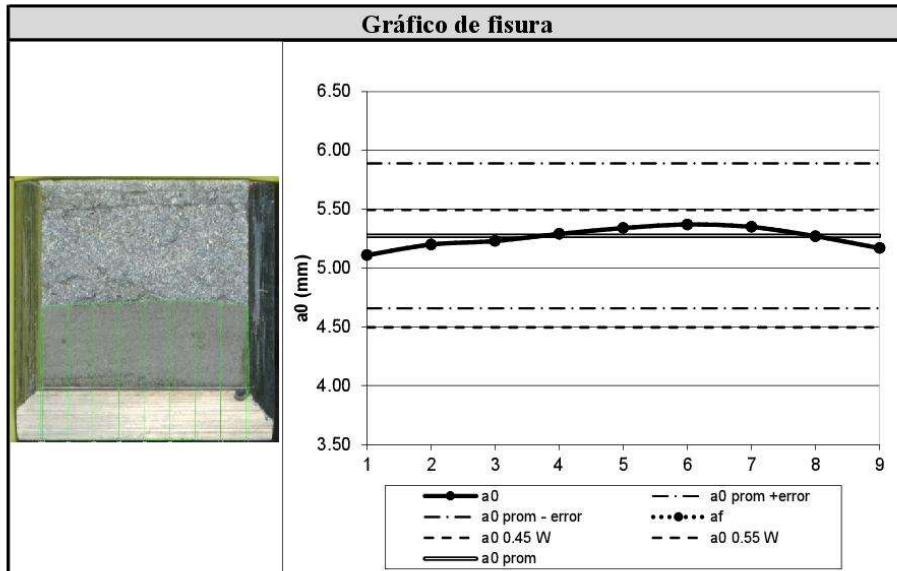
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	5.11	$a_{f.1}$	5.11	$\Delta a_1$	0.00
$a_{0.2}$	5.20	$a_{f.2}$	5.20	$\Delta a_2$	0.00
$a_{0.3}$	5.23	$a_{f.3}$	5.23	$\Delta a_3$	0.00
$a_{0.4}$	5.29	$a_{f.4}$	5.29	$\Delta a_4$	0.00
$a_{0.5}$	5.34	$a_{f.5}$	5.34	$\Delta a_5$	0.00
$a_{0.6}$	5.37	$a_{f.6}$	5.37	$\Delta a_6$	0.00
$a_{0.7}$	5.35	$a_{f.7}$	5.35	$\Delta a_7$	0.00
$a_{0.8}$	5.27	$a_{f.8}$	5.27	$\Delta a_8$	0.00
$a_{0.9}$	5.17	$a_{f.9}$	5.17	$\Delta a_9$	0.00
$a_0$	5,27	$a_f$	5,27	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	11,71	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	18,63
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	30,35	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	85,42



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

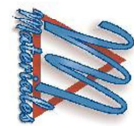
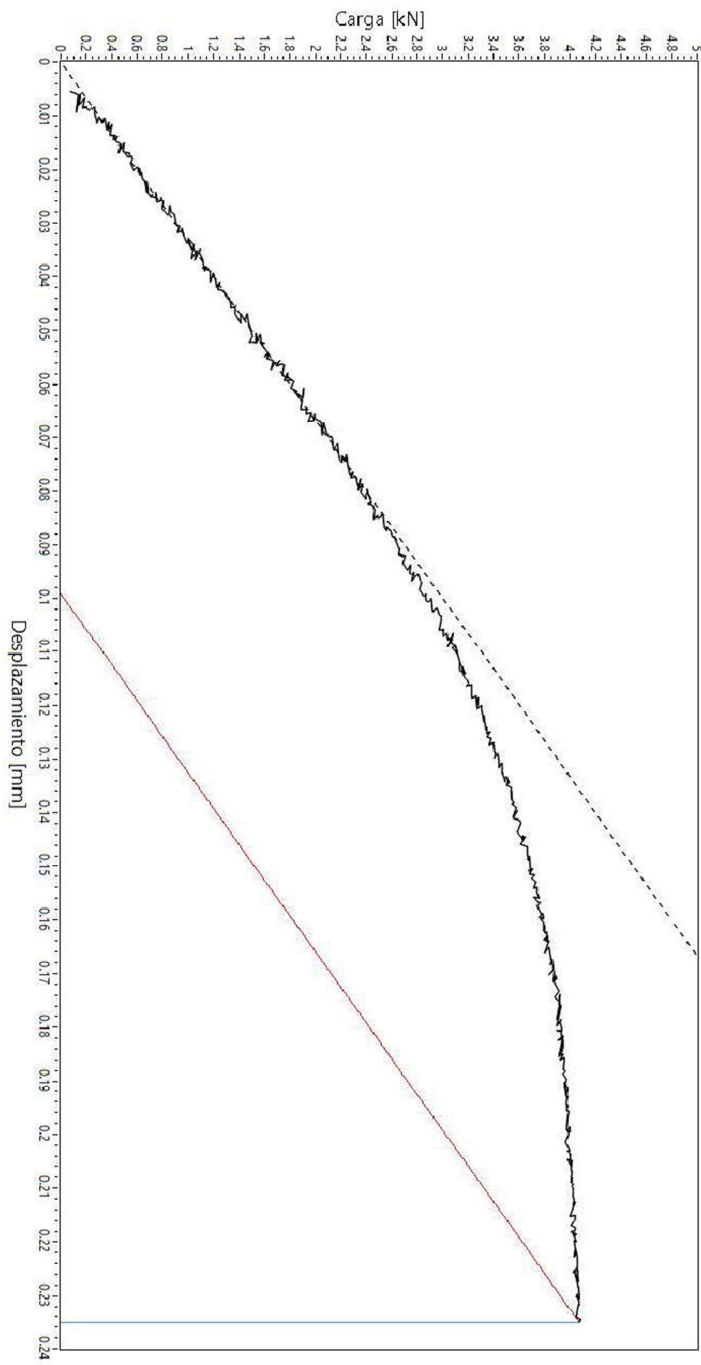


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	16C	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-110
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	24/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	576,77	B	10,00	$B_N$	8,04
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	742,70	W	10,00	Side Groove	19,6%
E [GPa]	219,5	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

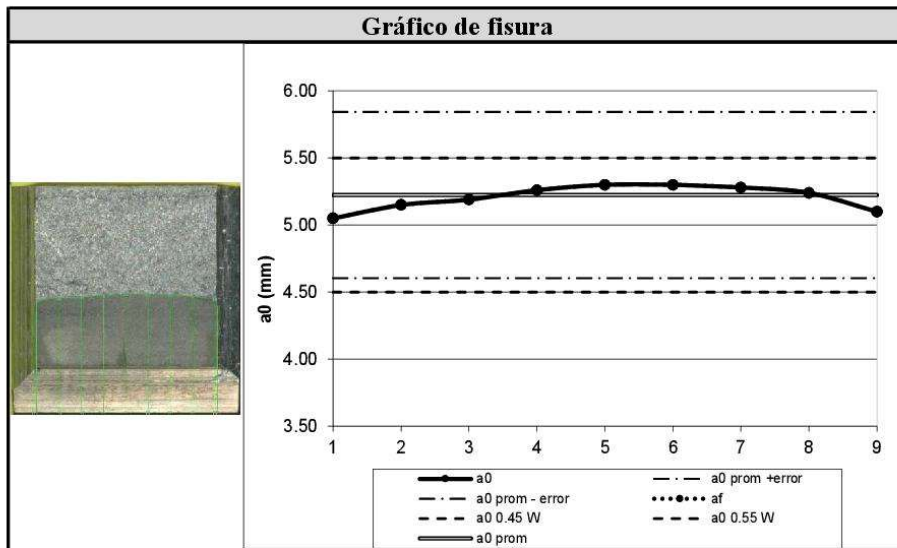
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.05	a <sub>f.1</sub>	5.05	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.15	a <sub>f.2</sub>	5.15	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.19	a <sub>f.3</sub>	5.19	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.26	a <sub>f.4</sub>	5.26	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.30	a <sub>f.5</sub>	5.30	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.30	a <sub>f.6</sub>	5.30	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.28	a <sub>f.7</sub>	5.28	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.24	a <sub>f.8</sub>	5.24	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.10	a <sub>f.9</sub>	5.10	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,22	a <sub>f</sub>	5,22	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	13,28	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	13,12
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	26,40	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	79,80



FO-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

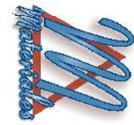
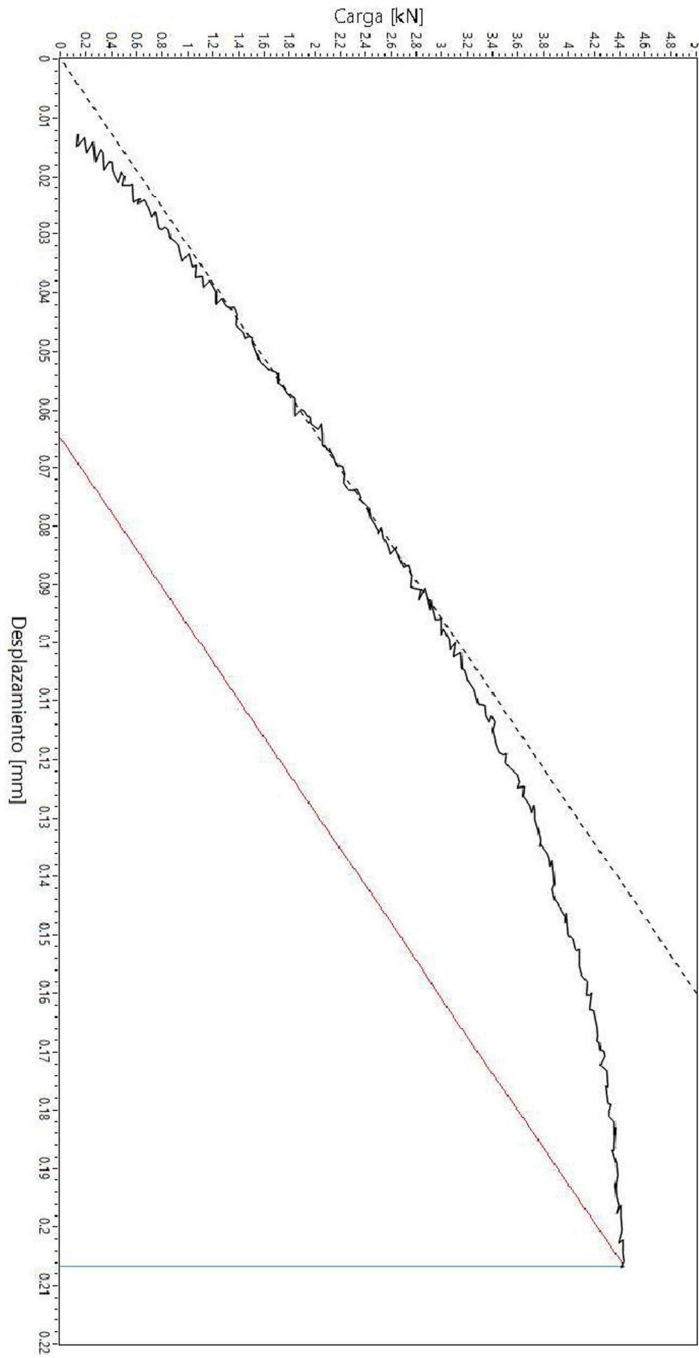


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	16D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-120
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	25/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,143

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	597,12	B	10,00	$B_N$	8,10
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	760,72	W	10,00	Side Groove	19,0%
E [GPa]	220,1	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

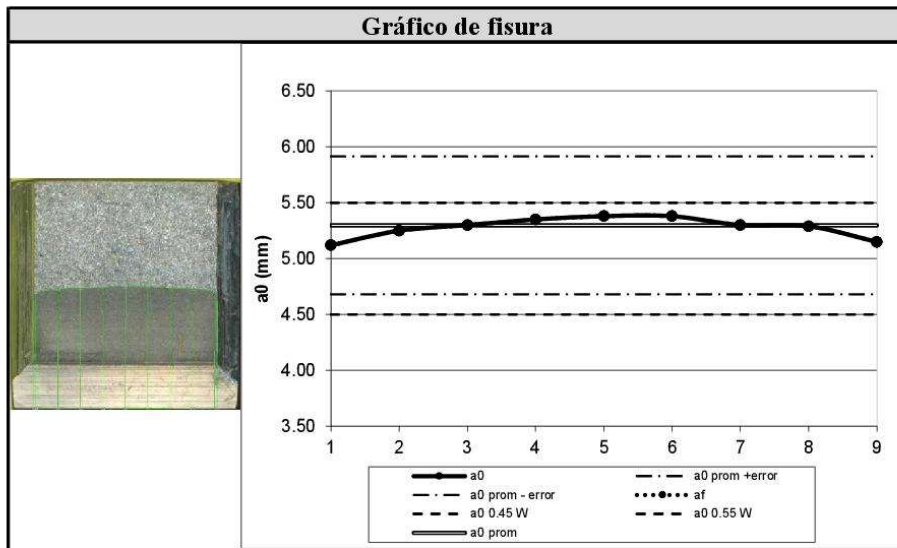
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.12	a <sub>f.1</sub>	5.12	Δa <sub>1</sub>	0,00
a <sub>0.2</sub>	5.25	a <sub>f.2</sub>	5.25	Δa <sub>2</sub>	0,00
a <sub>0.3</sub>	5.30	a <sub>f.3</sub>	5.30	Δa <sub>3</sub>	0,00
a <sub>0.4</sub>	5.35	a <sub>f.4</sub>	5.35	Δa <sub>4</sub>	0,00
a <sub>0.5</sub>	5.38	a <sub>f.5</sub>	5.38	Δa <sub>5</sub>	0,00
a <sub>0.6</sub>	5.38	a <sub>f.6</sub>	5.38	Δa <sub>6</sub>	0,00
a <sub>0.7</sub>	5.30	a <sub>f.7</sub>	5.30	Δa <sub>7</sub>	0,00
a <sub>0.8</sub>	5.29	a <sub>f.8</sub>	5.29	Δa <sub>8</sub>	0,00
a <sub>0.9</sub>	5.15	a <sub>f.9</sub>	5.15	Δa <sub>9</sub>	0,00
a <sub>0</sub>	5,30	a <sub>f</sub>	5,30	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	7,98	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	0,67
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	8,66	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	45,76



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

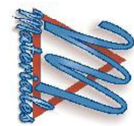
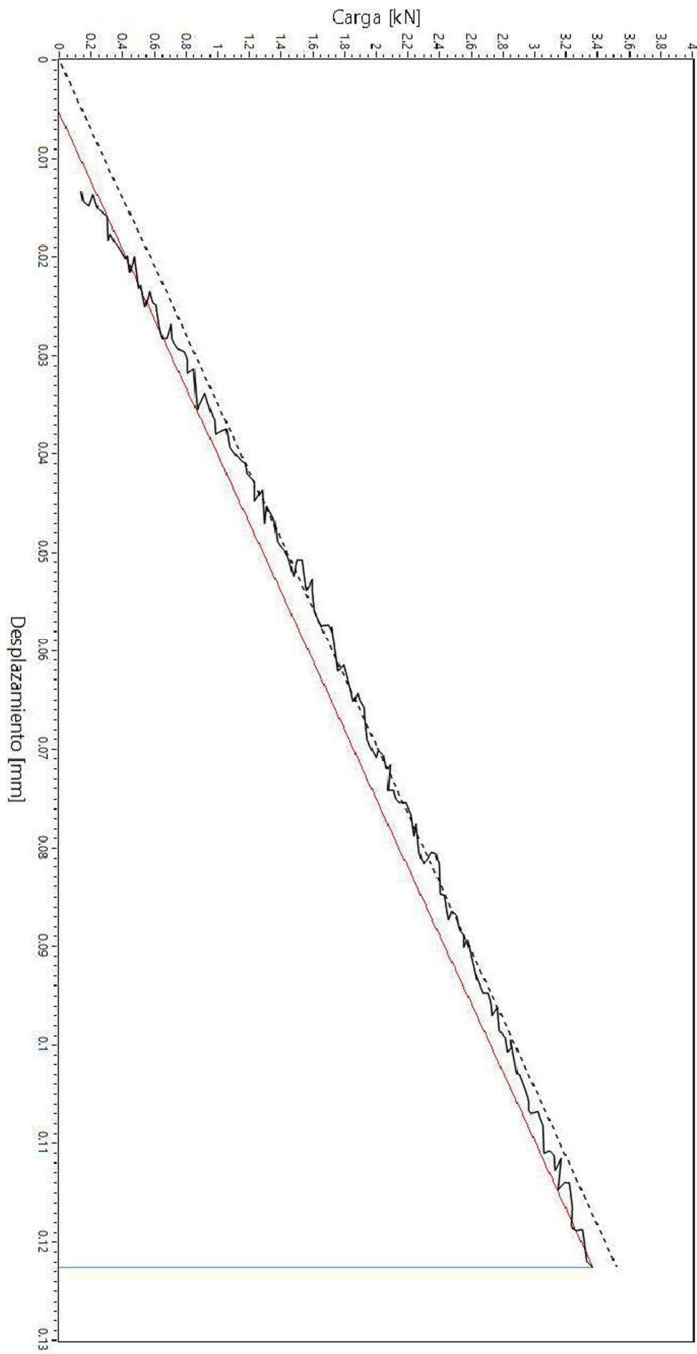


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	18A	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-120
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	14/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,143

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	597,12	B	10,00	$B_N$	8,09
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	760,72	W	10,00	Side Groove	19,1%
E [GPa]	220,1	v	0,3	S	$a_{N nominal}(entalla)$ 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

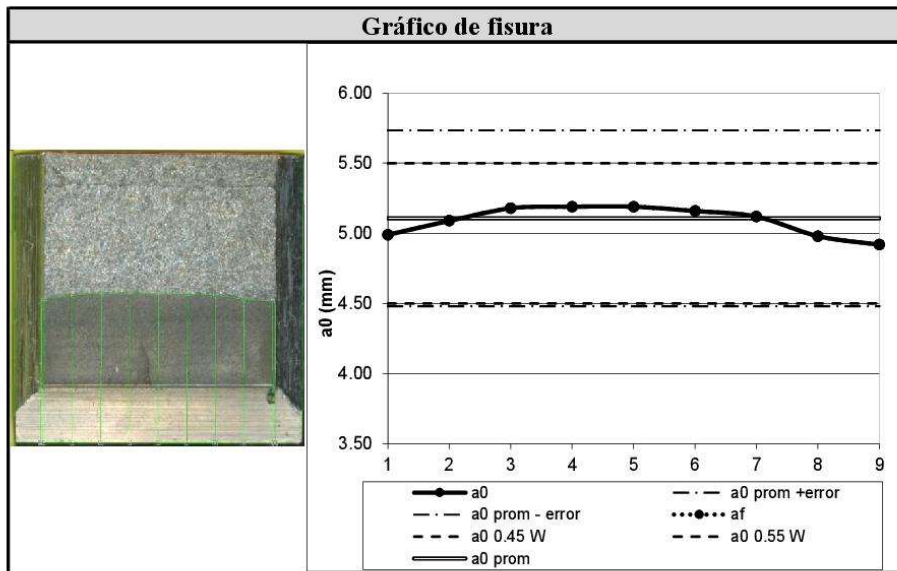
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	4,99	$a_{f.1}$	4,99	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	5,09	$a_{f.2}$	5,09	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	5,18	$a_{f.3}$	5,18	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	5,19	$a_{f.4}$	5,19	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	5,19	$a_{f.5}$	5,19	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	5,16	$a_{f.6}$	5,16	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	5,12	$a_{f.7}$	5,12	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	4,98	$a_{f.8}$	4,98	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	4,92	$a_{f.9}$	4,92	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	5,11	$a_f$	5,11	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	6,17	$J_p$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	0,02
$J_c$ [ $\text{kJ}/\text{m}^2$ ]	6,19	$K_{Jc}$ [ $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ]	38,68

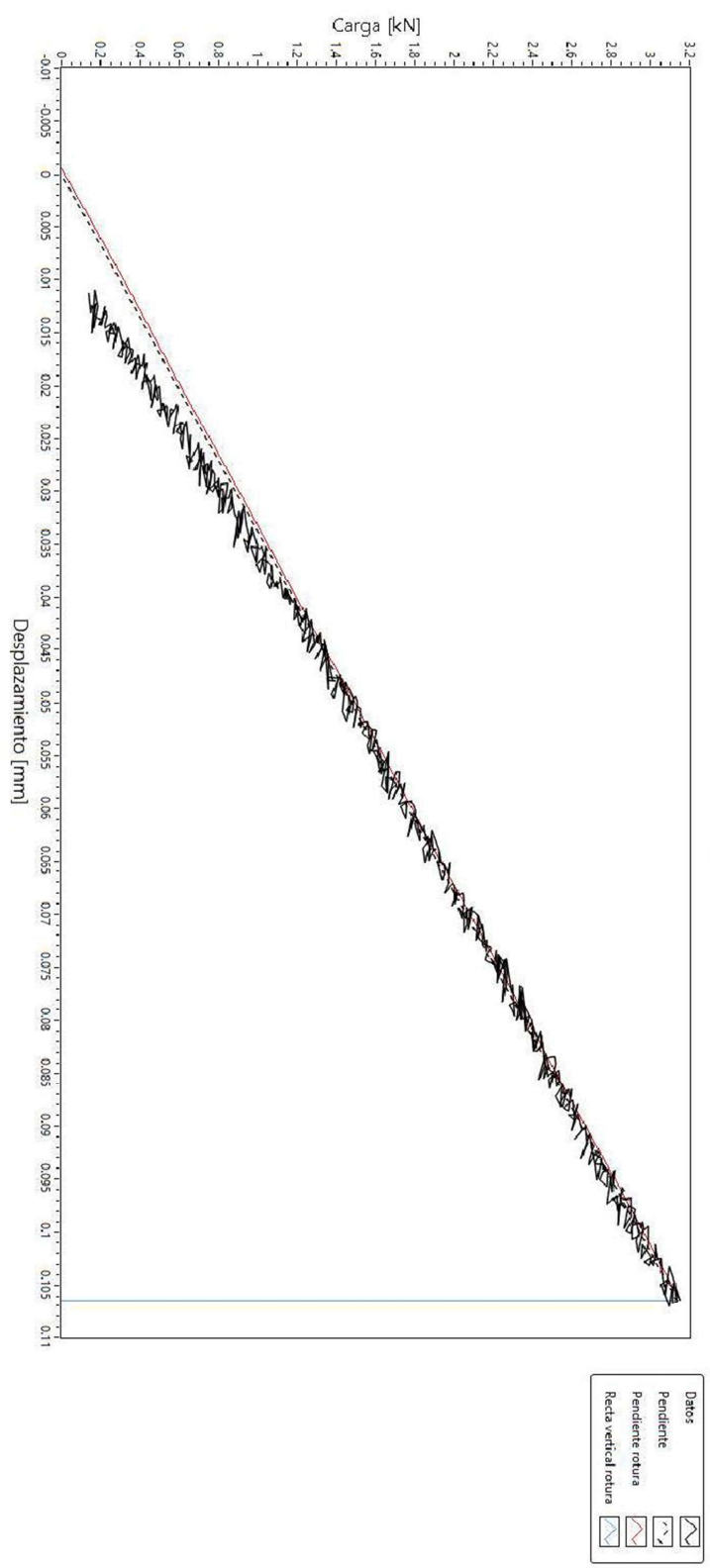


FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina



### Informe de ensayo $K_{Jc}$

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	18B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-105
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	19/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	567,72	B	10,01	$B_N$	8,04
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	734,27	W	10,00	Side Groove	19,6%
E [GPa]	219,2	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

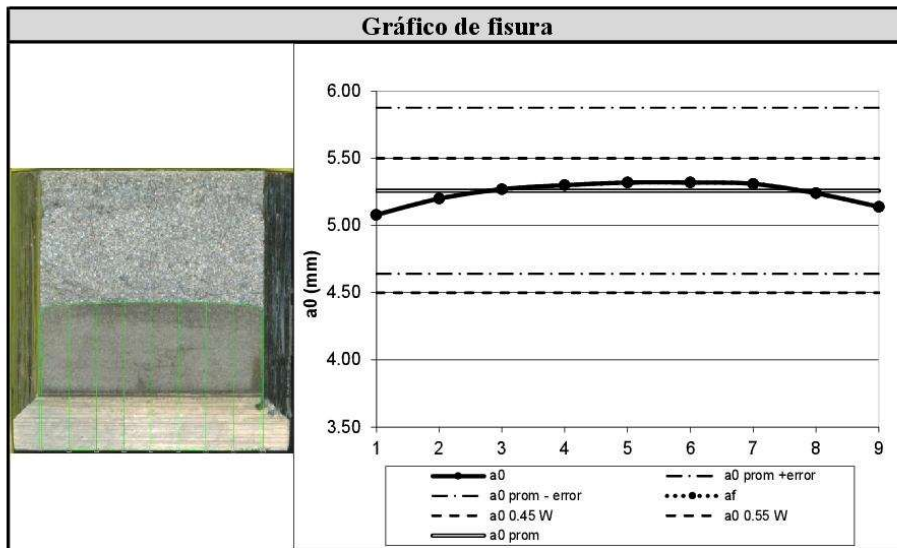
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.08	a <sub>f.1</sub>	5.08	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.20	a <sub>f.2</sub>	5.20	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.27	a <sub>f.3</sub>	5.27	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.30	a <sub>f.4</sub>	5.30	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.32	a <sub>f.5</sub>	5.32	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.32	a <sub>f.6</sub>	5.32	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.31	a <sub>f.7</sub>	5.31	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.24	a <sub>f.8</sub>	5.24	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.14	a <sub>f.9</sub>	5.14	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,26	a <sub>f</sub>	5,26	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	7,81	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	1,61
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	9,42	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	47,63



PC-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

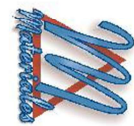
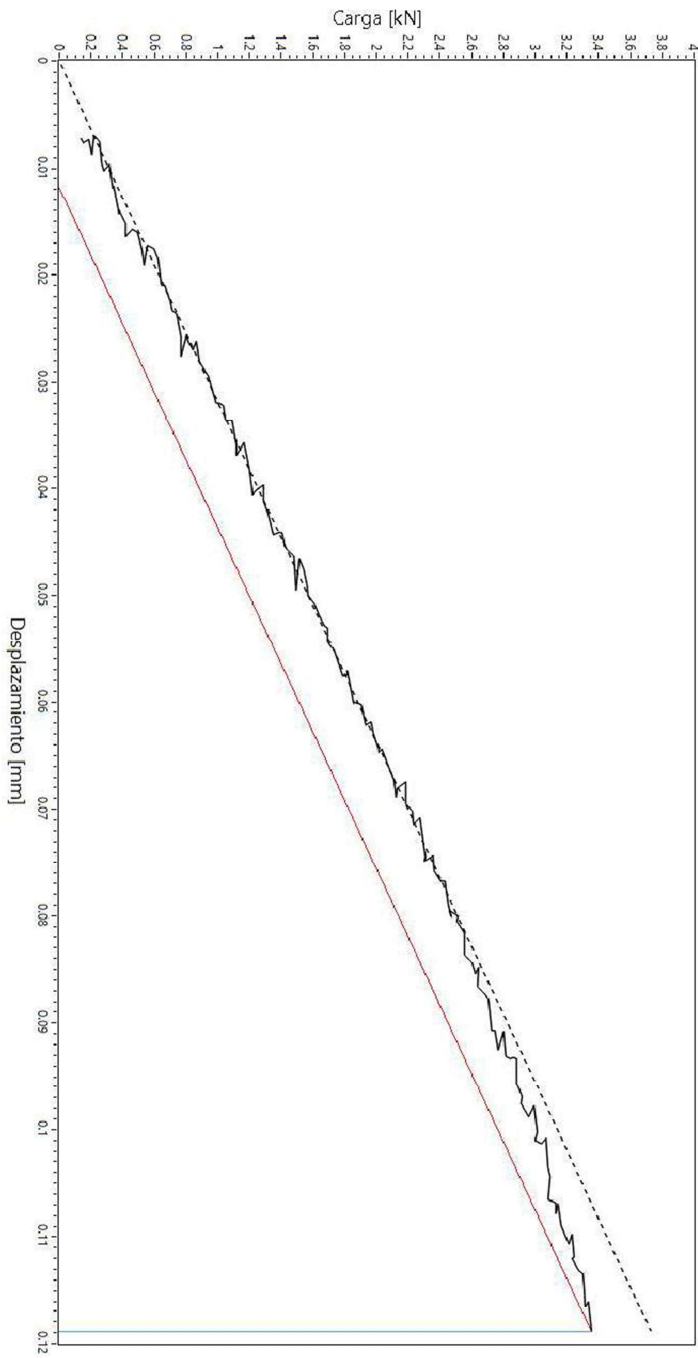


Gráfico de ensayo



- Datos
- Datos
  - Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rectura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	18C	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	24/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	10,00	$B_N$	8,03
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	10,00	Side Groove	19,7%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

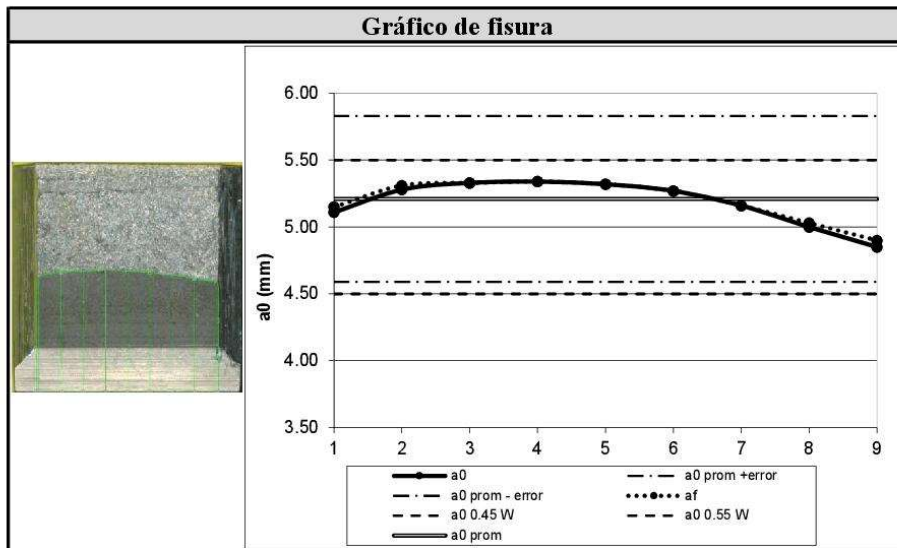
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.11	a <sub>f.1</sub>	5.15	Δa <sub>1</sub>	0.04
a <sub>0.2</sub>	5.28	a <sub>f.2</sub>	5.31	Δa <sub>2</sub>	0.03
a <sub>0.3</sub>	5.33	a <sub>f.3</sub>	5.33	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.34	a <sub>f.4</sub>	5.34	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.32	a <sub>f.5</sub>	5.32	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.27	a <sub>f.6</sub>	5.27	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.16	a <sub>f.7</sub>	5.16	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.00	a <sub>f.8</sub>	5.03	Δa <sub>8</sub>	0.03
a <sub>0.9</sub>	4.85	a <sub>f.9</sub>	4.90	Δa <sub>9</sub>	0.05
a <sub>0</sub>	5,21	a <sub>f</sub>	5,22	Δa	0,01



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	13,14	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	35,17
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	48,30	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	107,77



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

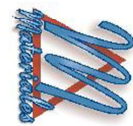
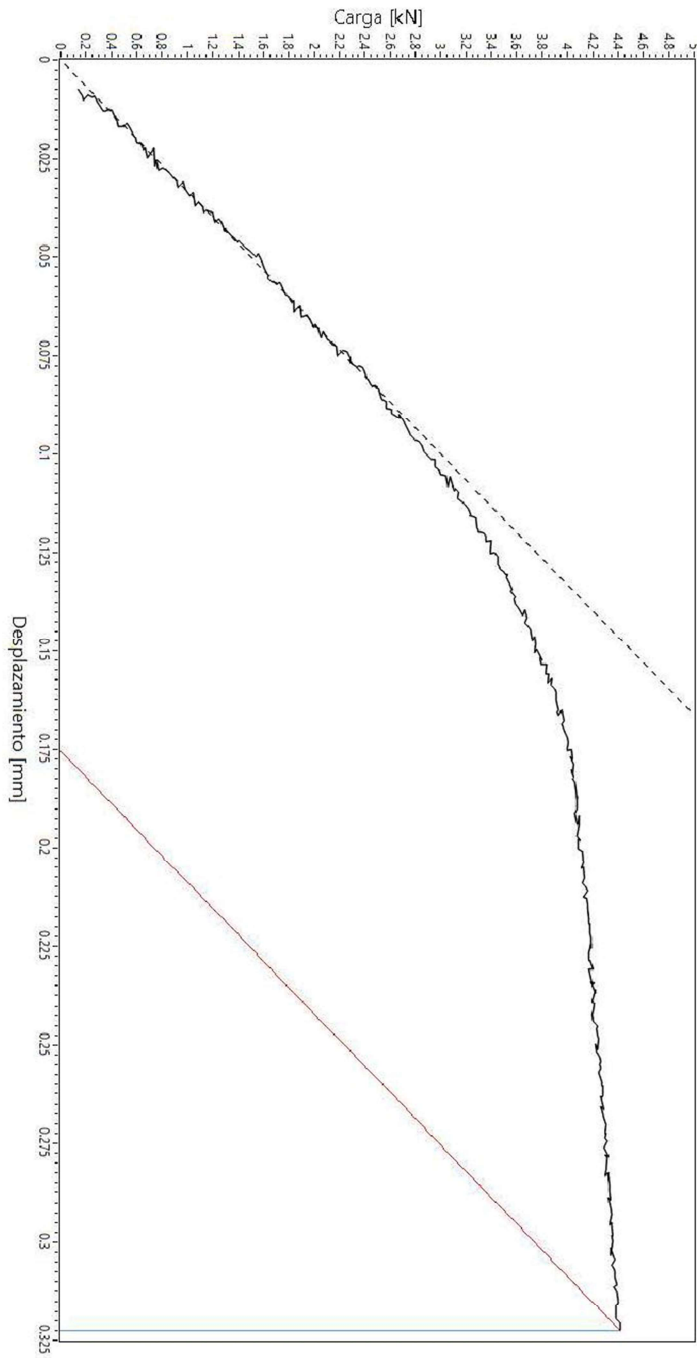


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	18D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-115
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	586,55	B	10,00	$B_N$	8,02
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	751,51	W	9,99	Side Groove	19,8%
E [GPa]	219,8	v	0,3	S	40,00
				$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

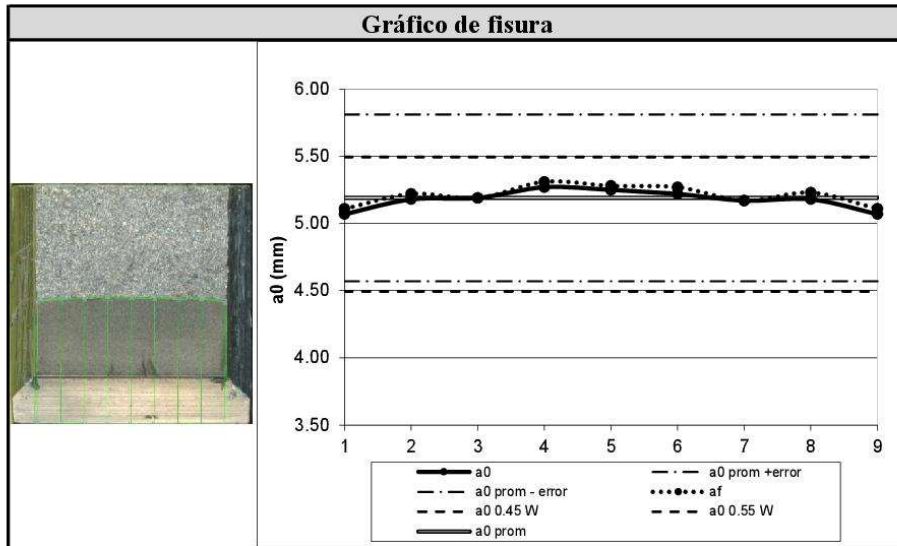
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.07	a <sub>f.1</sub>	5.11	Δa <sub>1</sub>	0.04
a <sub>0.2</sub>	5.18	a <sub>f.2</sub>	5.22	Δa <sub>2</sub>	0.04
a <sub>0.3</sub>	5.19	a <sub>f.3</sub>	5.19	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.27	a <sub>f.4</sub>	5.31	Δa <sub>4</sub>	0.04
a <sub>0.5</sub>	5.25	a <sub>f.5</sub>	5.28	Δa <sub>5</sub>	0.03
a <sub>0.6</sub>	5.22	a <sub>f.6</sub>	5.27	Δa <sub>6</sub>	0.05
a <sub>0.7</sub>	5.17	a <sub>f.7</sub>	5.17	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.18	a <sub>f.8</sub>	5.23	Δa <sub>8</sub>	0.05
a <sub>0.9</sub>	5.07	a <sub>f.9</sub>	5.11	Δa <sub>9</sub>	0.04
a <sub>0</sub>	5,19	a <sub>f</sub>	5,22	Δa	0,03



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	14,88	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	47,69
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	62,56	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	122,93

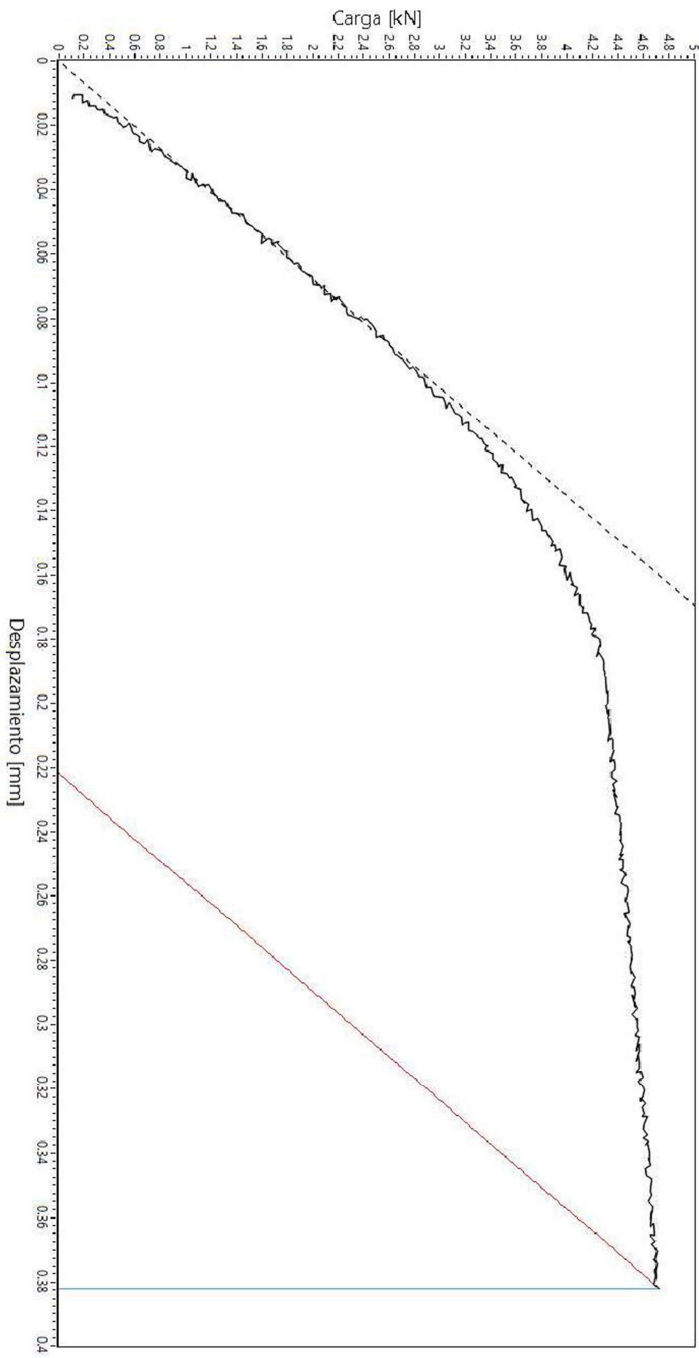


FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos:
- Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	19A	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-110
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	18/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	576,77	B	10,00	$B_N$	8,00
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	742,70	W	9,99	Side Groove	20,0%
E [GPa]	219,5	v	0,3	S	40,00
				$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

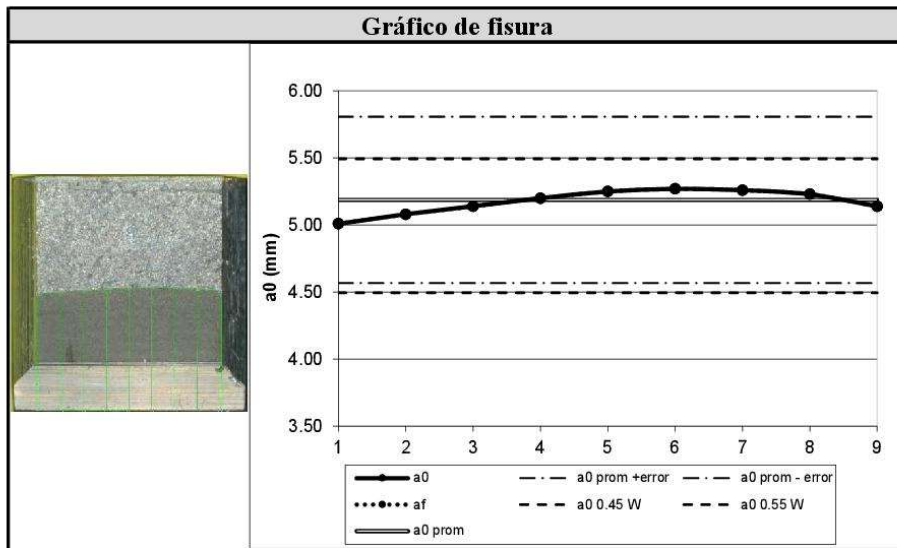
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.01	a <sub>f.1</sub>	5.01	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.08	a <sub>f.2</sub>	5.08	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.14	a <sub>f.3</sub>	5.14	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.20	a <sub>f.4</sub>	5.20	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.25	a <sub>f.5</sub>	5.25	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.27	a <sub>f.6</sub>	5.27	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.26	a <sub>f.7</sub>	5.26	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.23	a <sub>f.8</sub>	5.23	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.14	a <sub>f.9</sub>	5.14	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,19	a <sub>f</sub>	5,19	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	13,18	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	23,76
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	36,94	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	94,40



FO-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

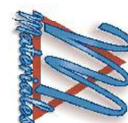
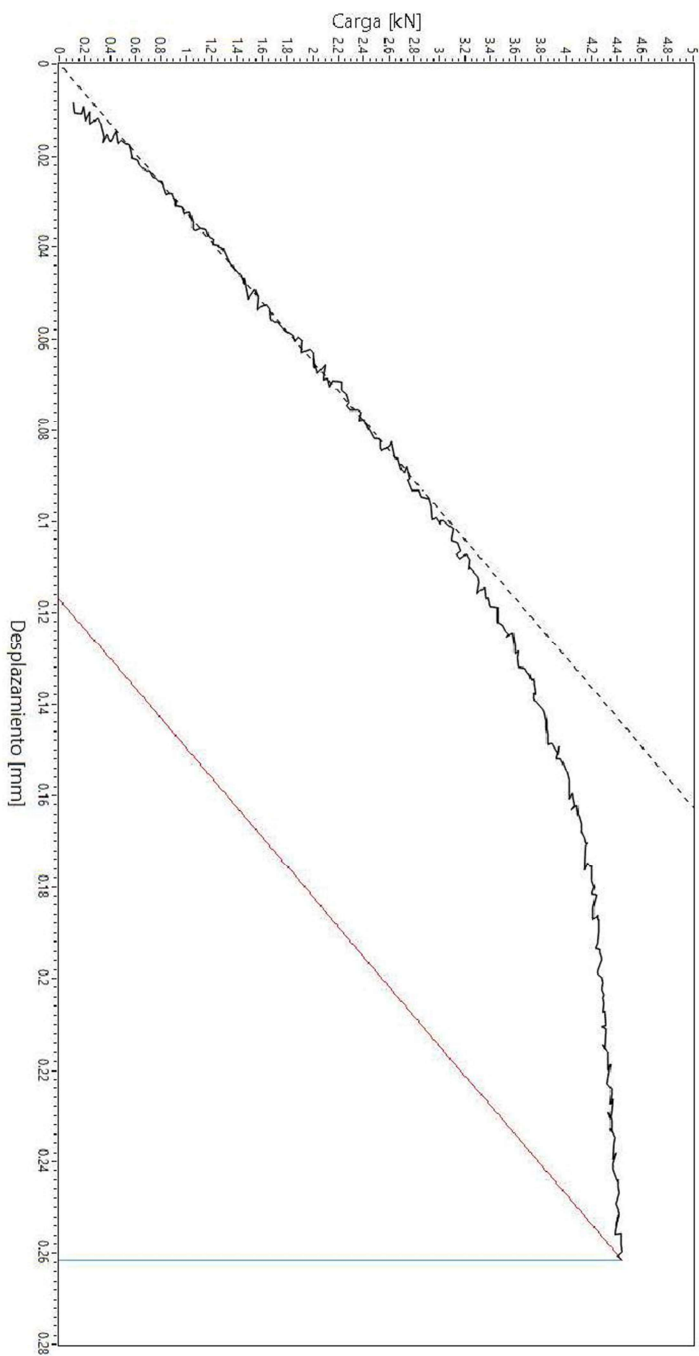


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	19B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-115
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	586,55	B	10,00	$B_N$	8,06
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	751,51	W	9,99	Side Groove	19,4%
E [GPa]	219,8	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

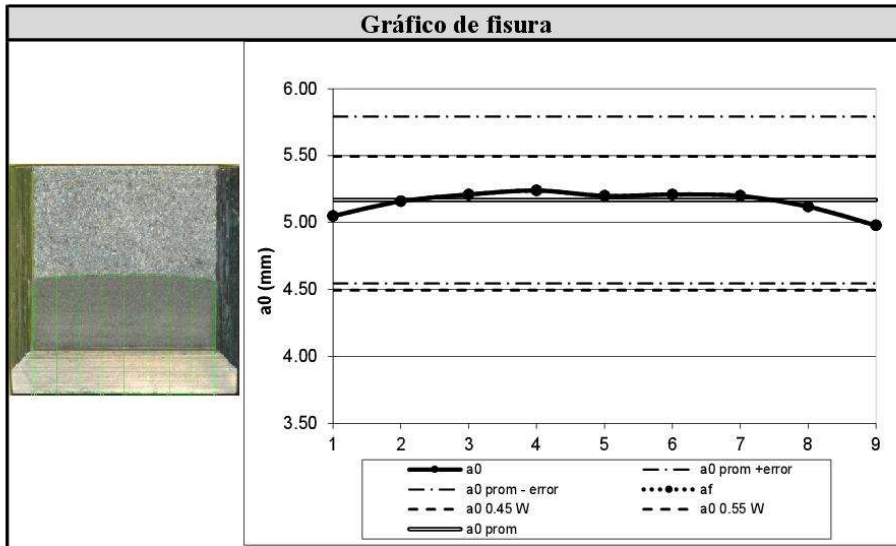
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.05	a <sub>f.1</sub>	5.05	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.16	a <sub>f.2</sub>	5.16	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.21	a <sub>f.3</sub>	5.21	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.24	a <sub>f.4</sub>	5.24	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.20	a <sub>f.5</sub>	5.20	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.21	a <sub>f.6</sub>	5.21	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.20	a <sub>f.7</sub>	5.20	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.12	a <sub>f.8</sub>	5.12	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	4.98	a <sub>f.9</sub>	4.98	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,17	a <sub>f</sub>	5,17	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	11,67	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	6,54
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	18,20	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	66,31



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina

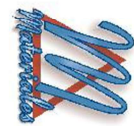
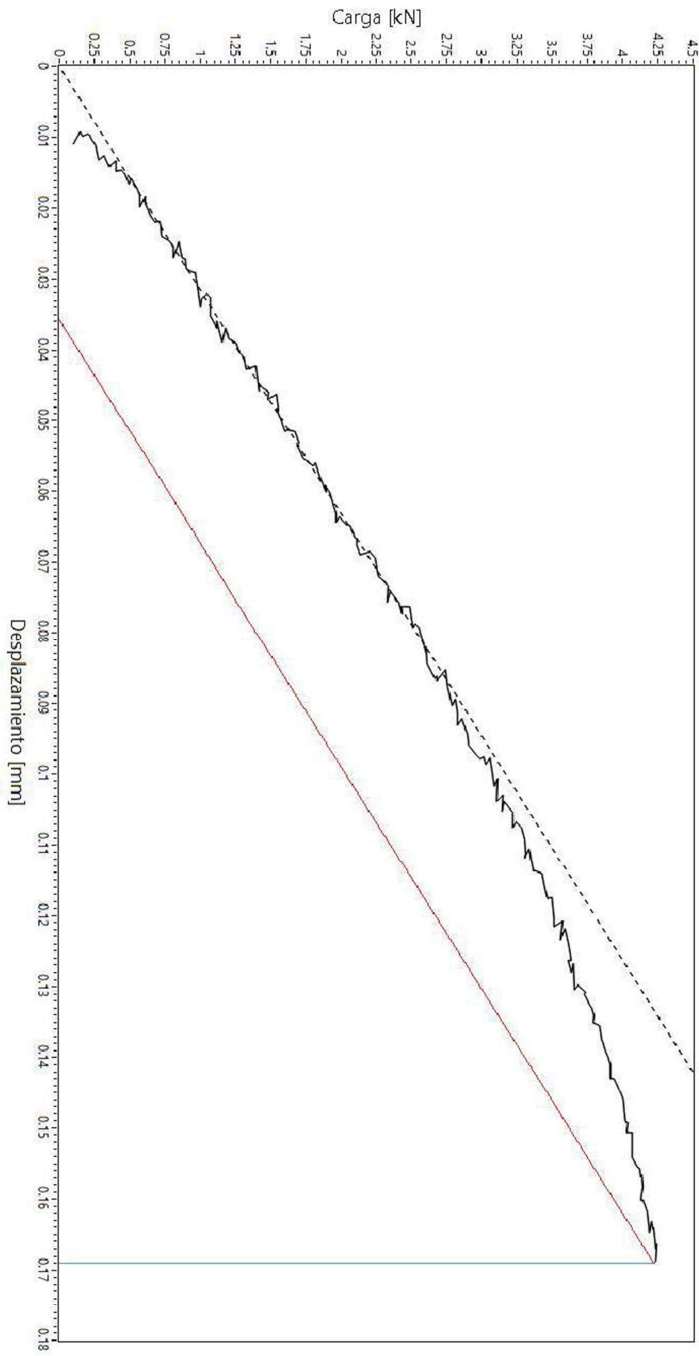


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	19C	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-105
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	24/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	567,72	B	10,00	$B_N$	8,06
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	734,27	W	10,00	Side Groove	19,4%
E [GPa]	219,2	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

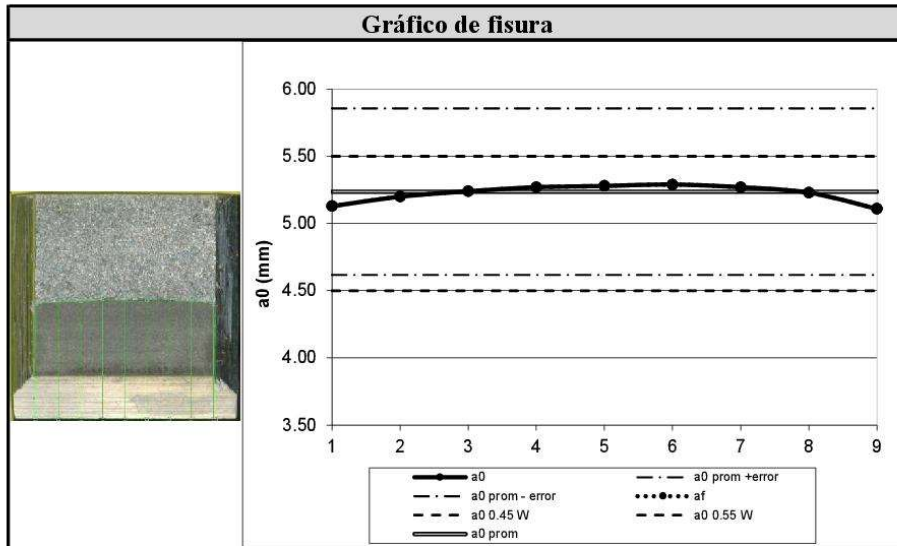
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.13	a <sub>f.1</sub>	5.13	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.20	a <sub>f.2</sub>	5.20	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.24	a <sub>f.3</sub>	5.24	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.27	a <sub>f.4</sub>	5.27	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.28	a <sub>f.5</sub>	5.28	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.29	a <sub>f.6</sub>	5.29	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.27	a <sub>f.7</sub>	5.27	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.23	a <sub>f.8</sub>	5.23	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.11	a <sub>f.9</sub>	5.11	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,24	a <sub>f</sub>	5,24	Δa	0,00



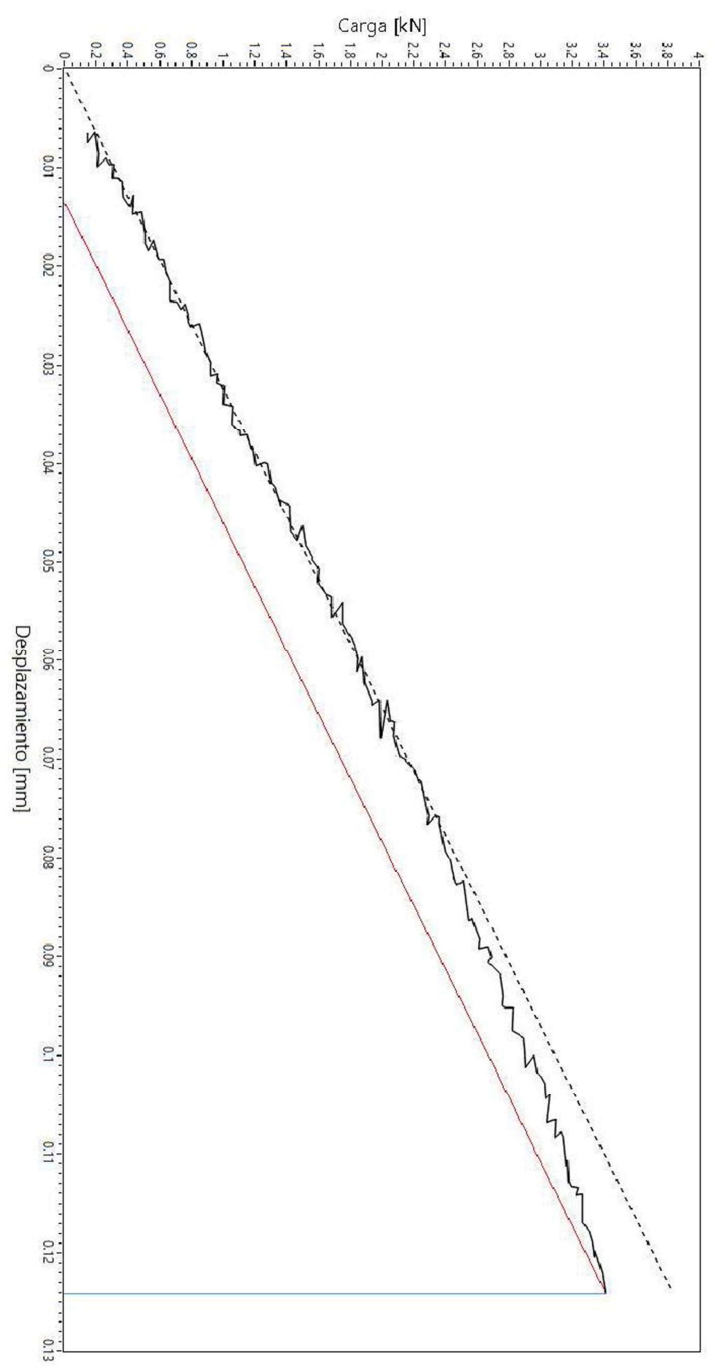
Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	7,93	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	1,66
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	9,59	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	48,07



PO-CNEAMAT\_EFE-XXX-10  
**GERENCIA DE MATERIALES**  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina



Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	19D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	17/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	10,00	$B_N$	8,03
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	9,99	Side Groove	19,7%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

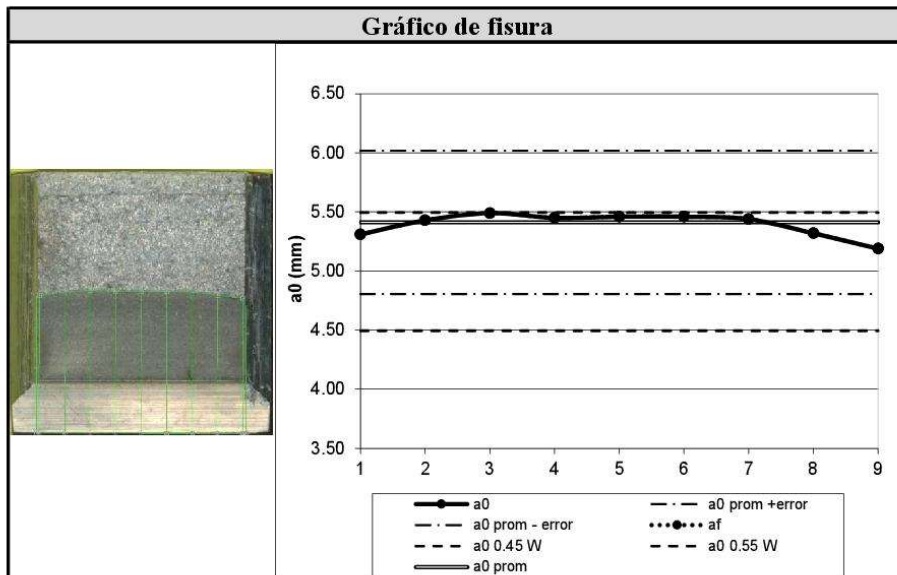
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	5.31	$a_{f.1}$	5.31	$\Delta a_1$	0.00
$a_{0.2}$	5.43	$a_{f.2}$	5.43	$\Delta a_2$	0.00
$a_{0.3}$	5.49	$a_{f.3}$	5.49	$\Delta a_3$	0.00
$a_{0.4}$	5.45	$a_{f.4}$	5.45	$\Delta a_4$	0.00
$a_{0.5}$	5.46	$a_{f.5}$	5.46	$\Delta a_5$	0.00
$a_{0.6}$	5.46	$a_{f.6}$	5.46	$\Delta a_6$	0.00
$a_{0.7}$	5.44	$a_{f.7}$	5.44	$\Delta a_7$	0.00
$a_{0.8}$	5.32	$a_{f.8}$	5.32	$\Delta a_8$	0.00
$a_{0.9}$	5.19	$a_{f.9}$	5.19	$\Delta a_9$	0.00
$a_0$	5,41	$a_f$	5,41	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	12,70	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	32,34
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	45,04	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	104,06



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

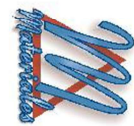
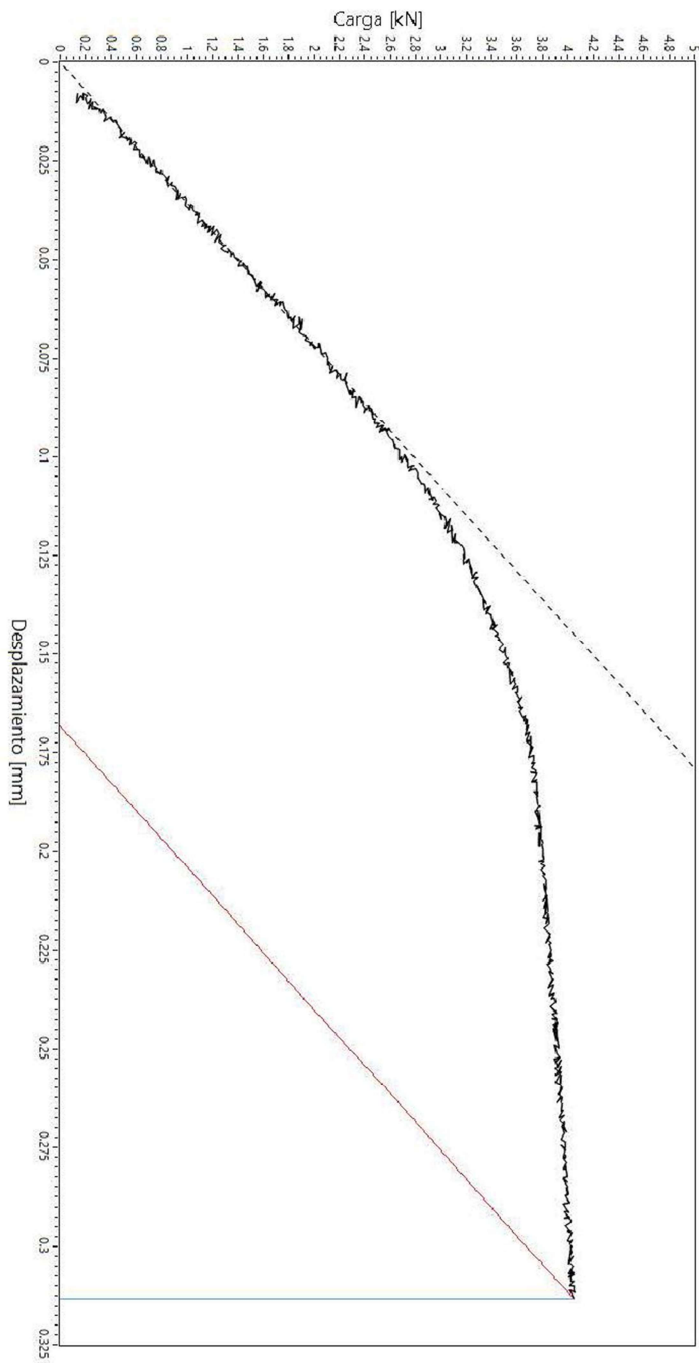


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	21A	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-110
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	24/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	576,77	B	10,00	$B_N$	8,11
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	742,70	W	10,00	Side Groove	18,9%
E [GPa]	219,5	v	0,3	S	40,00
				$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

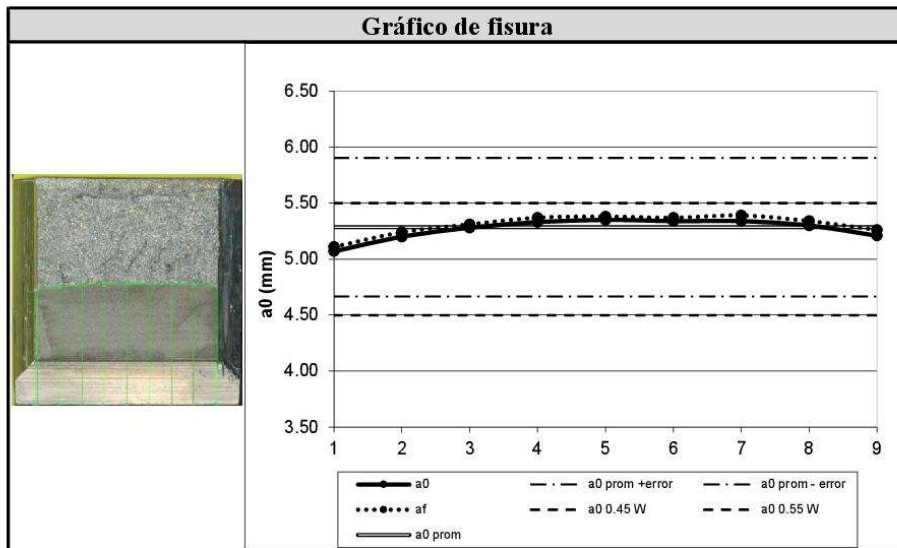
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.07	a <sub>f.1</sub>	5.11	Δa <sub>1</sub>	0.04
a <sub>0.2</sub>	5.20	a <sub>f.2</sub>	5.24	Δa <sub>2</sub>	0.04
a <sub>0.3</sub>	5.28	a <sub>f.3</sub>	5.31	Δa <sub>3</sub>	0.03
a <sub>0.4</sub>	5.33	a <sub>f.4</sub>	5.37	Δa <sub>4</sub>	0.04
a <sub>0.5</sub>	5.35	a <sub>f.5</sub>	5.38	Δa <sub>5</sub>	0.03
a <sub>0.6</sub>	5.34	a <sub>f.6</sub>	5.37	Δa <sub>6</sub>	0.03
a <sub>0.7</sub>	5.34	a <sub>f.7</sub>	5.39	Δa <sub>7</sub>	0.05
a <sub>0.8</sub>	5.30	a <sub>f.8</sub>	5.34	Δa <sub>8</sub>	0.04
a <sub>0.9</sub>	5.21	a <sub>f.9</sub>	5.26	Δa <sub>9</sub>	0.05
a <sub>0</sub>	5,29	a <sub>f</sub>	5,32	Δa	0,04



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	13,54	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	36,33
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	49,87	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	109,67



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

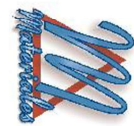
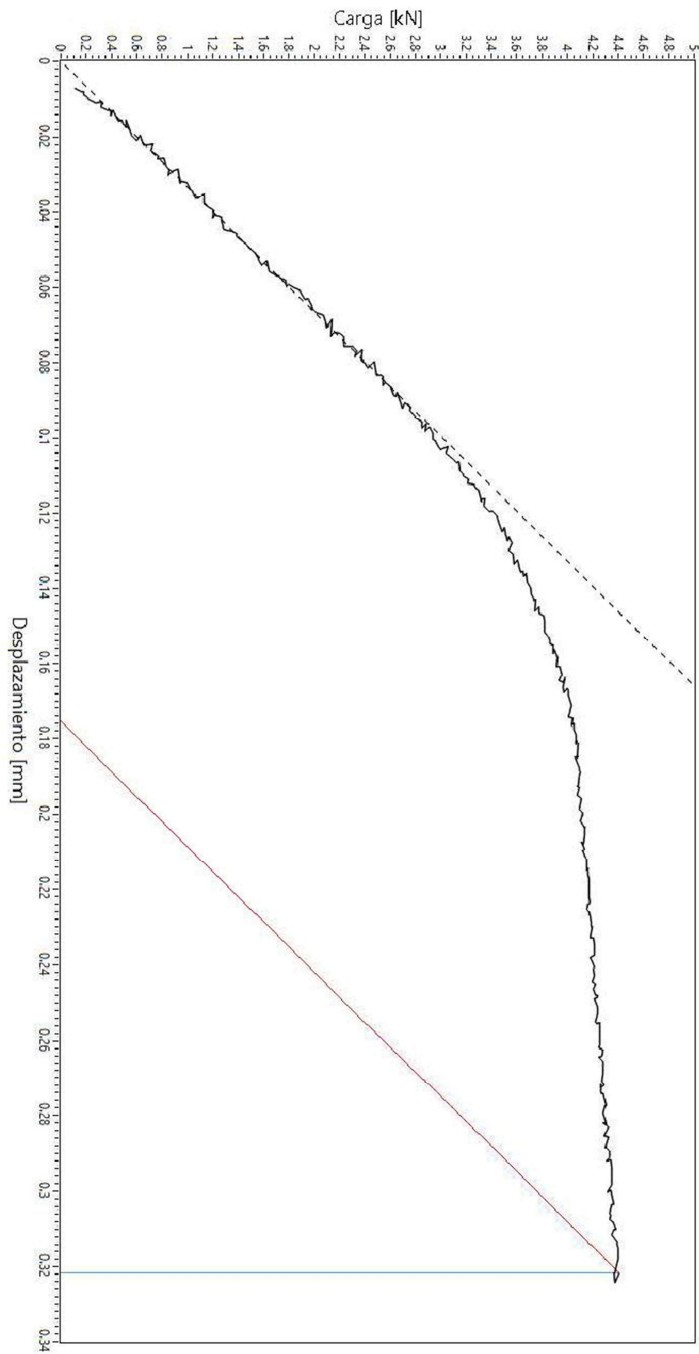


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	21B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-105
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	19/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	567,72	B	10,01	$B_N$	8,06
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	734,27	W	9,99	Side Groove	19,4%
E [GPa]	219,2	v	0,3	S	$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

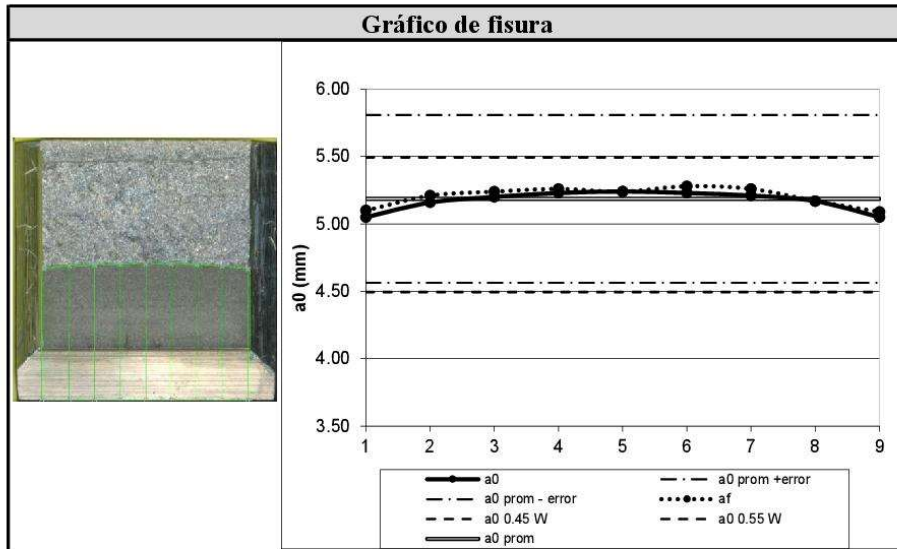
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	5.05	$a_{f.1}$	5.10	$\Delta a_1$	0.05
$a_{0.2}$	5.16	$a_{f.2}$	5.21	$\Delta a_2$	0.05
$a_{0.3}$	5.20	$a_{f.3}$	5.24	$\Delta a_3$	0.04
$a_{0.4}$	5.23	$a_{f.4}$	5.26	$\Delta a_4$	0.03
$a_{0.5}$	5.24	$a_{f.5}$	5.24	$\Delta a_5$	0.00
$a_{0.6}$	5.23	$a_{f.6}$	5.28	$\Delta a_6$	0.05
$a_{0.7}$	5.21	$a_{f.7}$	5.26	$\Delta a_7$	0.05
$a_{0.8}$	5.17	$a_{f.8}$	5.17	$\Delta a_8$	0.00
$a_{0.9}$	5.05	$a_{f.9}$	5.09	$\Delta a_9$	0.04
$a_0$	5,19	$a_f$	5,22	$\Delta a$	0,03



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	14,21	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	52,06
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	66,27	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	126,34



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

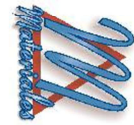
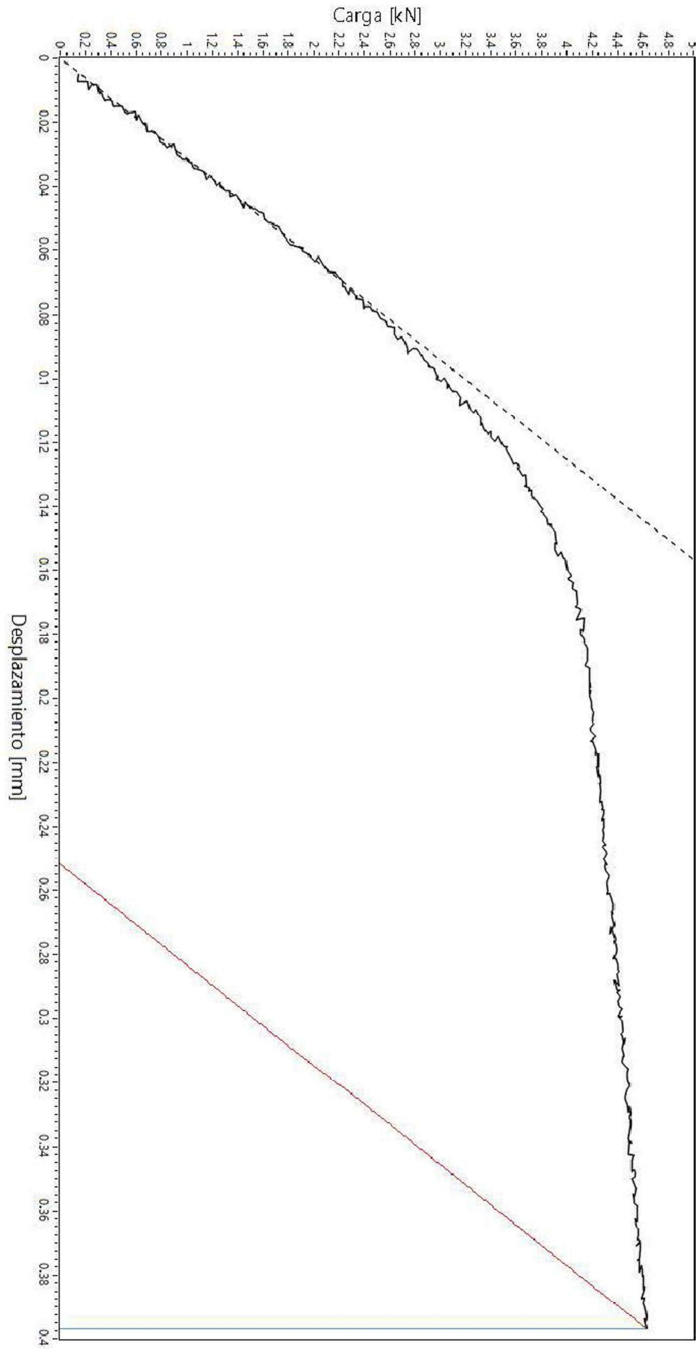


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	21D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-115
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	21/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	586,55	B	10,01	$B_N$	8,05
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	751,51	W	9,99	Side Groove	19,5%
E [GPa]	219,8	v	0,3	S	$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

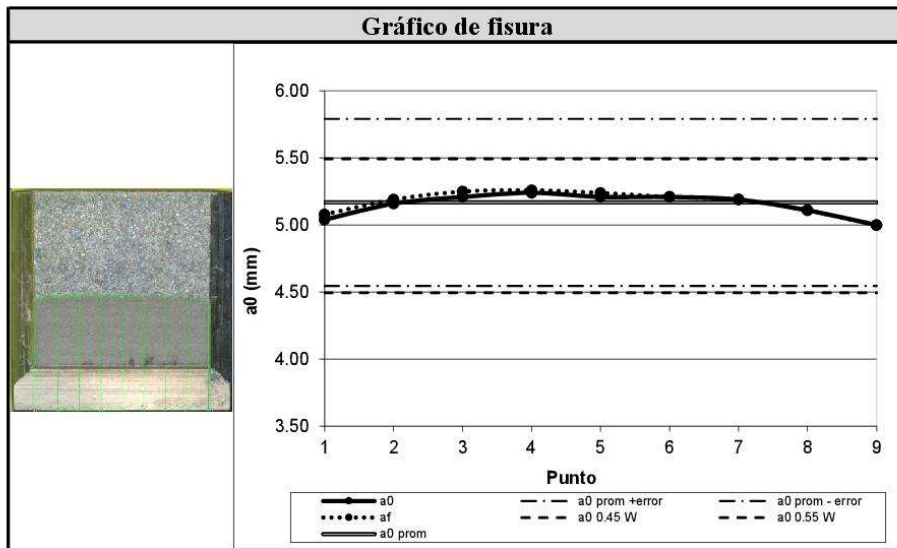
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	5.04	$a_{f.1}$	5.08	$\Delta a_1$	0.04
$a_{0.2}$	5.16	$a_{f.2}$	5.19	$\Delta a_2$	0.03
$a_{0.3}$	5.21	$a_{f.3}$	5.25	$\Delta a_3$	0.04
$a_{0.4}$	5.24	$a_{f.4}$	5.26	$\Delta a_4$	0.02
$a_{0.5}$	5.21	$a_{f.5}$	5.24	$\Delta a_5$	0.03
$a_{0.6}$	5.21	$a_{f.6}$	5.21	$\Delta a_6$	0.00
$a_{0.7}$	5.19	$a_{f.7}$	5.19	$\Delta a_7$	0.00
$a_{0.8}$	5.11	$a_{f.8}$	5.11	$\Delta a_8$	0.00
$a_{0.9}$	5.00	$a_{f.9}$	5.00	$\Delta a_9$	0.00
$a_0$	5,17	$a_f$	5,19	$\Delta a$	0,02



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	14,09	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	30,46
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	44,55	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	103,73



FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

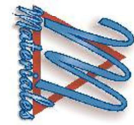
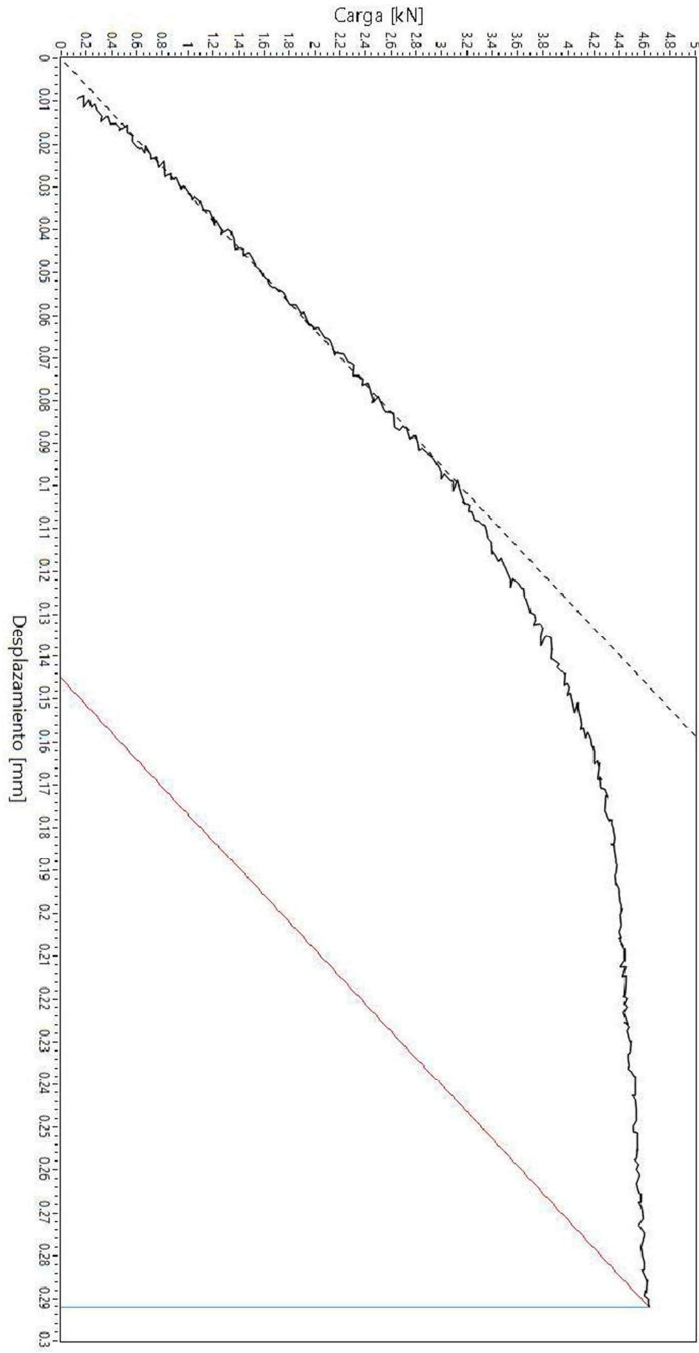


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	23C	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-120
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	14/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,143

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	597,12	B	10,00	$B_N$	8,03
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	760,72	W	9,99	Side Groove	19,1%
E [GPa]	220,1	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

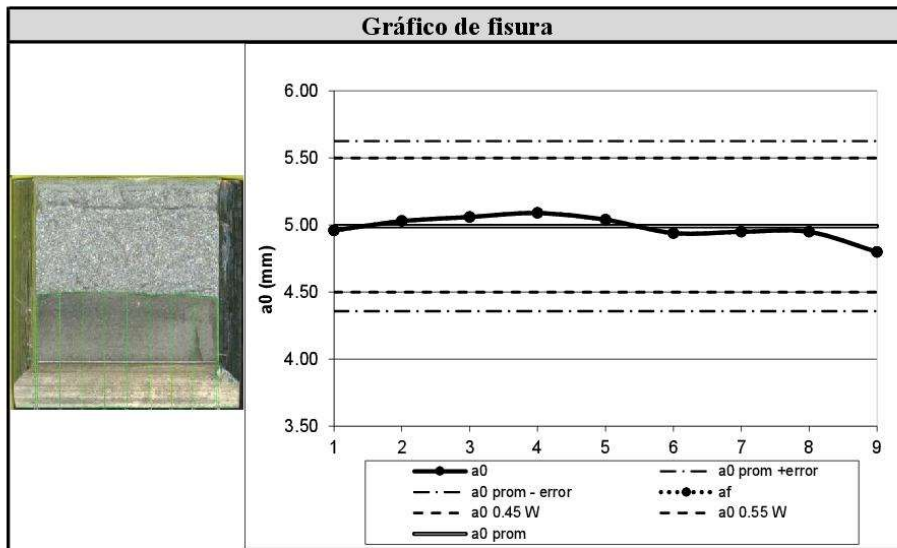
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	4,96	a <sub>f.1</sub>	4,96	Δa <sub>1</sub>	0,00
a <sub>0.2</sub>	5,03	a <sub>f.2</sub>	5,03	Δa <sub>2</sub>	0,00
a <sub>0.3</sub>	5,06	a <sub>f.3</sub>	5,06	Δa <sub>3</sub>	0,00
a <sub>0.4</sub>	5,09	a <sub>f.4</sub>	5,09	Δa <sub>4</sub>	0,00
a <sub>0.5</sub>	5,04	a <sub>f.5</sub>	5,04	Δa <sub>5</sub>	0,00
a <sub>0.6</sub>	4,94	a <sub>f.6</sub>	4,94	Δa <sub>6</sub>	0,00
a <sub>0.7</sub>	4,95	a <sub>f.7</sub>	4,95	Δa <sub>7</sub>	0,00
a <sub>0.8</sub>	4,95	a <sub>f.8</sub>	4,95	Δa <sub>8</sub>	0,00
a <sub>0.9</sub>	4,80	a <sub>f.9</sub>	4,80	Δa <sub>9</sub>	0,00
a <sub>0</sub>	4,99	a <sub>f</sub>	4,99	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	5,87	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	0,54
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	6,41	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	39,38



FO-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina

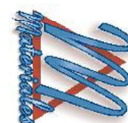
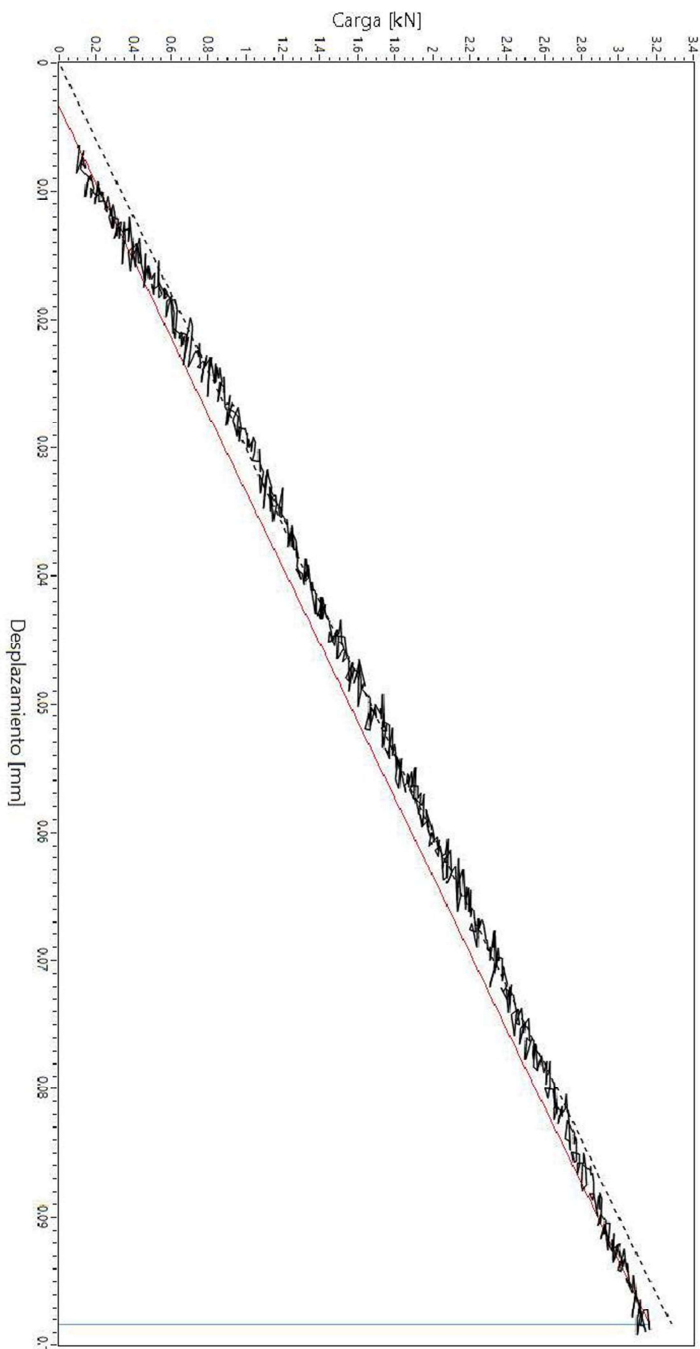


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	23D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-100
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	17/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	559,35	B	10,00	$B_N$	7,99
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	726,22	W	10,00	Side Groove	20,1%
E [GPa]	218,8	v	0,3	S	40,00
				$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

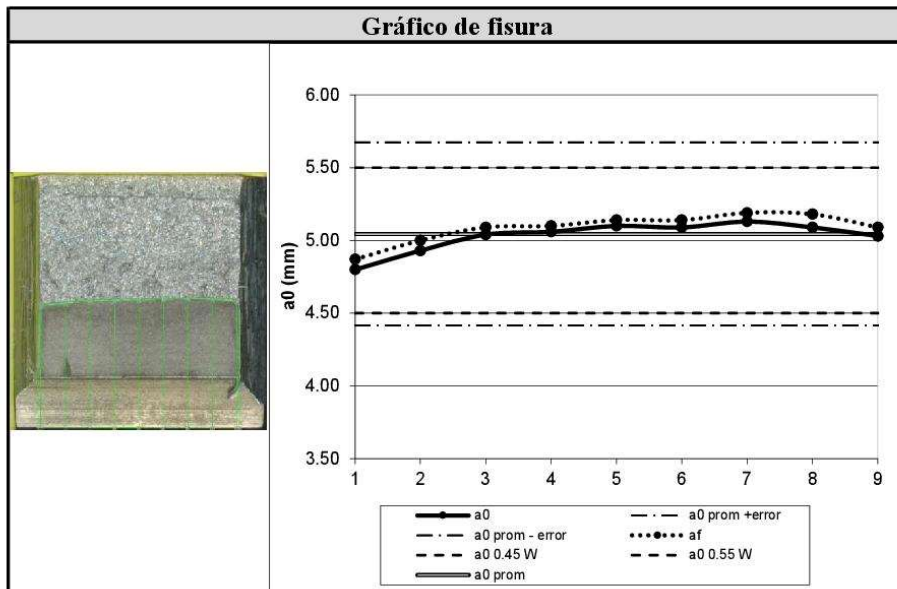
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	4.80	$a_{f.1}$	4.87	$\Delta a_1$	0.07
$a_{0.2}$	4.93	$a_{f.2}$	5.00	$\Delta a_2$	0.07
$a_{0.3}$	5.04	$a_{f.3}$	5.09	$\Delta a_3$	0.05
$a_{0.4}$	5.06	$a_{f.4}$	5.10	$\Delta a_4$	0.04
$a_{0.5}$	5.10	$a_{f.5}$	5.14	$\Delta a_5$	0.04
$a_{0.6}$	5.09	$a_{f.6}$	5.14	$\Delta a_6$	0.05
$a_{0.7}$	5.13	$a_{f.7}$	5.19	$\Delta a_7$	0.06
$a_{0.8}$	5.09	$a_{f.8}$	5.18	$\Delta a_8$	0.09
$a_{0.9}$	5.03	$a_{f.9}$	5.09	$\Delta a_9$	0.06
$a_0$	5,04	$a_f$	5,10	$\Delta a$	0,06



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	15,75	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	76,63
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	90,38	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	147,41



FO-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
 Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
 División Fractura  
 Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
 Argentina

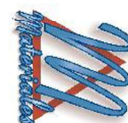
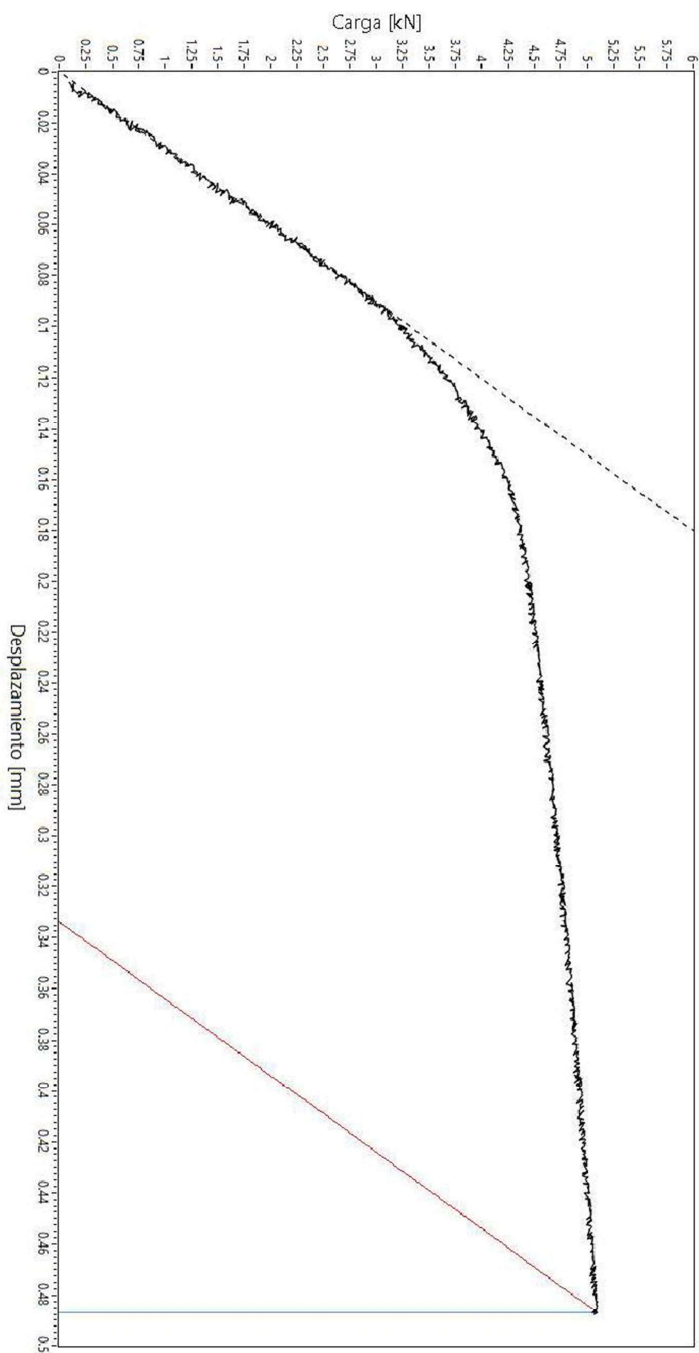


Gráfico de ensayo



- Datos
- Datos
  - Pendiente
  - Pendiente rotura
  - Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	24A	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-110
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	18/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	576,77	B	10,00	$B_N$	7,98
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	742,70	W	10,00	Side Groove	20,02%
E [GPa]	219,5	v	0,3	S	40,00
				$a_{N nominal}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

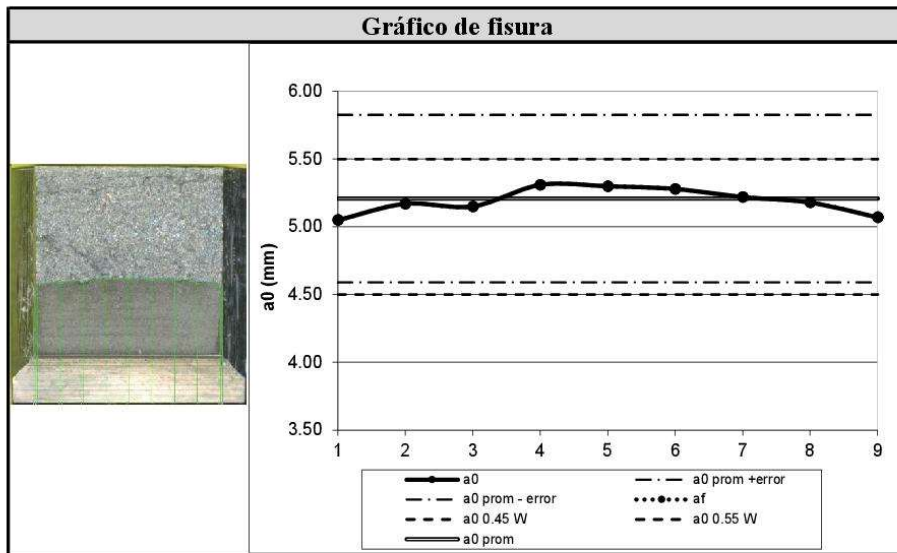
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



**GERENCIA DE MATERIALES**  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	5.05	a <sub>f.1</sub>	5.05	Δa <sub>1</sub>	0.00
a <sub>0.2</sub>	5.17	a <sub>f.2</sub>	5.17	Δa <sub>2</sub>	0.00
a <sub>0.3</sub>	5.15	a <sub>f.3</sub>	5.15	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.31	a <sub>f.4</sub>	5.31	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.30	a <sub>f.5</sub>	5.30	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.28	a <sub>f.6</sub>	5.28	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.22	a <sub>f.7</sub>	5.22	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.18	a <sub>f.8</sub>	5.18	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.07	a <sub>f.9</sub>	5.07	Δa <sub>9</sub>	0.00
a <sub>0</sub>	5,21	a <sub>f</sub>	5,21	Δa	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	12,11	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	16,97
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	29,07	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	83,74



FO-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

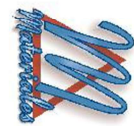
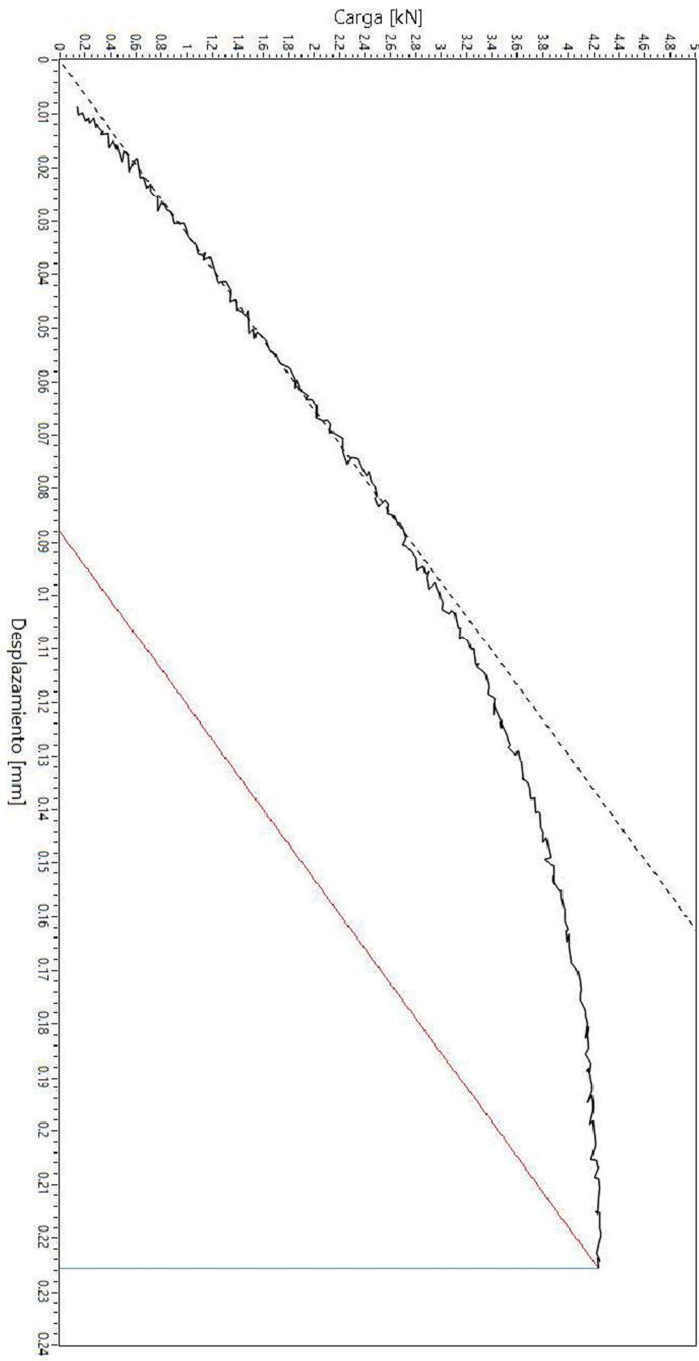


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	24B	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-120
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	25/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,143

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	597,12	B	10,00	$B_N$	8,06
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	760,72	W	9,99	Side Groove	19,4%
E [GPa]	220,1	v	0,3	S	$a_{N nominal}$ (entalla) 2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

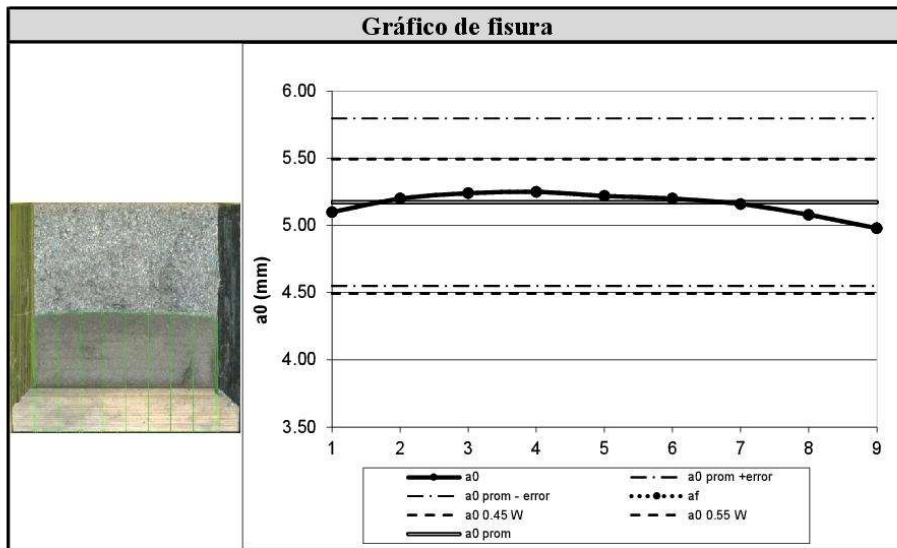
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
$a_{0.1}$	5.10	$a_{f.1}$	5.10	$\Delta a_1$	0,00
$a_{0.2}$	5.20	$a_{f.2}$	5.20	$\Delta a_2$	0,00
$a_{0.3}$	5.24	$a_{f.3}$	5.24	$\Delta a_3$	0,00
$a_{0.4}$	5.25	$a_{f.4}$	5.25	$\Delta a_4$	0,00
$a_{0.5}$	5.22	$a_{f.5}$	5.22	$\Delta a_5$	0,00
$a_{0.6}$	5.20	$a_{f.6}$	5.20	$\Delta a_6$	0,00
$a_{0.7}$	5.16	$a_{f.7}$	5.16	$\Delta a_7$	0,00
$a_{0.8}$	5.08	$a_{f.8}$	5.08	$\Delta a_8$	0,00
$a_{0.9}$	4.98	$a_{f.9}$	4.98	$\Delta a_9$	0,00
$a_0$	5,17	$a_f$	5,17	$\Delta a$	0,00



Valores de tenacidad de fractura			
$J_e$ [ $kJ/m^2$ ]	13,33	$J_p$ [ $kJ/m^2$ ]	18,26
$J_c$ [ $kJ/m^2$ ]	31,59	$K_{Jc}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	87,41



FO-CNEAMAT\_EFF-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina

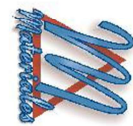
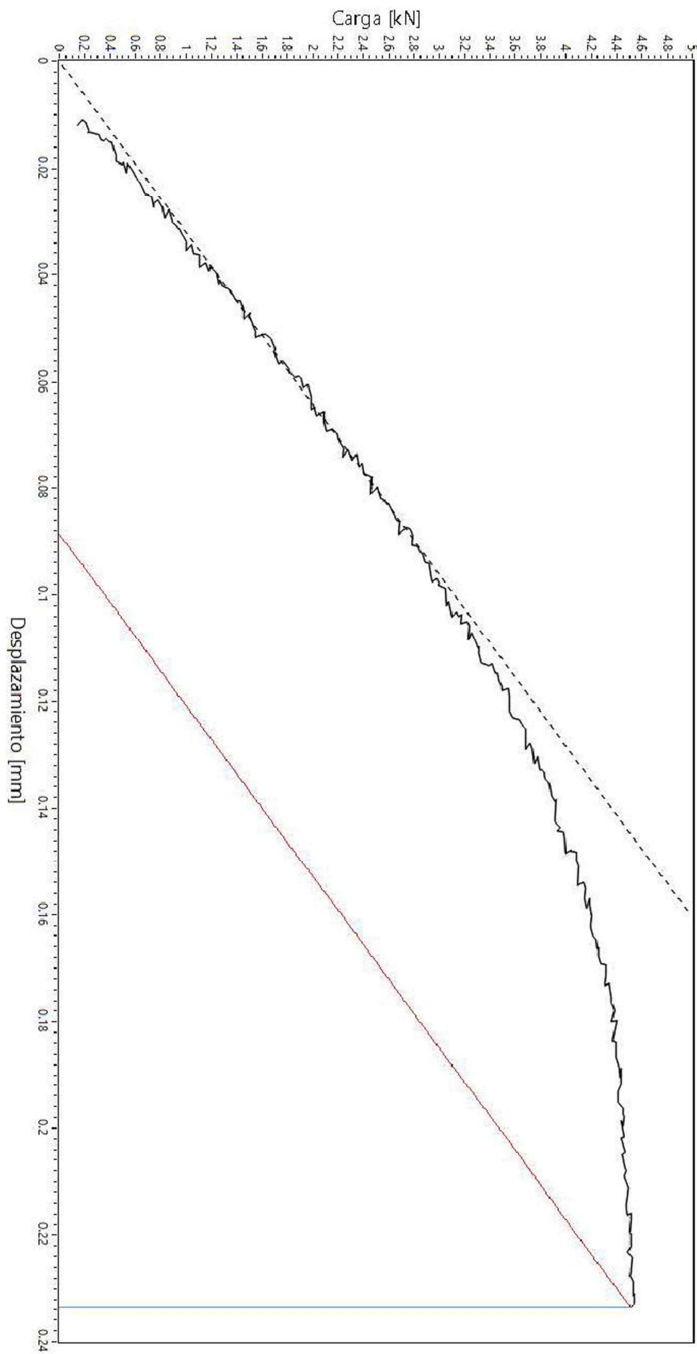


Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



**Informe de ensayo  $K_{Jc}$**

Identificación de probeta		Rangos utilizados		
Identificación de trabajo	N/A	Máquina utilizada	MTS Landmark 100 kN	
Identificación de la probeta	24D	Clip-gage	N/A	
Tipo de probeta	SEB	LVDT	-100 mm - 100 mm	
Orientación de la probeta	T-L	Celda de carga	-100kN - 100 kN	
Observaciones		Operador	Aprobó	Calidad
		Villanueva	Ciriani	Manicas

Documentación y parámetros			
Instrucción de trabajo	N/A	Temperatura de ensayo [°C]	-105
Norma técnica utilizada	ASTM E-1921	Humedad ambiente [%]	N/A
Fecha	24/10/2022	Velocidad de ensayo [mm/min]	0,144

Datos de la probeta					
Propiedades a T de ensayo			Dimensiones [mm]		
Tensión de fluencia $\sigma_{0.2}$ [MPa]	567,72	B	10,00	$B_N$	8,05
Tensión máxima $\sigma_m$ [MPa]	734,27	W	9,99	Side Groove	19,4%
E [GPa]	219,2	v	0,3	S	40,00
				$a_{N\text{ nominal}}$ (entalla)	2,00

Identificación de instrumentos de medición			
Máquina de ensayo	EQU-MAT EFF-021	Clip-gage	N/A
LVDT	INS-MAT EFF-064	Celda de carga	INS-MAT EFF-063
Calibre	INS-MAT EFF-065	Micrómetro	INS-MAT EFF-019
Termohigrómetro	N/A	Sensor de temperatura	INS-MAT EFF-052/053

Parámetros de prefisurado				
Frecuencia [Hz]	20 Hz	Forma de onda	Sinusoidal	
Pasos	(termina el paso con) $\Delta K$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	(termina el paso con) $K_{MAX}$ [ $MPa\sqrt{m}$ ]	R	
1	17,6	19,6	0,1	
2	16,7	18,6	0,1	
3	15,8	17,6	0,1	
4	14,9	16,6	0,1	
5	14,2	15,8	0,1	
6	13,6	15,1	0,1	
7	13,1	14,5	0,1	
8	12,6	14,0	0,1	

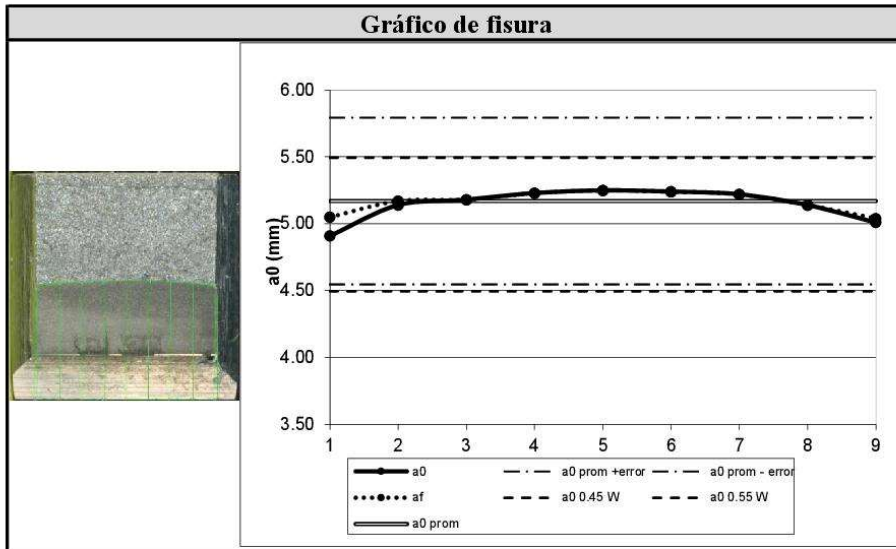
FO-CNEAMAT EFF-XXX r0



GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina



Valores de fisura					
Valores iniciales de fisura [mm]		Longitud de fisura final [mm]		Extensión dúctil de fractura [mm]	
a <sub>0.1</sub>	4.91	a <sub>f.1</sub>	5.05	Δa <sub>1</sub>	0.14
a <sub>0.2</sub>	5.14	a <sub>f.2</sub>	5.17	Δa <sub>2</sub>	0.03
a <sub>0.3</sub>	5.18	a <sub>f.3</sub>	5.18	Δa <sub>3</sub>	0.00
a <sub>0.4</sub>	5.23	a <sub>f.4</sub>	5.23	Δa <sub>4</sub>	0.00
a <sub>0.5</sub>	5.25	a <sub>f.5</sub>	5.25	Δa <sub>5</sub>	0.00
a <sub>0.6</sub>	5.24	a <sub>f.6</sub>	5.24	Δa <sub>6</sub>	0.00
a <sub>0.7</sub>	5.22	a <sub>f.7</sub>	5.22	Δa <sub>7</sub>	0.00
a <sub>0.8</sub>	5.14	a <sub>f.8</sub>	5.14	Δa <sub>8</sub>	0.00
a <sub>0.9</sub>	5.01	a <sub>f.9</sub>	5.04	Δa <sub>9</sub>	0.03
a <sub>0</sub>	5,17	a <sub>f</sub>	5,18	Δa	0,01



Valores de tenacidad de fractura			
J <sub>e</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	12,79	J <sub>p</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	30,85
J <sub>c</sub> [kJ/m <sup>2</sup> ]	43,64	K <sub>Jc</sub> [MPa√m]	102,52

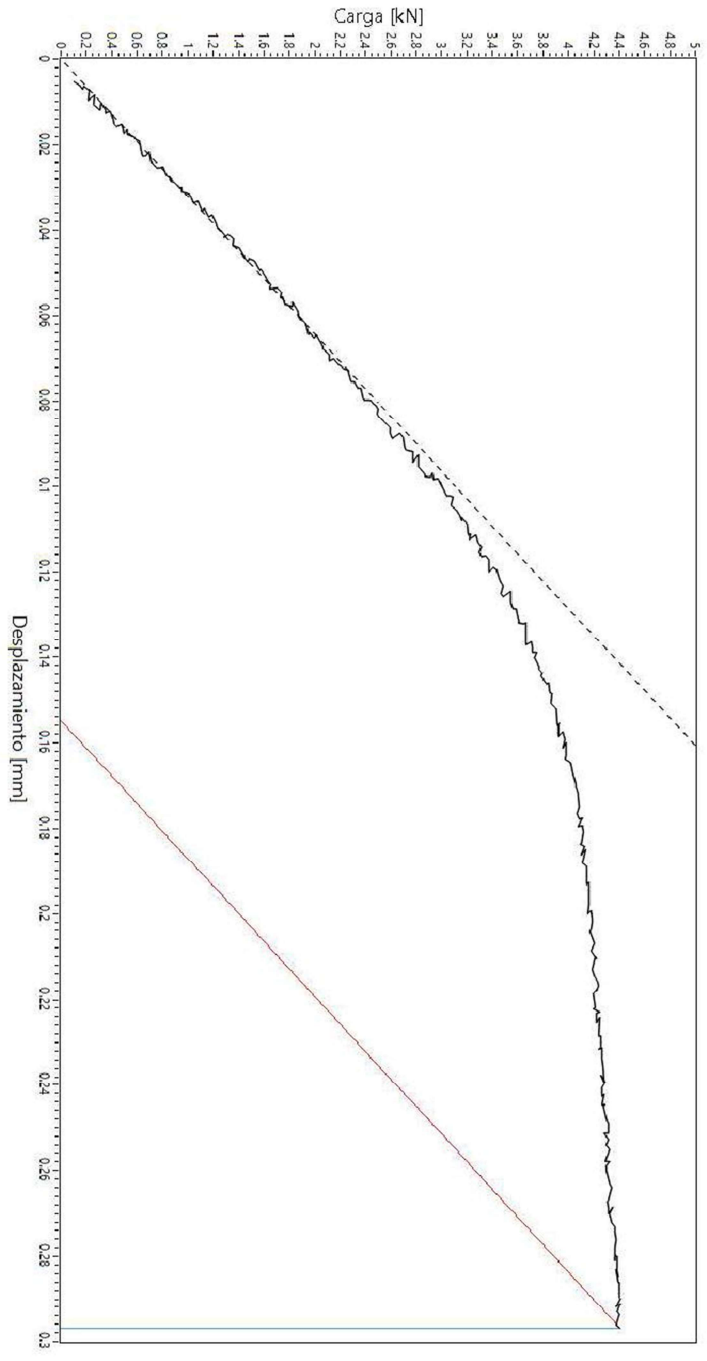


FO-CNEAMAT\_EFE-XXX.P0

GERENCIA DE MATERIALES  
Departamento de Caracterización y Fractomecánica  
División Fractura  
Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires  
Argentina





Gráfico de ensayo



- Datos
- Pendiente
- Pendiente rotura
- Recta vertical rotura

## 21APÉNDICE VIII

FO-CNEAMAT\_EFF-14 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	

### Informe de ensayo de Impacto Charpy

Parámetros de la probeta		Parámetros de ensayo		
Plan de ensayo:	N/A	Máquina de ensayo: EQU-MAT_EFF-020		
Material: A508-3		Instrucción de trabajo: IT-CNEAMAT_EFF-016		
Orientación: TL		Rango de energía utilizado [J]: 406.7		
Tipo de entalla: en "V"		Velocidad de impacto [m/seg]: 5.19		
Dimensiones nominales de probeta:		Fecha de ensayo: ver en cada probeta		
Ancho [mm]: 10	Espesor[mm]: 10	Largo[mm]: 55	Operador: Ciriani /Villanueva	Aprobó: Chomik
Observaciones:		Intervino Calidad: Villanueva		
Identificación de instrumentos de medición				
Calibre: INS-MAT_EFF-020		Termocupla/Termoresistencia: Tipo T		
Instrumento Entalla: Escaner EPSON V600		Controlador de temperatura: FineTek PT-7620		
Comparador Exp. Lat.: INS-EFF_EFF-21		Termohigrómetro: INS-MAT_EFF-018		

Probeta N°	Temp. ensayo [°C]	Energía absorbida [J]	Expansión Lateral [mm]	Fractura dúctil [%]	Observaciones
01	-50	33,7	0,45	6,2	
02	48	234,7	2,28	100,0	
03	-45	117,7	1,58	32,9	
04	19	209,0	2,16	83,4	
05	-30	63,8	0,90	18,4	
06	-70	15,6	0,15	2,2	
07	-21	112,5	1,50	33,1	
08	-65	5,9	0,09	0,8	
09	-10	156,4	2,02	57,3	
10	-60	26,8	0,36	5,5	
11	-45	70,4	0,49	14,6	
12	-40	99,0	1,40	26,5	
13	-89	9,6	0,15	0,1	
14	-55	29,4	0,36	6,3	
15	-107	6,1	0,08	0,0	
16	-49	71,8	1,04	13,6	
17	90	245,4	2,17	100,0	
18	19	226,6	2,36	91,6	
19	-34	70,8	1,00	19,0	
20	-40	71,0	0,96	17,7	
21	150	244,8	2,21	100,0	
23	20	157,8	1,99	69,9	

FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

Probeta N°: 01					
Medidas			Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)			Expansión lateral		
FD izquierda [%]	6,1	a [mm]	0,20	a' [mm]	0,23
FD derecha [%]	6,3	b [mm]	0,22	b' [mm]	0,21
Resultados					
FD [%]	6,2	Expansión Lateral	0,45	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 23/08/2022					

Imágenes de la probeta			
			

Probeta N°: 02					
Medidas			Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)			Expansión lateral		
FD izquierda [%]	100	a [mm]	0,66	a' [mm]	1,16
FD derecha [%]	100	b [mm]	0,71	b' [mm]	1,12
Resultados					
FD [%]	100	Expansión Lateral	2,28	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 08/09/2022					

Imágenes de la probeta			
			

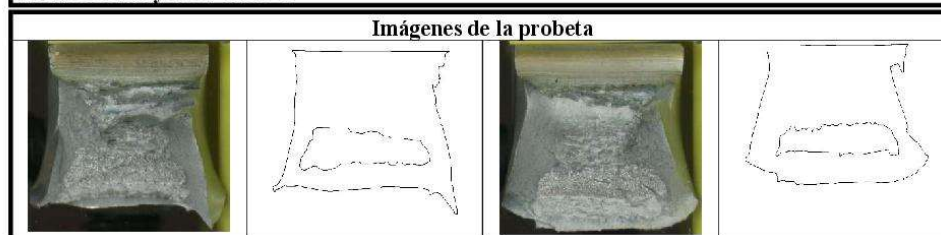
FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina</p>	
---	---	---

Probeta N°: 03					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	31,7	a [mm]	0,79	a' [mm]	0,78
FD derecha [%]	34,1	b [mm]	0,79	b' [mm]	0,74
Resultados					
FD [%]	32,9	Expansión Lateral	1,58	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 23/08/2022					




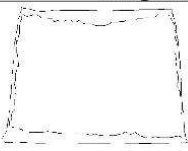
Probeta N°: 04					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	82,0	a [mm]	0,61	a' [mm]	1,14
FD derecha [%]	84,8	b [mm]	1,01	b' [mm]	1,02
Resultados					
FD [%]	83,4	Expansión Lateral	2,16	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 08/09/2022					



FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

<b>Probeta N°: 05</b>					
Medidas			Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)			Expansión lateral		
FD izquierda [%]	17,3	a [mm]	0,38	a' [mm]	0,44
FD derecha [%]	19,6	b [mm]	0,46	b' [mm]	0,44
Resultados					
FD [%]	18,4	Expansión Lateral	0,90	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 24/08/2022					

Imágenes de la probeta			
			

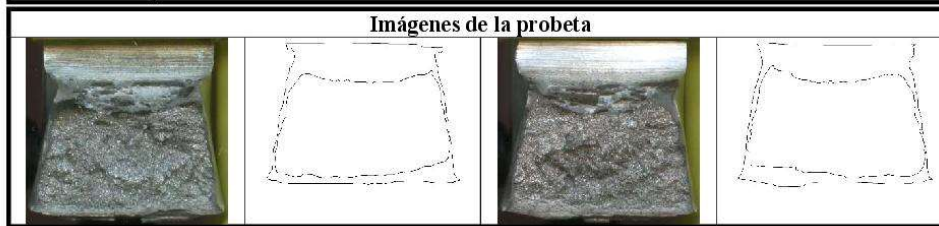
<b>Probeta N°: 06</b>					
Medidas			Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)			Expansión lateral		
FD izquierda [%]	2,7	a [mm]	0,08	a' [mm]	0,08
FD derecha [%]	1,7	b [mm]	0,07	b' [mm]	0,04
Resultados					
FD [%]	2,2	Expansión Lateral	0,15	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 12/09/2022					

Imágenes de la probeta			
			

FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina		

Probeta N°: 07					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	33,2	a [mm]	0,75	a' [mm]	0,73
FD derecha [%]	33,0	b [mm]	0,75	b' [mm]	0,74
Resultados					
FD [%]	33,1	Expansión Lateral	1,50	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 24/08/2022					



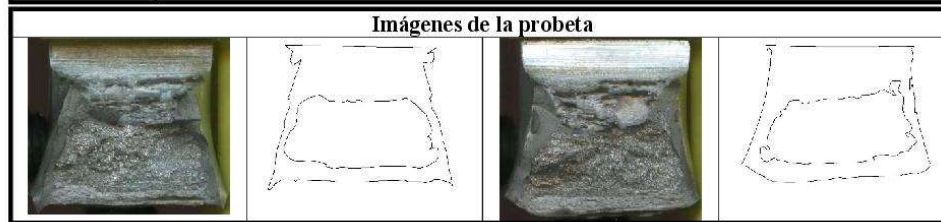
Probeta N°: 08					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	0,8	a [mm]	0,02	a' [mm]	0,01
FD derecha [%]	0,8	b [mm]	0,07	b' [mm]	0,04
Resultados					
FD [%]	0,8	Expansión Lateral	0,09	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 12/09/2022					



FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina		

Probeta N°: 09					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	56,1	a [mm]	0,87	a' [mm]	0,99
FD derecha [%]	58,6	b [mm]	0,79	b' [mm]	1,03
Resultados					
FD [%]	57,3	Expansión Lateral	2,02	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 24/08/2022					



Probeta N°: 10					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	4,4	a [mm]	0,13	a' [mm]	0,20
FD derecha [%]	6,7	b [mm]	0,16	b' [mm]	0,10
Resultados					
FD [%]	5,5	Expansión Lateral	0,36	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 12/09/2022					



FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

Probeta N°: 11					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	13,5	a [mm]	0,46	a' [mm]	0,54
FD derecha [%]	15,7	b [mm]	0,49	b' [mm]	0,49
Resultados					
FD [%]	14,6	Expansión Lateral	1,03	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 30/08/2022					



Probeta N°: 12					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	26,2	a [mm]	0,64	a' [mm]	0,71
FD derecha [%]	26,9	b [mm]	0,67	b' [mm]	0,69
Resultados					
FD [%]	26,5	Expansión Lateral	1,40	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 30/08/2022					



FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

Probeta N°: 13					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	0,1	a [mm]	0,09	a' [mm]	0,02
FD derecha [%]	0,1	b [mm]	0,03	b' [mm]	0,06
Resultados					
FD [%]	0,1	Expansión Lateral	0,15	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 01/09/2022					



Probeta N°: 14					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	5,6	a [mm]	0,14	a' [mm]	0,18
FD derecha [%]	6,9	b [mm]	0,18	b' [mm]	0,15
Resultados					
FD [%]	6,3	Expansión Lateral	0,36	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 16/09/2022					



FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

<b>Probeta N°: 15</b>					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	0,0	a [mm]	0,01	a' [mm]	0,04
FD derecha [%]	0,0	b [mm]	0,04	b' [mm]	0,01
Resultados					
FD [%]	0,0	Expansión Lateral	0,08	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 01/09/2022					



<b>Probeta N°: 16</b>					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	13,0	a [mm]	0,54	a' [mm]	0,49
FD derecha [%]	14,1	b [mm]	0,50	b' [mm]	0,50
Resultados					
FD [%]	13,6	Expansión Lateral	1,04	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 16/09/2022					



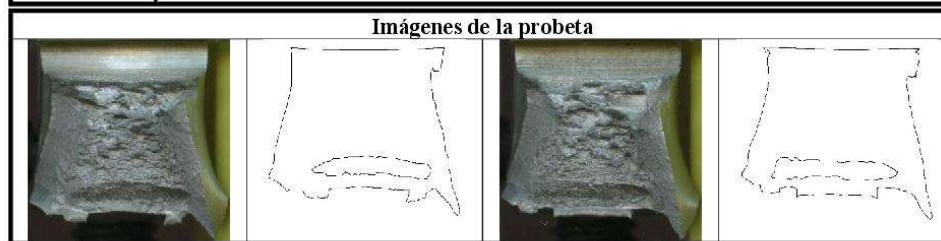
FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

Probeta N°: 17					
Medidas			Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)			Expansión lateral		
FD izquierda [%]	100,0	a [mm]	1,08	a' [mm]	0,53
FD derecha [%]	100,0	b [mm]	0,58	b' [mm]	1,09
Resultados					
FD [%]	100,0	Expansión Lateral	2,17	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 05/09/2022					



Probeta N°: 18					
Medidas			Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)			Expansión lateral		
FD izquierda [%]	92,1	a [mm]	0,53	a' [mm]	1,18
FD derecha [%]	91,1	b [mm]	1,18	b' [mm]	0,62
Resultados					
FD [%]	91,6	Expansión Lateral	2,36	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 16/09/2022					



FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<p><b>GERENCIA DE MATERIALES</b>                  Departamento de Caracterización y Fractomecánica                  División Fractura                  Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires                  Argentina</p>	
---	---	---

Probeta N°: 19				
Medidas		Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral		
FD izquierda [%]	20,0	a [mm]	0,47	a' [mm] 0,50
FD derecha [%]	18,0	b [mm]	0,50	b' [mm] 0,46
Resultados				
FD [%]	19,0	Expansión Lateral	1,00	a+b
Observaciones				
Fecha de ensayo: 01/09/2022				



Probeta N°: 20				
Medidas		Parámetros de ensayo		
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral		
FD izquierda [%]	17,1	a [mm]	0,47	a' [mm] 0,49
FD derecha [%]	18,4	b [mm]	0,47	b' [mm] 0,45
Resultados				
FD [%]	17,7	Expansión Lateral	0,96	a+b
Observaciones				
Fecha de ensayo: 16/09/2022				



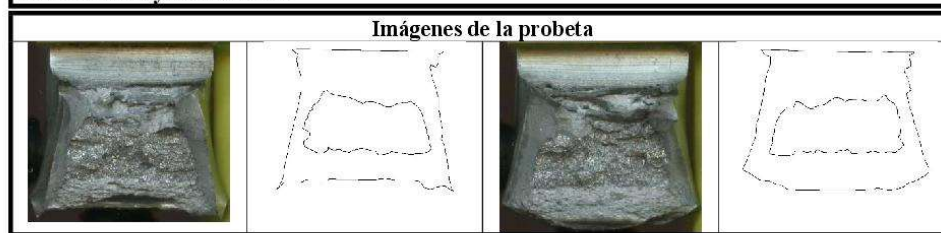
FO-CNEAMAT EFF-14 r4

	<b>GERENCIA DE MATERIALES</b> Departamento de Caracterización y Fractomecánica División Fractura Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín – Buenos Aires Argentina	
---	--	---

Probeta N°: 21					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	100,0	a [mm]	0,51	a' [mm]	1,06
FD derecha [%]	100,0	b [mm]	1,15	b' [mm]	0,46
Resultados					
FD [%]	100,0	Expansión Lateral	2,21	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 06/09/2022					



Probeta N°: 23					
Medidas		Parámetros de ensayo			
Fractura Dúctil (FD)		Expansión lateral			
FD izquierda [%]	69,0	a [mm]	0,80	a' [mm]	0,97
FD derecha [%]	70,9	b [mm]	0,73	b' [mm]	1,02
Resultados					
FD [%]	69,9	Expansión Lateral	1,99	a+b	
Observaciones					
Fecha de ensayo: 23/08/2022					



## 22 APÉNDICE IX

### 22.1 CÁLCULO DEL MÓDULO ELÁSTICO A PARTIR DE LAS VELOCIDADES DEL MATERIAL

Datos a partir de los cuales se calcula el módulo<sup>2</sup>:

Vel. Transversal $C_p$	Vel. Longitudinal $C_s$	Peso	Largo	Ancho	Espesor
3236 m/s	5911 m/s	640,16 g	149,84 mm	33 mm	16,52 mm

Tabla 12 – Datos tomados del material de estudio para el cálculo de E

Primero se calcula la densidad:

$$\text{Vol} = 33 \text{ mm} \cdot 16,52 \text{ mm} \cdot 149,84 \text{ mm}$$

$$\text{Vol} = 81.686,7744 \text{ mm}^3 = 8,1687 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{P}{\text{Vol}} = \frac{0,64016 \text{ kg}}{8,1687 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3} = 7836,76 \text{ kg/m}^3$$

Luego el módulo de Poisson necesario para el siguiente paso:

$$\nu = \frac{C_p^2 - 2 \cdot C_s^2}{2 \cdot (C_p^2 - C_s^2)}$$

$$\nu = \frac{(5911 \text{ m/s})^2 - 2 \cdot (3236 \text{ m/s})^2}{2 \cdot [(5911 \text{ m/s})^2 - (3236 \text{ m/s})^2]}$$

$$\nu = 0,286$$

Finalmente, el módulo elástico:

$$E = C_s^2 \cdot 2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu)$$

$$E = (3236 \text{ m/s})^2 \cdot 2 \cdot 7836,76 \text{ kg/m}^3 (1 + 0,286)$$

$$\boxed{E = 211,07 \text{ Gpa}}$$

<sup>2</sup> M. F. Ashby y D. R. H. Jones, «An Introduction to Propriertires, Applications, and Design,» Butterworth-Heinemann, 2012, p. 37.

## 22.2 CÁLCULO DEL MÓDULO ELÁSTICO A PARTIR DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN

A continuación, se explica las fórmulas utilizadas para la probeta T01, las cuales se repiten para las demás probetas.

Para el cálculo se tomó como dato la pendiente de la recta de regresión calculada por el programa de análisis de tracción (Figura 78). Además, se necesitan

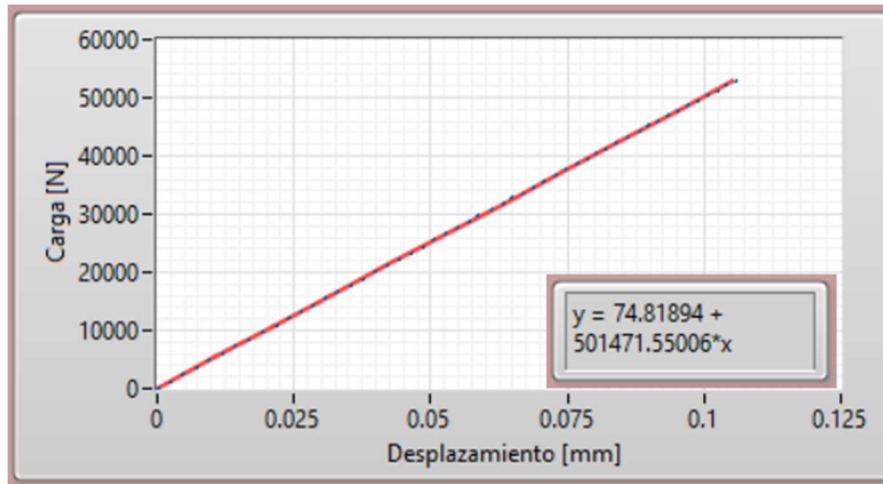


Figura 78 - Recta de regresión a partir de los datos de la probeta T01

los datos de longitud del extensómetro y de superficie.

La fórmula del módulo elástico es la siguiente:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P/S}{l/L_G} = \frac{P}{l} \cdot \frac{L_G}{S} = \text{Pendiente} \cdot \frac{L_G}{S}$$

Siendo:

- $\sigma$  es la tensión
- $\varepsilon$  es la deformación unitaria
- P es la carga
- l es la deformación
- S es la superficie
- $L_G$  es la longitud del extensómetro

La superficie se calcula:

$$S = \frac{\pi \cdot (D)^2}{4} = \frac{\pi \cdot (12,34 \text{ mm})^2}{4} = 119,60 \text{ mm}^2$$

Luego:

$$E = 501471,55006 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot \frac{50 \text{ mm}}{119,60 \text{ mm}^2} = 209645,29685 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\boxed{E = 209,65 \text{ Gpa}}$$

Se aplica a todos los ensayos y elabora la siguiente tabla:

Número de probeta	E por probeta [GPa]	E por tipo de probeta [GPa]
<b>Probeta Fractura 1 (US)</b>		211,07
T01	209,65	
T02	208,50	209,08
T03	208,69	
T04	215,01	211,85
T05	220,87	
T06	225,17	223,02
T07	204,61	
T08	207,03	205,82
T09	239,30	
T10	197,25	218,28
T11	204,07	
T12	211,12	207,60
T13	215,84	
T14	204,91	210,38
T15	193,57	
T16	196,99	195,28
T17	202,12	
T18	204,08	203,10

Tabla 13 – Módulos elásticos calculados

## 23 APÉNDICE X

La curva de transición dúctil-frágil utiliza la siguiente fórmula de tangente hiperbólica [31] (Figura 79):

$$Y = A + B \tanh \frac{T - T_M}{C}$$

Donde:

- $Y$  = energía de impacto, expansión lateral o porcentaje de fractura dúctil
- $T$  = temperatura del ensayo
- $A$  = el promedio de  $Y$  entre la meseta superior e inferior
- $B$  = la diferencia entre las mesetas superior e inferior con  $A$
- $T_M$  = valor de  $T$  para el cual se encuentra  $A$
- $C$  = la diferencia entre  $T_M$  y la intersección de la recta tangente a la curva en  $T_M$  con la meseta superior o inferior

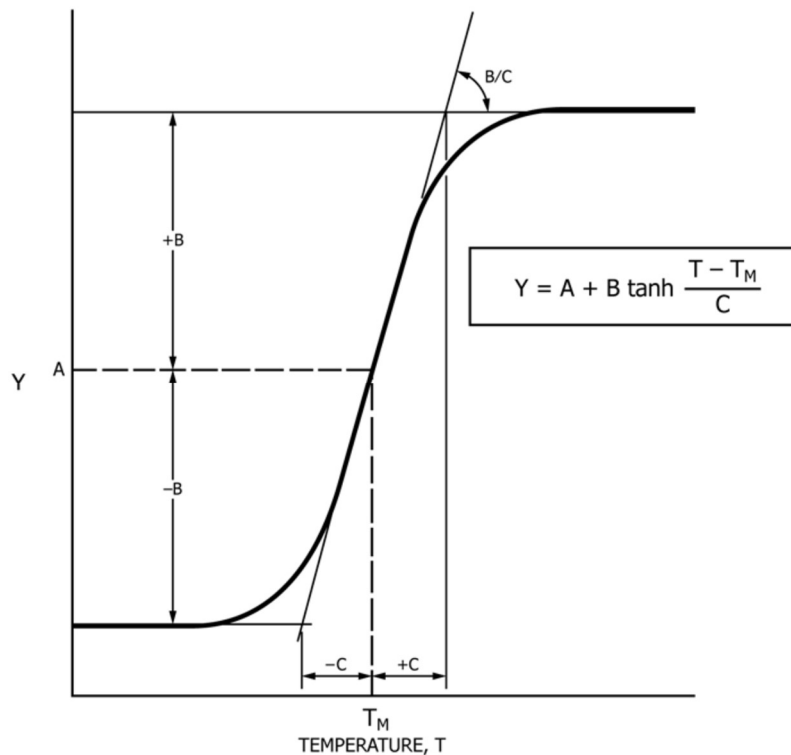


Figura 79 - Gráfico de tangente hiperbólica con parámetros característicos

Esta función fue cargada en el programa CurveExpert 1.4 y se realizaron regresiones para obtener las funciones correspondientes. De esta manera, las funciones que surgieron fueron, para energía:

$$EA = 118,53 J + 127,12 J \tanh \frac{T - 19,17 \text{ } ^\circ\text{C}}{49,00 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Para expansión lateral:

$$LE = 1,08 \text{ mm} + 1,15 \text{ mm} \tanh \frac{T - 38,82 \text{ } ^\circ\text{C}}{35,82 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Para superficie de área dúctil:

$$SFA = 49,66 + 51,81 \tanh \frac{T - 11,37 \text{ } ^\circ\text{C}}{41,06 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Sin embargo, realizar las regresiones sin fijar parámetros puede dar lugar a coeficientes sin sentido físico como energías o porcentajes negativos. Debido a esto, se realizaron otras regresiones fijando ciertos parámetros.

En energía, se fijó en cero la meseta inferior, lo cual significa que  $A - B = 0$ . La meseta superior se fijó con un promedio de energía que tenga un porcentaje de área dúctil de 100%, es decir igual a  $A + B$ .

En expansión lateral, se realizó algo similar.  $A - B = 0$ , debido a que la expansión es cero si estoy en la meseta inferior y el promedio de la expansión que tiene 100% de SFA como  $A + B$ .

En porcentaje de área dúctil es más sencillo debido a que 0% es la meseta inferior y 100% la superior. Luego de fijar estos parámetros, las funciones son las siguientes.

Para energía:

$$EA = 122,5 J + 122,5 J \tanh \frac{T - 17,23 \text{ } ^\circ\text{C}}{46,07 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Para expansión lateral:

$$LE = 1,10 \text{ mm} + 1,10 \text{ mm} \tanh \frac{T - 38,45 \text{ } ^\circ\text{C}}{32,46 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Para superficie de área dúctil:

$$SFA = 50 + 50 \tanh \frac{T - 11,04 \text{ } ^\circ\text{C}}{38,45 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

A partir de estas ecuaciones, se obtuvo las temperaturas características [31], las cuales se encuentran en las figuras Figura 80, Figura 81 y Figura 82, donde se observan las curvas con y sin fijar parámetros A y B. Los resultados fueron similares en ambos casos y se encuentran en la Tabla 14.

Método	T <sub>41J</sub> [°C]	T <sub>68J</sub> [°C]	USE [J]	T <sub>0,89mm</sub> [°C]	T <sub>50%</sub> [°C]
Sin fijar A o B	-53,9	-39,8	245,1	-44,7	-11,1
Fijando A y B	-54,2	-39,3		-44,6	-11,0

Tabla 14 – Parámetros obtenidos de la curva de transición dúctil-frágil

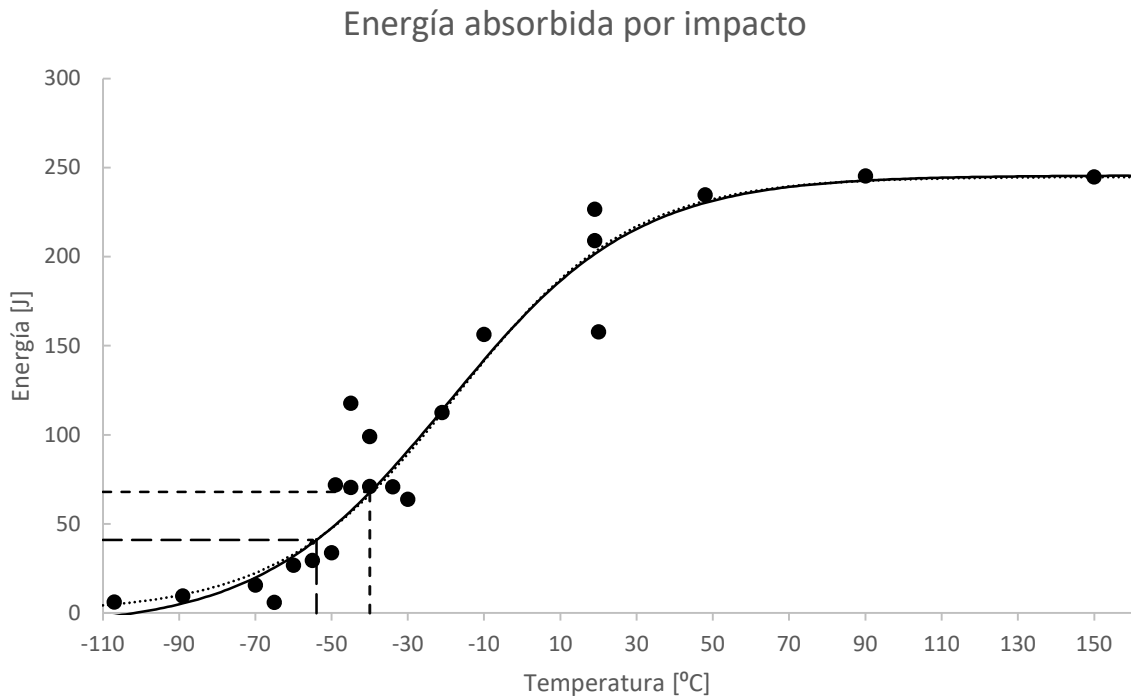


Figura 80 - Curva de transición de Energía

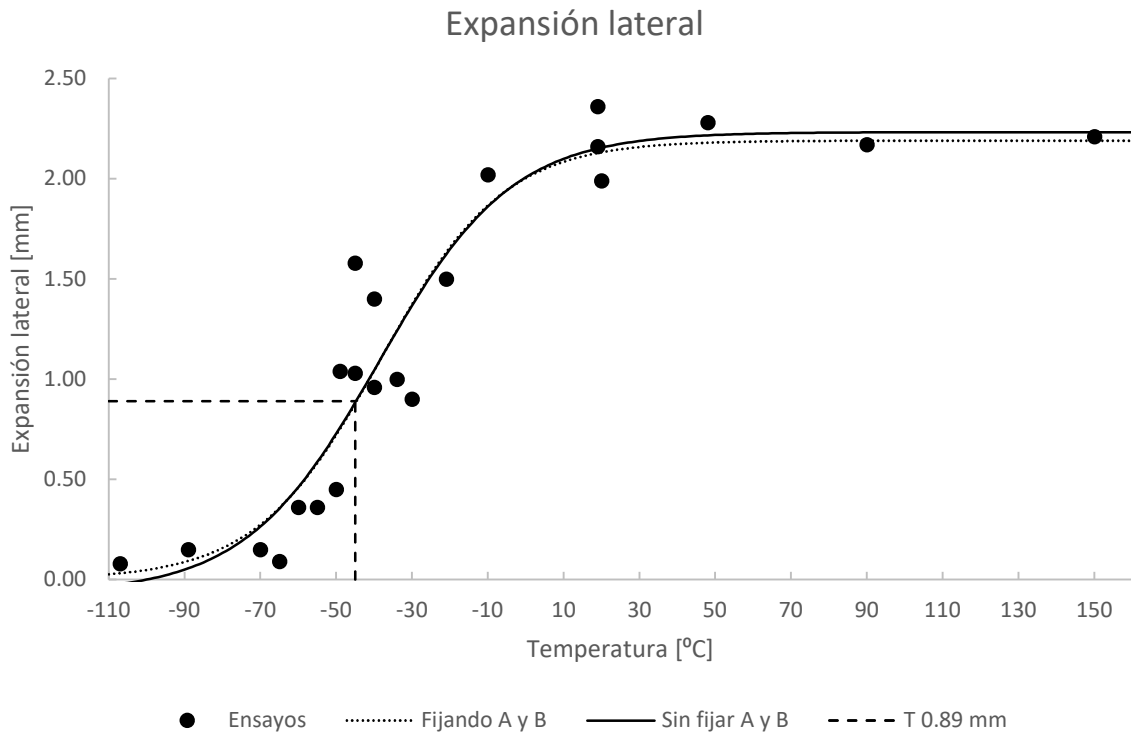


Figura 81 - Curva de transición de expansión lateral

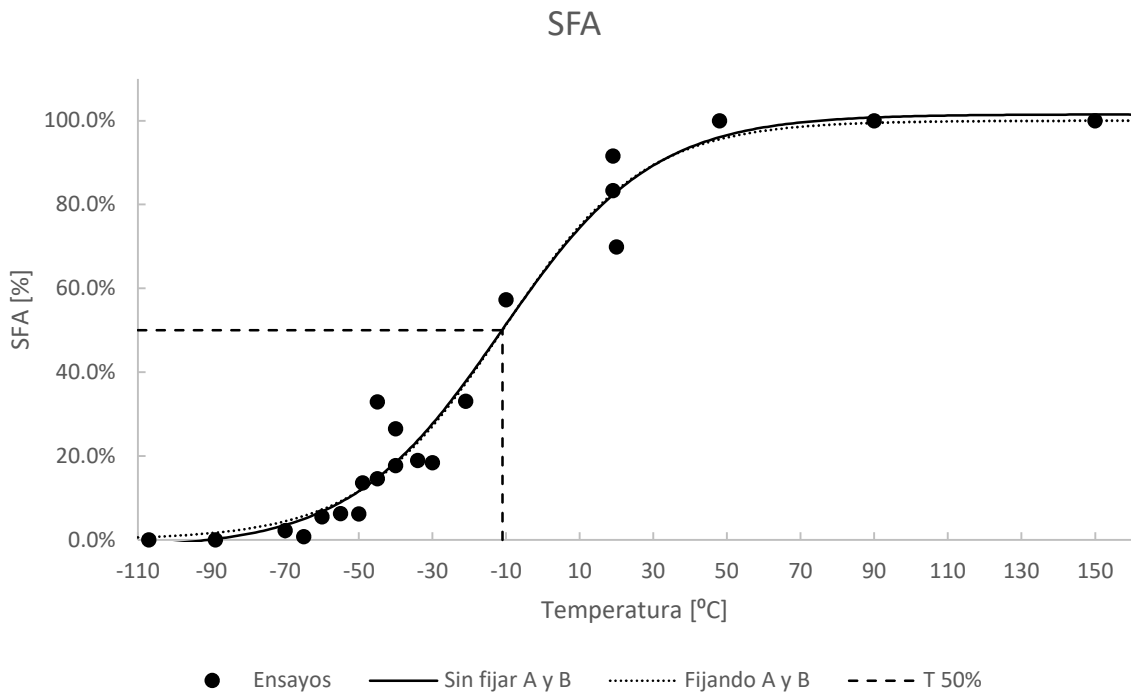


Figura 82 - Curva de transición de porcentaje de área dúctil

## 24 APÉNDICE XI – SOFTWARE

---

Se realizaron una serie de programas de cálculos para el cálculo de dimensiones máximas de entalla, cargas de fatiga, cálculo de compliance y área bajo la curva y los cálculos de  $J$ ,  $K_{Jclim}$  y  $T_0$ . Los programas son los siguientes:

- “Calculo de dimensiones” (encuentra el largo máximo de entalla)
- “Calculo Fatiga” (encuentra las cargas cíclicas máximas de fatigas permitidas por la norma)
- “Compliance y Análisis Gráfico Fractura V3.50” (calcula la recta compliance y el área teniendo en cuenta correcciones del tren de carga e indentación)
- “MC.1.Carga de datos V 0.10” (carga de datos para el cálculo)
- “MC.2 Calc Kjclim censored V0.20” (calcula el  $K_{Jclim}$  y los  $J$  y  $K_{Jc}$  del ensayo)
- “MC.3.Censura de resultados V1” (realiza el control de censura de resultados y normaliza a 1T)
- “MC.4.Calculo T0” (calcula la temperatura  $T_0$ )
- “MC.5.SINTAP” (verifica que se cumpla el criterio SINTAP de homogeneidad)
- “MC.6.MasterCurve V0.07” (grafica la Master Curve y exporta datos para graficarla)

A continuación, se describe cada uno de los programas y sus cálculos internos no sólo con el objetivo de conocer los mismos sino la norma y sus requerimientos.

### 24.1 CÁLCULO DE DIMENSIONES

En la primera ventana de este programa se requieren 3 datos: tipo de probeta, espesor y relación de proporción entre  $W/B$ . Con estos datos, se calculan las dimensiones de las probetas SE(B) de acuerdo con el punto 7.3 de la norma ASTM E1921-22 [16].

Una vez realizado este cálculo, se pasa a la segunda ventana (Figura 83) donde se calcula la profundidad máxima de entalla. En este caso, se tiene en cuenta el punto 7.4 de la norma, el cual realiza los cálculos teniendo en cuenta el espesor de la entalla, la punta de la misma, las propiedades mecánicas (tensiones de fluencia y máximas) del material, si la fatiga es en temperaturas más altas o más bajas del ensayo final de fractura y cuáles van a ser los  $K$  alcanzados durante el prefisurado.

Con esos datos, se realiza un cálculo de los largos mínimos que debe tener la fisura realizada por fatiga. Este valor, sumado al de la entalla mecánica, debe dar un valor de entalla total de  $W/2$ , dato que se utiliza para calcular la extensión máxima de la entalla mecánica.

Figura 83 - Segunda pestaña del programa "Calculo de dimensiones"

## 24.2 CÁLCULO DE FATIGA

Este programa calcula los pasos de carga cíclica que se deben aplicar a la probeta para generar la prefisura por fatiga.

### 24.2.1 Requerimientos de la norma

Estas cargas deben cumplir una serie de requerimientos de la norma que se encuentran en el punto 7.8 de la norma ASTM E1921-22 [16] y son los siguientes:

- Carga máxima permitida  $P_M$ : es la carga máxima que se permite ejercer a la probeta en todo momento de la operación. Esta carga es límite es la necesaria para que la probeta no deforme plásticamente debido a flexión simple. La misma disminuye a medida que el ligamento remanente ( $b$ ) disminuye.
- $K_{MAX}$  permitida durante el ciclado: se debe estar por debajo de un  $K$  que depende de la distancia al largo final de la prefisura y de las propiedades del material.
- Además, el  $K_f$  ( $K$  al final de la prefisura) debe ser por debajo de  $15 \text{ MPa}\sqrt{m}$  en este caso porque la temperatura de ensayo es menor que la de prefisurado. Esto está indicado en el programa.

### 24.2.2 Solicitud de datos del programa

El programa solicita los datos para realizar los cálculos correspondientes. En la Figura 84 se observa la primera ventana. Los datos solicitados son:

- 1) Tipo de probeta: por ahora el programa sólo funciona con probetas SE(B).
- 2) Dimensiones de la probeta: las mismas incluyen también la longitud de ensaya realizada a través de un mecanizado.
- 3) Valores de  $K$ : como se mencionó antes, la temperatura de ensayo puede ser mayor o menor que la de prefisurado y eso influye en los  $K_f$  permitidos.
- 4) Tensiones del material a la temperatura de prefisurado.
- 5) Factor  $R$ : el recomendado por la norma es 0.1, pero se puede variar para el cálculo.
- 6) Dimensiones de prefisura buscados: sin bien en la norma ASTM E1921-22 [16] el objetivo es llegar a un  $0,5W$  de prefisura, el programa se podría usar para prefisurado en probetas para ensayos de  $J$ .

Figura 84 - Programa de fatiga: 1ra ventana

### 24.2.3 Ajustes y presentación de datos

En la Figura 85 se observa la segunda ventana. En la misma se tiene los siguientes puntos:

- 1) Porcentaje de cambio de  $K$ : la norma permite hasta un 20% de cambio. Incluso en este trabajo se utilizó menos porque cuando el cambio es grande, al bajar el  $K$  la fisura tarda en recomenzar su avance.
- 2)  $K_f$  buscado: en el programa se permite buscar que el  $K_f$  sea distinto que el máximo permitido por la norma.
- 3) Cantidad de cambios de carga: es la cantidad de cambios en la carga de ciclado. Es una forma de definir las etapas de ciclado. En la norma se exige que como mínimo haya un cambio de carga.
- 4) Puntos para graficar: no afecta a los datos calculados. Es un parámetro que sirve para la exportación de datos a un gráfico.
- 5) Gráfico de  $K$  en función de  $a$ : se grafica los resultados de las  $K$  más grandes absolutas del ciclado. A medida que se modifican los valores solicitados, se muestran los resultados en este gráfico para observar que no se superen los valores permitidos por la norma.
- 6) Gráfico de  $P$  en función de  $a$ : se grafica la carga mínima y máxima de los ciclos.

7) Gráfico de  $K_{MAX}$  permitido por la norma: además de los  $K_{MAX}$  se observan el  $\Delta a_{SH}$  y el  $\Delta a_f$  calculado.

Una vez fijado los parámetros, el programa exporta los datos tabulados.

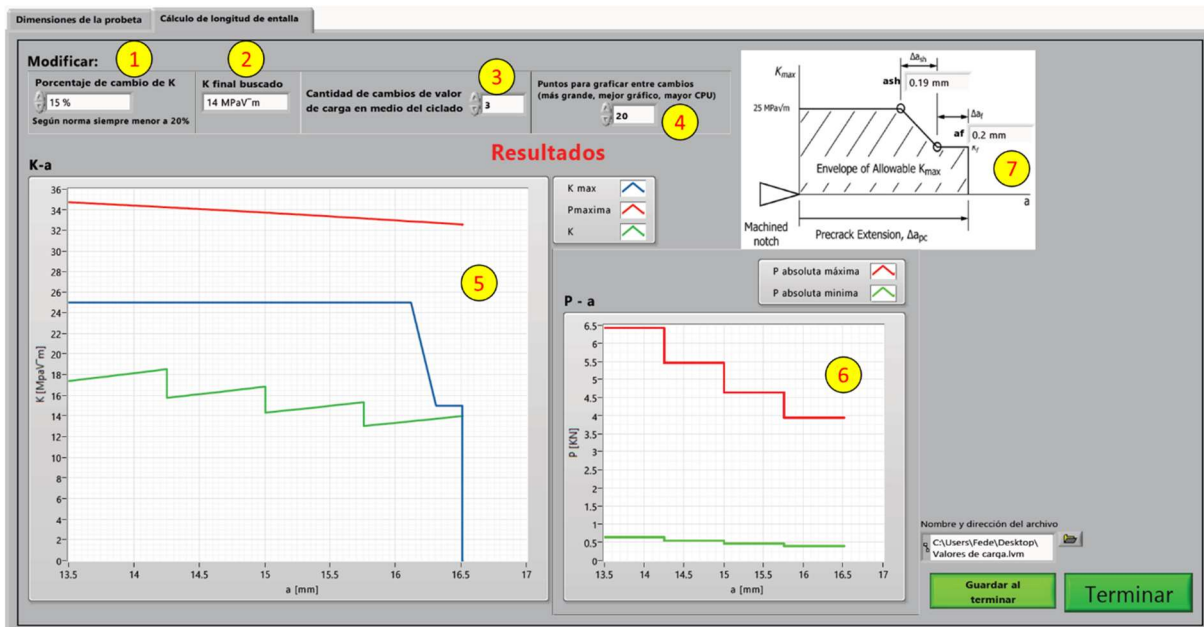


Figura 85 - Programa de fatiga: 2da ventana

### 24.3 COMPLIANCE Y ANÁLISIS DEL GRÁFICO DE ENSAYO

El programa está dividido en dos partes. Por un lado, se analiza la compliance de la probeta, lo cual permite realizar un cálculo del largo de entalla de la misma a través de la carga y descarga de la probeta. Por otro lado, el programa permite realizar a partir del gráfico, el cálculo del área debajo de la curva y la compliance del ensayo final de fractura.

En ambos casos, el programa realiza los cálculos a través de los datos del LVDT. Esto está permitido por la norma, la cual, como se mencionó en el trabajo, requiere una corrección de la rigidez del sistema e incluso de la indentación de la probeta. El método de corrección consiste en tomar una probeta del mismo material, longitud y espesor (no es necesario el mismo  $W$ ) y cargarlo elásticamente a la temperatura de ensayo hasta una carga que se considere por encima del máximo que se vaya a alcanzar en cualquier ensayo a esa temperatura. Sin embargo, como se observó en

el análisis, previamente a este paso se aplica a temperatura ambiente la carga máxima alcanzada por el ciclado de prefisuración de la probeta.

Todo este proceso implica que se debe tener los datos de carga de la probeta compliance previa a cada ensayo con una temperatura en particular y tamaño particular.

### 24.3.1 Cálculo de largo de fisura

Previo a la explicación el programa, es necesario recordar que se realizó un análisis de largo de fisura a partir del LLD obtenido por el LVDT, lo cual arroja como resultados valores no tan precisos como el CMOD. **Por otro lado, algo muy importante que no está aclarado en la norma es que la  $P_{MAX}$  debe corregirse en caso de realizar un Side Groove a la probeta, ya que la geometría de la misma cambia y se corre riesgo de una plastificación.**

En la primera pantalla para el cálculo de largo de fisura, se encuentra el ingreso de datos (Figura 86):

- 1) Ingreso de datos de la probeta de corrección: aquí se ingresan los datos de la probeta compliance que sirve como corrección de indentación y rigidez de la máquina. Se cargan las dimensiones y el módulo de rigidez y de poisson debido a que se descuenta de la deformación del sistema la deformación elástica propia de la probeta como si fuera una viga cantilever.
- 2) En este sector se indica la columna de los datos, debido a que el archivo puede tener distinto orden de columnado.
- 3) A continuación, se hace click al botón de carga, lo cual permite selección el archivo tabulado de la probeta de corrección.
- 4) Carga de los datos dimensionales y de elasticidad de la probeta.
- 5) Selección de columna de datos.
- 6) Botón de carga de archivo.

Figura 86 - Programa de cálculo de largo de fisura: 1ra ventana

A continuación, se pasa a la pestaña 2 (Figura 87):

- 1) Selección de puntos: aquí se seleccionan los puntos a tener en cuenta en la corrección. Los primeros puntos fueron sobre una probeta no indentada, por lo cual se elimina y se toman la segunda corrida realizada en la probeta de corrección.
- 2) Gráfico de deformación de la viga: se muestra en un gráfico la deformación elástica de la viga que será descontada de la deformación sin corrección.
- 3) Deformación sin corrección: es la deformación total que mide la máquina al cargar la probeta compliance.
- 4) Curva de corrección de desplazamiento: es la curva final que será descontada a los datos de la probeta con la prefisura a calcular.
- 5) Elección de procedimiento: a partir de esta ventana, el programa se divide en 2. Si se quiere analizar el largo de fisura o al cálculo de área para calcular posteriormente el  $K_{Jc}$ . Se elige la primera opción.

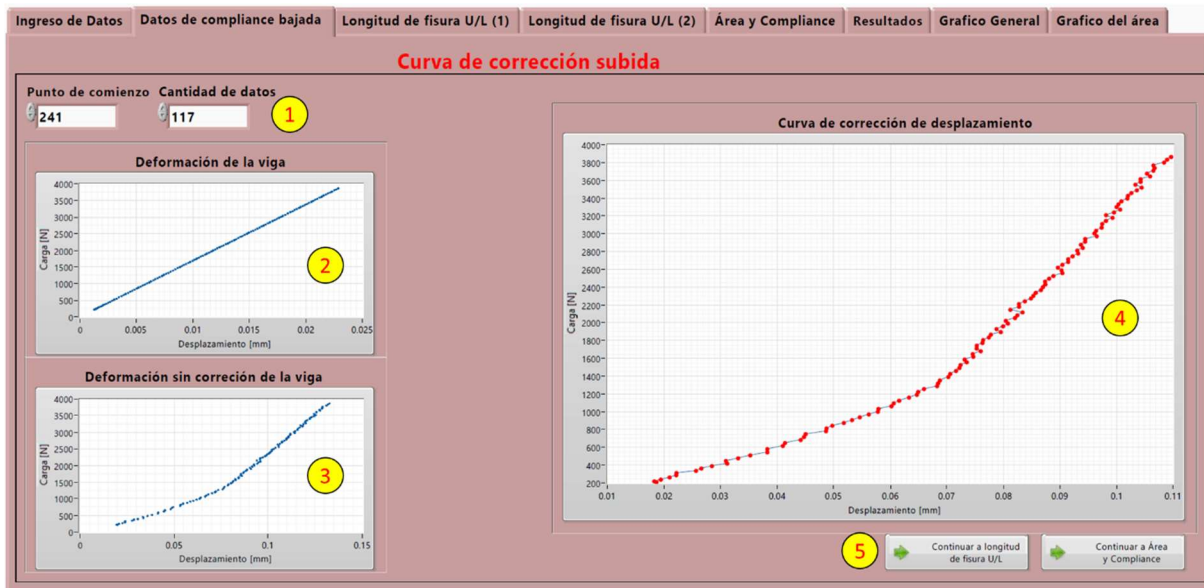


Figura 87 - Programa de cálculo de largo de fisura: 2da ventana

El siguiente paso es la selección de los datos de descarga y carga, los cuales se dan en la pestaña 3 (Figura 88):

- 1) Selección de datos de descarga de la probeta.
- 2) Gráficos de datos seleccionados. Se muestra la carga en función de la cantidad de datos y la carga en función del desplazamiento.
- 3) Idem 1 para carga.
- 4) Idem 2 para carga.
- 5) El gráfico muestra la carga y descarga corregida por la compliance de la máquina previamente carga. Se muestra la carga en función del desplazamiento.

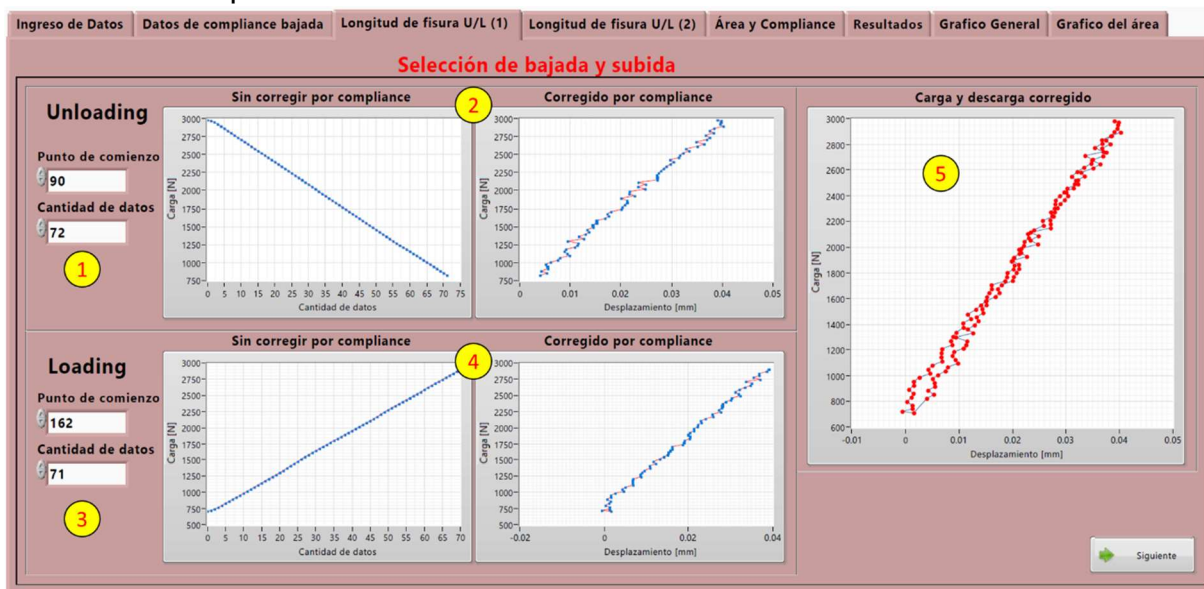


Figura 88 - Programa de cálculo de largo de fisura: 3ra ventana

La última etapa de selección se observa en la pestaña 4 en la Figura 89. Allí se encuentran lo siguiente:

- 1) Selección de datos en porcentaje de carga.
- 2) Gráfico con los datos seleccionados para la recta.
- 3) Recta de regresión y la compliance calculada.
- 4) Gráfico del total de puntos (sin selección) y la correspondiente recta calculada.

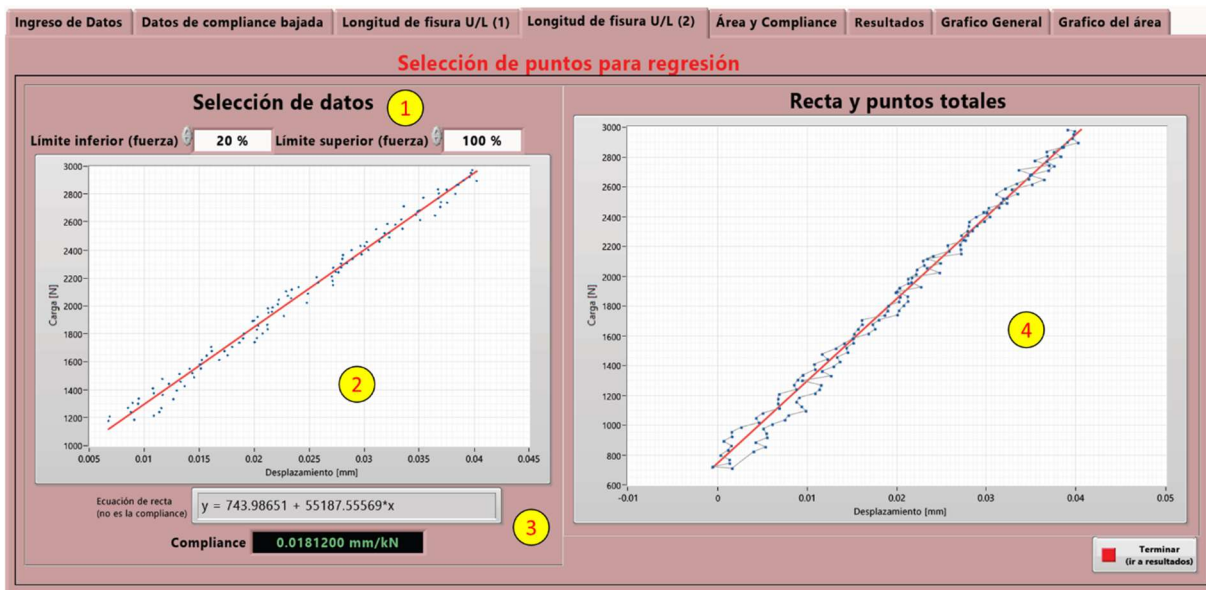


Figura 89 - Programa de cálculo de largo de fisura: 4ta ventana

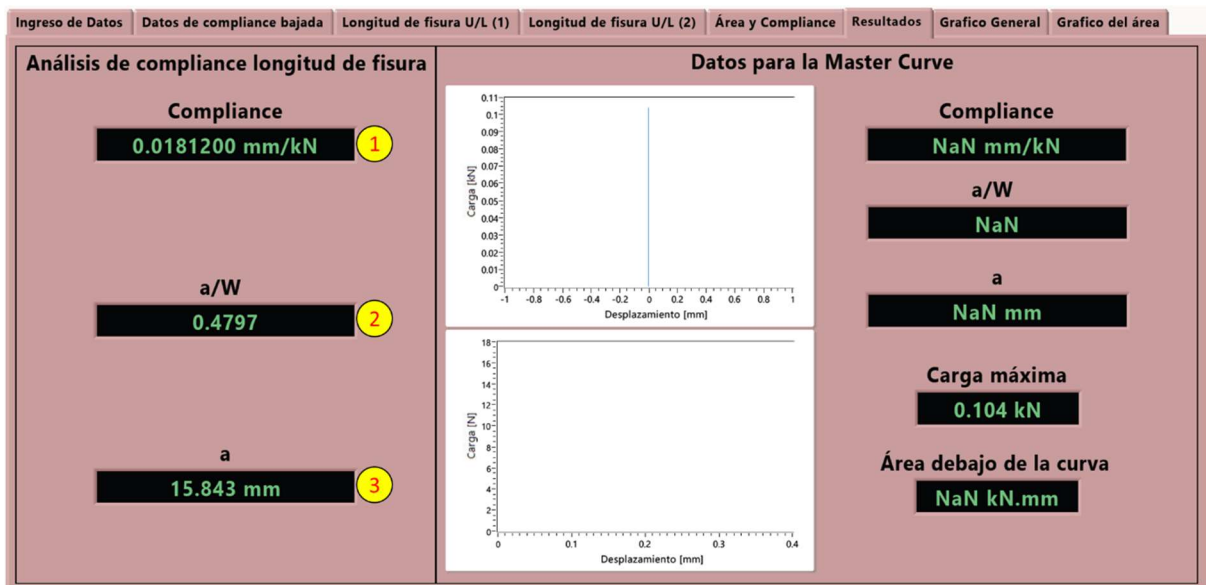


Figura 90 - Programa de cálculo de largo de fisura: 5ta ventana

Por último, se presentan los resultados de los cálculos en la Figura 90:

- 1) Compliance calculada.
- 2) Relación entre  $a/W$  calculada.
- 3)  $a$  calculada.

### 24.3.1.1 Fórmulas utilizadas

Mayormente se realizaron dos cálculos en este programa. El primero, tiene que ver con la corrección de la rigidez de la máquina. El segundo, respecto del cálculo de el largo de fisura a través de la compliance.

#### 24.3.1.1.1 Cálculos por rigidez del sistema

Los cálculos por rigidez fueron realizados a partir de la referencia que se encuentra en la norma ASTM 1820-20a [15], la cuales son aplicadas de la siguiente manera [35]. Se debe descontar sólo la rigidez de la máquina. Por ese motivo, se debe utilizar una probeta ciega (sin entalla) con el mismo espesor que la probeta para cargar al sistema máquina dispositivos. Sin embargo, a la hora de registrar la deformación, hay que descontar la que sufre la probeta ciega, ya que esa deformación no pertenece al sistema. Es por eso que se realizaron los cálculos de deformación de la probeta.

Por lo tanto, se tiene:

$$U_T = U_S + U_{EP} + U_{IP}$$

Donde:

- $U_T$  es la deformación total medida
- $U_S$  es la deformación del tren de carga
- $U_{EP}$  es la deformación elástica de la probeta
- $U_{IP}$  es la deformación por indentación de la probeta

El objetivo es obtener  $U_S + U_{IP}$  debido a que son las deformaciones que se deben descontar al valor medido en el ensayo. Por lo tanto:

$$U_T - U_{EP} = U_S + U_{IP}$$

$U_{EP}$  se puede calcular a través de las siguientes fórmulas:

$$U_{EP} = \delta_F + \delta_C$$

Donde:

- $\delta_F$  es la deformación por flexión en una viga
- $\delta_C$  es la deformación por corte

Por último:

$$\delta_F = \frac{PS^3}{4BW^3E}$$

$$\delta_C = \frac{0,6(1 + \nu)PS}{BWE}$$

#### 24.3.1.1.2 Cálculo del largo de fisura

La fórmula utilizada para obtener la relación  $a/W$  a partir de la recta compliance se mencionó en 10.4.1 . Se utilizó la fórmula de la norma ISO 12135-2016 [34] para  $S/W = 4$ , la cual es:

$$\frac{a}{W} = 0,9874 - 3,625\mu - 13,98\mu^2 + 94,52\mu^3 - 327,8\mu^4 - 650,677\mu^5$$

Donde:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{B_e \lambda EC} + 1}$$

$$B_e = B - \frac{(B - B_N)^2}{B}$$

Para el cálculo se tomó el coeficiente  $\lambda$  como 1.

#### 24.3.2 Cálculo de área, carga máxima y largo de fisura en el ensayo

En el programa, las dos primeras ventanas son las mismas que para el cálculo de largo de fisura. En la tercera ventana se observa (Figura 91):

- 1) Selección de datos del ensayo.
- 2) Gráfico de datos de ensayo seleccionados.

- 3) Gráfico de datos de ensayo seleccionados corregidos por deformación del sistema de carga.
- 4) Selección de datos para la regresión de la recta compliance.
- 5) Gráfico de la recta compliance y puntos tomados para realizar la recta.
- 6) Selección manual del punto de carga máxima y el punto de empalme para la integración. Esto último es debido a que se integra la primera parte a parte de la recta y luego se empalma con los datos de ensayo.
- 7) Gráfico con los datos solicitados en el punto anterior.

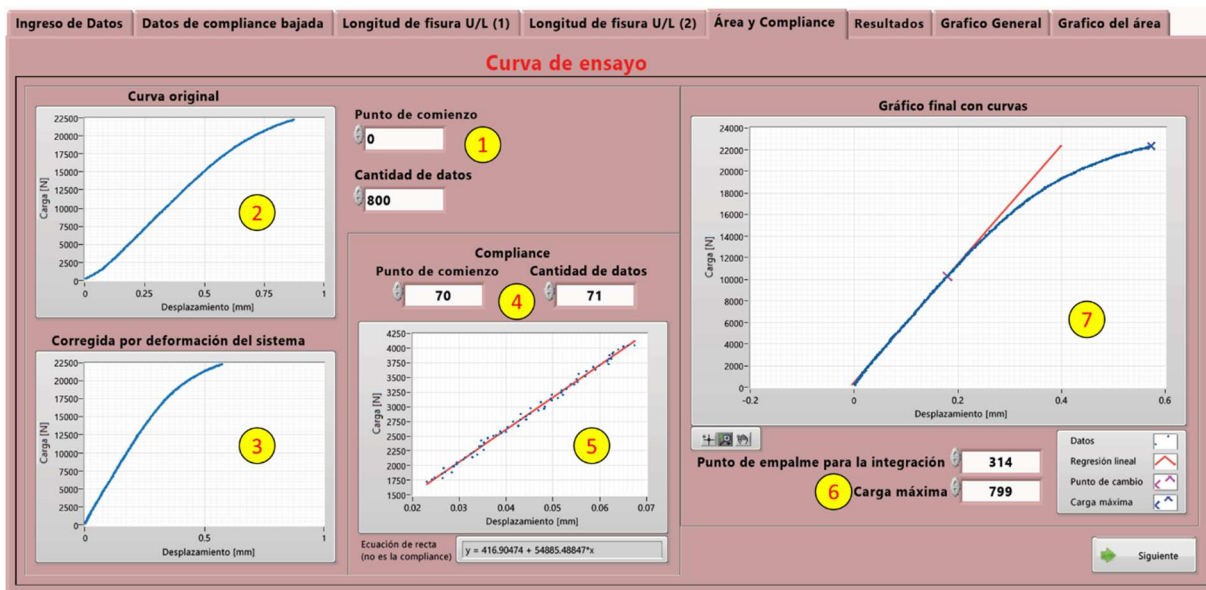


Figura 91 - Programa de cálculo de área, carga máxima y largo de fisura: 3ra ventana

En las 3 ventanas siguientes se presentan los resultados de los cálculos efectuados (Figura 92 y Figura 93):

- 1) Pendiente compliance.
- 2) Relación entre  $a/W$ .
- 3) Largo de fisura  $a$ .
- 4) Carga máxima.
- 5) Área debajo de la curva.
- 6) Gráfico con las curvas de pendiente y rotura.
- 7) Gráfico con el área.

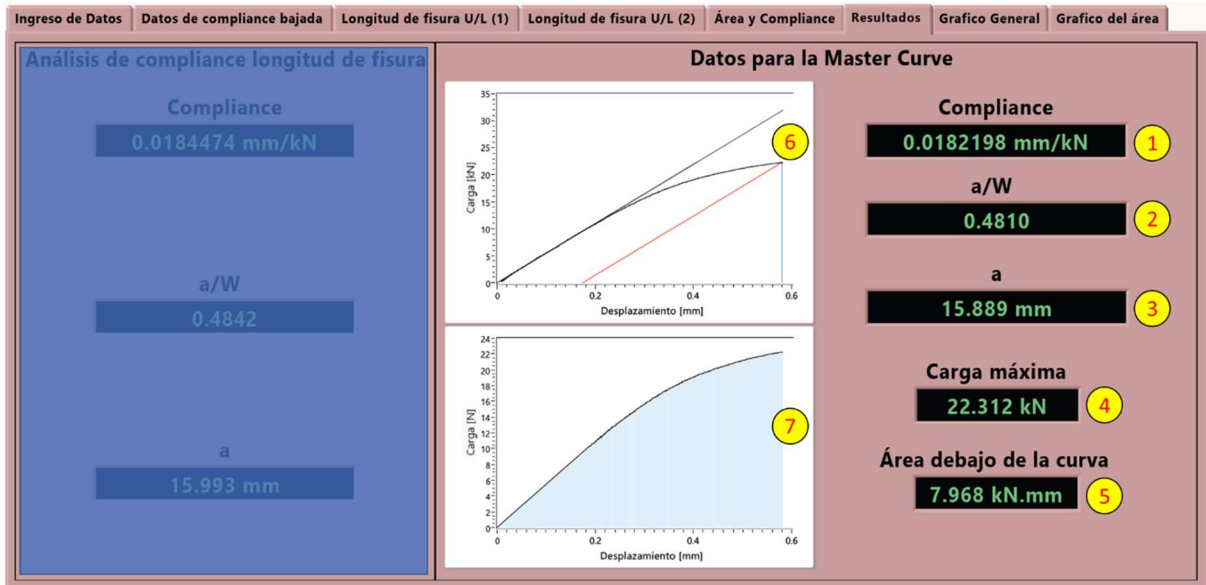


Figura 92 - Programa de cálculo de área, carga máxima y largo de fisura: 4ta ventana

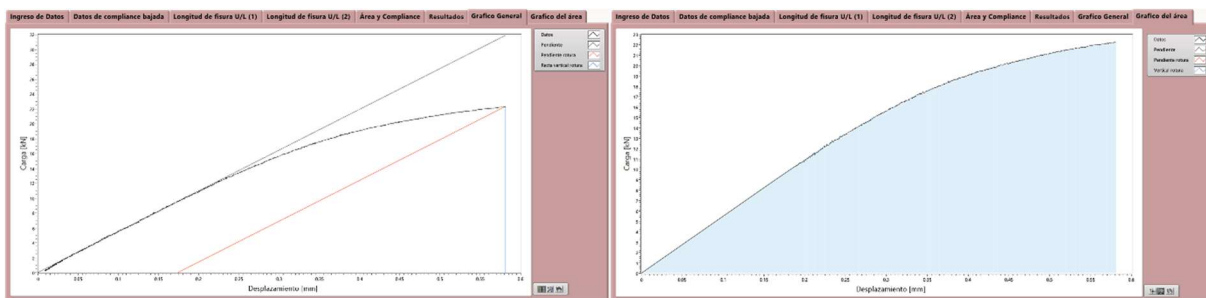


Figura 93 - Programa de cálculo de área, carga máxima y largo de fisura: 5ta y 6ta ventana

## 24.4 CÁLCULO DE $K_{Jc}$ Y MASTER CURVE

El cálculo de  $K_{Jc}$  y la  $T_0$  de la Master Curve se dividió en varios pequeños programas para mayor sencillez en la programación. Cada uno de estos programas guarda un archivo que es utilizado como dato para el siguiente.

### 24.4.1 MC 1 – Carga de datos

El primer programa es la carga de datos. Se realiza manualmente y se van anexando en un archivo tabulado. En la Figura 94 se observa la ventana donde se encuentran los siguientes puntos:

- 1) Identificación de la probeta.
- 2) Dimensiones reales de la probeta (no las nominales).

- 3) Datos del material y geometría de la probeta. En esta versión del programa, sólo se realiza el cálculo de probetas SE(B) con una  $\eta = 1,9$ .
- 4) Dimensiones de la prefisura. Estas mediciones deben ser realizadas por el método de los 9 puntos que se encuentra en el punto 8.8.1 de la norma ASTM E1921-22 [16].
- 5) Temperatura del ensayo.
- 6) Medidas de la prefisura calculadas previas al ensayo. Como se mencionó previamente, la norma específica un máximo de diferencia entre estas medidas. En esta versión del programa no se realizó la comparativa debido a los errores que se tienen al calcular la  $a_0$  a partir del LVDT, tema tratado en el análisis del presente trabajo.
- 7) Valores de la curva carga-LLD. Estos valores fueron obtenidos en el programa explicado en el punto anterior.

Figura 94 - Ventana del programa MC1

Luego de la carga de datos en la siguiente pestaña se encuentra la opción de chequear que están correctos. Se genera un archivo que se carga en el siguiente programa.

### 24.4.2 MC 2 – Cálculo de $J_C$ , $K_{JC}$ y $K_{Jclimit}$

El segundo programa es el cálculo de fractura. En la Figura 95 se observa la ventana del programa y cuales son los parámetros calculados.

Nº de probeta	T [°C]	Kjc [MPa√m]	Kjc limite [MPa√m]	Cumple Kjc limit	Cumple Kjcda	B	Jc[kJ/m2]	Je[kJ/m2]	Jp[kJ/m2]
161	-120.00	72.91	155.15	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	21.98	14.32	7.66
181	-120.00	38.68	155.15	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	6.19	6.17	0.02
233	-120.00	39.38	155.07	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	6.41	5.87	0.54
131	-100.00	143.78	149.72	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	85.98	15.23	70.74
162	-100.00	85.42	149.64	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.01	30.35	11.71	18.63
194	-100.00	104.06	149.64	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	45.04	12.70	32.34
234	-100.00	147.41	149.72	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	90.38	15.75	74.63
133	-110.00	61.80	152.27	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	15.83	10.87	4.96
191	-110.00	94.40	152.20	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	36.94	13.18	23.76
241	-110.00	83.74	152.27	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	29.07	12.11	16.97
132	-105.00	79.38	150.89	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.01	26.16	12.03	14.13
182	-105.00	47.63	150.97	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.01	9.42	7.81	1.61
212	-105.00	126.34	150.89	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.01	66.27	14.21	52.06
134	-115.00	63.09	153.59	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.01	16.48	10.94	5.54
142	-115.00	63.87	153.66	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	16.89	11.68	5.21
184	-115.00	122.93	153.59	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	62.56	14.88	47.69
192	-115.00	66.31	153.59	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	18.20	11.67	6.54
214	-115.00	103.73	153.59	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.01	44.55	14.09	30.46
163	-110.00	79.80	152.27	Correcto por Kjc limite	Correcto por Kjcda	10.00	26.40	13.28	13.12

Figura 95 - Ventana del programa MC2

Los cálculos de  $J_e$  fueron los siguientes:

$$J_e = \frac{(1 - \nu^2)K_e^2}{E}$$

Donde:

$$K_e = \{PS / [(BB_N)^{1/2} W^{3/2}]\} f(a_0/W)$$

Suelen haber tablas de consultas para el valor de  $f(a_0/W)$  pero en el programa se realizó el cálculo a través de la función:

$$f(a_0/W) = \frac{3(a_0/W)^{1/2}}{2[1 + 2(a_0/W)]} \frac{1,99 - (a_0/W)(1 - a_0/W)[2,15 - 3,93(a_0/W) + 2,7(a_0/W)^2]}{(1 - a_0/W)^{3/2}}$$

Para el  $J_p$ :

$$J_p = \frac{\eta A_p}{B_N b_0}$$

Donde:

- $A_p = A - 1/2 C_0 P^2$ ; A es es área total debajo de la curva y  $C_0$  es la pendiente compliance.
- $b_0$ : el ligamento remanente antes del ensayo.

Luego se realiza el cálculo de  $K_{Jc}$  y de  $K_{Jc\text{limit}}$ :

$$K_{Jc} = \sqrt{\frac{J_c E}{1 - \nu^2}}$$

$$K_{Jc\text{limit}} = \sqrt{\frac{E b_0 \sigma_{YS}}{30(1 - \nu^2)}}$$

Con estos valores guardados, se pueden realizar 2 caminos. En el trabajo se utilizó los programas hechos para la tesis y así calcular la  $T_0$ . Sin embargo, en el transcurso de la tesis fue publicada una nueva versión de la norma que sugería el uso de un programa de la NASA. Se chequeó que con ambos programas el valor de  $T_0$  es el mismo.

### 24.4.3 MC 3 – Chequeo con $K_{Jc\text{limit}}$ y normalización a 1T

En la Figura 96 se observa la ventana que reproduce los resultados.

The screenshot shows a software window titled 'Carga de datos de Kjc' with a sub-tab 'Resultados Censurados'. It contains a table with the following data:

Numero de probeta	T [°C]	Kjc [MPaV m]	Censurados	B [mm]	Kjc 1T [MPaV m]	Censurados	¿Censurado?	Kjc sin censurar [MPaV m]	Kjc 1T sin censurar [MPaV m]
161	-120.00	72.91		10.00	61.91			72.91	61.91
181	-120.00	38.68		10.00	34.80			38.68	34.80
233	-120.00	39.38		10.00	35.35			39.38	35.35
131	-100.00	143.78		10.00	118.05			143.78	118.05
162	-100.00	85.42		10.01	71.83			85.42	71.83
194	-100.00	104.06		10.00	86.59			104.06	86.59
234	-100.00	147.41		10.00	120.93			147.41	120.93
133	-110.00	61.80		10.00	53.11			61.80	53.11
191	-110.00	94.40		10.00	78.93			94.40	78.93
241	-110.00	83.74		10.00	70.49			83.74	70.49
132	-105.00	79.38		10.01	67.05			79.38	67.05
182	-105.00	47.63		10.01	41.89			47.63	41.89
212	-105.00	126.34		10.01	104.26			126.34	104.26
134	-115.00	63.09		10.01	54.14			63.09	54.14
142	-115.00	63.87		10.00	54.75			63.87	54.75
184	-115.00	122.93		10.00	101.53			122.93	101.53
192	-115.00	66.31		10.00	56.68			66.31	56.68
214	-115.00	103.73		10.01	86.34			103.73	86.34

Figura 96 - Ventana del programa MC3

En este programa se chequea que los valores estén por debajo de  $K_{Jc\text{limit}}$  y en caso contrario se reemplazan esos valores por el correspondiente según norma. Además, se normalizan todo a 1T.

#### 24.4.4 MC 4 – Cálculo de $T_0$

El cálculo de  $T_0$  es en este programa. La ventana se observa en la Figura 97. El programa realiza el cálculo de  $T_0$  a partir de una iteración por el método de bisección. Además, se calcula la sumatoria  $r$  y si los ensayos están dentro de la ventana de  $T_0 - 50^\circ\text{C} < T < T_0 + 50^\circ\text{C}$ .

The screenshot shows the 'Cálculo de T0' window of the MC4 software. On the left, there is a summary panel with the following information:

- Warning: "Los valores de Temperatura tienen una raíz en el intervalo"
- Important message: "Cumple que todas las temperaturas están dentro de la ventana ± 50°C"
- Calculated  $T_0$ : **-87.552 °C**
- Sum rini: **3.69**
- Message: "Cumple mayor a 1"
- Buttons: "Guardar y Salir" and "No guardar y salir"

The main table contains the following data:

Numero de probeta	T [°C]	¿Censored?	Ventana de Temp.	Sum rini	Kjc1T Censored
161	-120.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	61.91
181	-120.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	34.80
233	-120.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	35.35
131	-100.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.17	118.05
162	-100.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.17	71.83
194	-100.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.17	86.59
234	-100.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.17	120.93
133	-110.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	53.11
191	-110.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	78.93
241	-110.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	70.49
132	-105.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	67.05
182	-105.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	41.89
212	-105.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	104.26
134	-115.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	54.14
142	-115.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	54.75
184	-115.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	101.53
192	-115.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	56.68
214	-115.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	86.34
163	-110.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	67.37
211	-110.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	91.03
164	-120.00	Uncensored	OK ventana de temp.	0.14	40.40

Figura 97 - Ventana del programa MC4

El cálculo de la  $T_0$  se realiza a través de la siguiente iteración provista por la norma:

$$0 = \sum_{i=1}^N \delta_i \frac{\exp[0,019(T_i - T_{0Q})]}{11 + 77\exp[0,019(T_i - T_{0Q})]} - \sum_{i=1}^N \frac{(K_{Jc(i)} - 20)^4 \exp[0,019(T_i - T_{0Q})]}{\{11 + 77\exp[0,019(T_i - T_{0Q})]\}^5}$$

Donde:

- $T_{0Q}$  : es la temperatura  $T_0$  previa al cumplimiento de todos los requerimientos de la norma.
- $T_i$ : la temperatura correspondiente a  $K_{Jc(i)}$

- $K_{Jc(i)}$ : el dato censurado o no de la probeta
- $N$ : el número de probetas ensayadas
- $\delta_i$ : es 1 si el dato es sin censurar y 0 si es censurado

El cálculo de  $r$  está tabulado dependiendo de su distancia al  $T_0$ . La tabla se encuentra en el punto 10.3 de la norma ASTM E1921-22 [16]. Junto con la fórmula de la sumatoria correspondiente.

#### **24.4.5 MC 5 y 6 – Criterio SINTAP y gráfico**

Los últimos 2 programas realizan un análisis del criterio estadístico SINTAP y luego realizan un gráfico de los datos que son exportables a un archivo tabulado. Ese archivo fue utilizado para elaborar los gráficos de la tesis. El criterio SINTAP se ubica en el punto 10.6 de la norma.

## 25 APÉNDICE XII

Para obtener los datos característicos de los ensayos de tracción realizados en la tesis, se modificó un programa realizado previamente en la división. Las modificaciones permitieron un ordenamiento en los datos solicitados, una mejor estructura y, lo más importante, un análisis de los ensayos y datos a partir de los datos de desplazamiento del LVDT en el caso de las máquinas servohidráulicas o del encoder en el caso de las electromecánicas.

Se explicará brevemente en el consiste el programa. En la Figura 98 se observa la primera ventana, la cual requiere datos de entrada:

- 1) Geometría de la probeta: se puede elegir de sección redonda, prismática o utilizar una sección calculada previamente.
- 2) Longitudes iniciales: una de las modificaciones fue la solicitud de la longitud de la zona calibrada y del extensómetro. En versiones anteriores se suponía la elongación del extensómetro ( $L_e$ ) igual a la  $L_0$ . Además, la longitud de la zona calibrada permite realizar un análisis de elongación y búsqueda de  $\sigma_{0.2}$  sin extensómetro, situación encontrada en las probetas REVE.
- 3) Datos de la sección de la probeta.
- 4) Longitud final luego del ensayo entre los puntos marcados de la zona inicial  $G$ .

The screenshot shows a software window titled 'Ingreso de Datos' with several tabs: 'Selección de recta y rango de datos', 'Resultados', 'Grafico Extensómetro', and 'Grafico LVDT'. The main content area is divided into several sections:

- Forma de probeta (1):** A dropdown menu set to 'Prismática'.
- Longitudes (2):** Divided into 'Inicial' and 'Final' sections.
  - Inicial:** Includes 'Extensómetro' (7.62 mm), 'Inicial (G)' (10.75 mm), and 'Zona calibrada (A)' (12.5 mm).
  - Final:** Includes 'Longitud final' (13.72 mm).
- Area (3):** Divided into 'Redonda' and 'Prismática' sections.
  - Redonda:** Includes 'Diámetro (D)' (0 mm).
  - Prismática:** Includes 'Ancho (W)' (2.73 mm) and 'Espesor (T)' (2.21 mm).
- Indicar la columna correspondiente del archivo (6):** Includes 'Fuerza' (2), 'Extensómetro' (3), and 'Ensayo total (LVDT)' (1).
- Archivo de análisis:** Includes 'MTS (N)' and 'Columnas por Defecto' (ON).
- Buttons:** 'VALORES INGRESADOS' and 'SIGUIENTE'.

At the bottom, there are diagrams for 'Prismática' and 'Redonda' test specimens with dimension lines.

Figura 98 - Programa de análisis de tracción: 1ra ventana

- 5) Datos de la sección luego de rotura de la probeta.
- 6) Selección de datos tabulados de ingreso: el programa sirve para el análisis de datos obtenidos en ensayos de los dos tipos de máquina de la división, y también tiene utilidad si el ordenamiento tabulado de los datos es variado. Es por esto que se puede seleccionar la columna de cada dato y si los datos de carga están en *kN* o en *kg*.

Luego de esa ventana se procede a la selección de datos, la cual también fue modificada para el presente trabajo. La misma se encuentra en la Figura 99 y se encuentran los siguientes puntos:

- 1) Selección de datos para la recta a partir de los datos del extensómetro: estos serán utilizados para luego calcular el  $\sigma_{0,2}$ .
- 2) Gráfico con recta y puntos seleccionados para la regresión.
- 3) Selección de datos para mostrar en el gráfico final del extensómetro o para calculo de fluencia: en el segundo caso, si existe la fluencia discontinua, se debe calcular el  $\sigma_{LYS}$  y el  $\sigma_{UYS}$ . La selección para estos casos es manual. Se debe seleccionar en el gráfico los puntos posteriores a la zona más baja de la fluencia, pero anteriores a que suban por encima de los valores de la zona alta de fluencia.
- 4) Gráfico con los datos seleccionados del extensómetro.

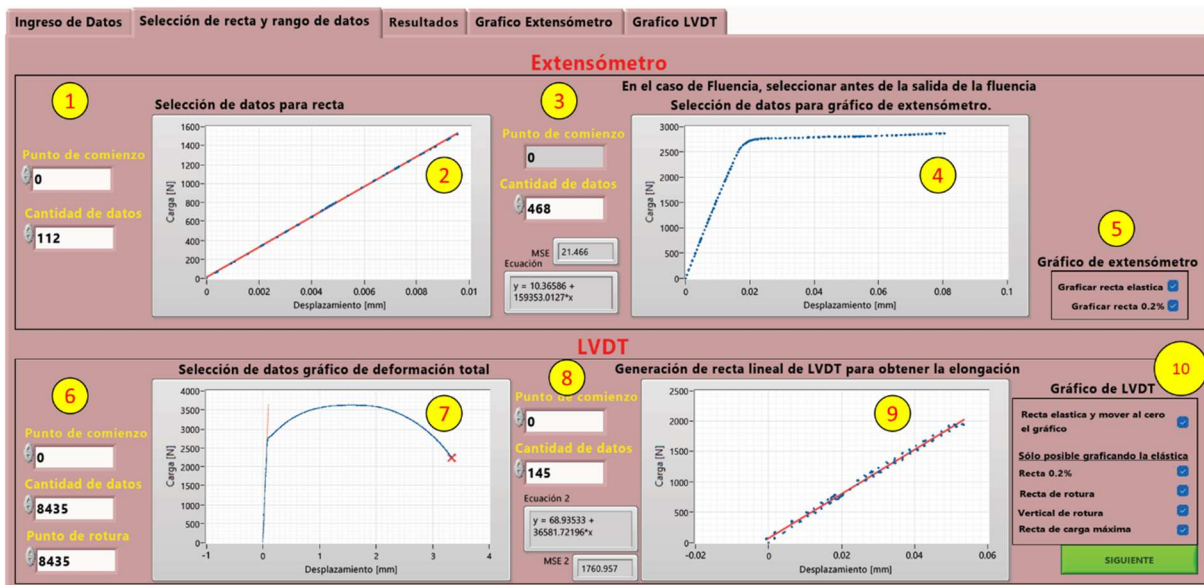


Figura 99 - Programa de análisis de tracción: 2da ventana

- 5) Selección de rectas a graficar: las casillas permiten la selección de que rectas se van a graficar, debido a que, por ejemplo, si hay fluencia no se debe graficar una recta 0,2%.
- 6) Selección de datos para gráfico de LVDT: se deben seleccionar los datos a graficar del LVDT y también el punto de rotura. Para futuras modificaciones, queda pendiente el dato de fuerza o tensión de rotura.
- 7) Gráfico para observar los datos seleccionados.
- 8) Selección de datos para recta en LVDT: como se mencionó antes, se agregaron opciones para el trabajado con los datos del LVDT o encoder. En este caso, se sumó la opción de obtener rectas de rigidez a partir de estos datos, lo cual también permite graficar otras rectas.
- 9) Gráfico de recta y datos de regresión para la recta.
- 10) Selección de rectas a graficar en el gráfico de LVDT o encoder.

Por último, se muestran los resultados en tres ventanas, una de resultados numéricos que se observa en la Figura 100 y dos de gráficos. Los datos obtenidos son los siguientes:

- 1) Datos geométricos medidos sobre la probeta: se encuentran los datos de  $\varepsilon_T$  y de  $Z$  calculados por mediciones físicas sobre la probeta.
- 2) Datos obtenidos del extensómetro: aquí se encuentran los datos de fuerza y tensión 0,2% y fluencia. El programa calcula ambas y el usuario debe saber cual de las dos es la correcta.
- 3) Datos de tensión de partir del LVDT o encoder: aquí se encuentra la fuerza máxima y también la fuerza 0,2% obtenida a partir de estos datos de desplazamiento. La obtención de este valor es ligeramente distinto al obtenido por extensómetro, y esa diferencia dependerá del tipo de probeta, rigidez del sistema y material.
- 4) Datos de elongación a partir del LDVT o encoder: en este caso, se lista los datos obtenidos no por mediciones físicas, sino por mediciones sobre el gráfico.
- 5) Gráfico del extensómetro: se grafican los datos y rectas solicitados aquí y en la pestaña siguientes del programa.

6) Gráfico del LVDT o encoder: de grafican los datos y rectas solicitados aquí y en dos pestañas adelante en el programa.

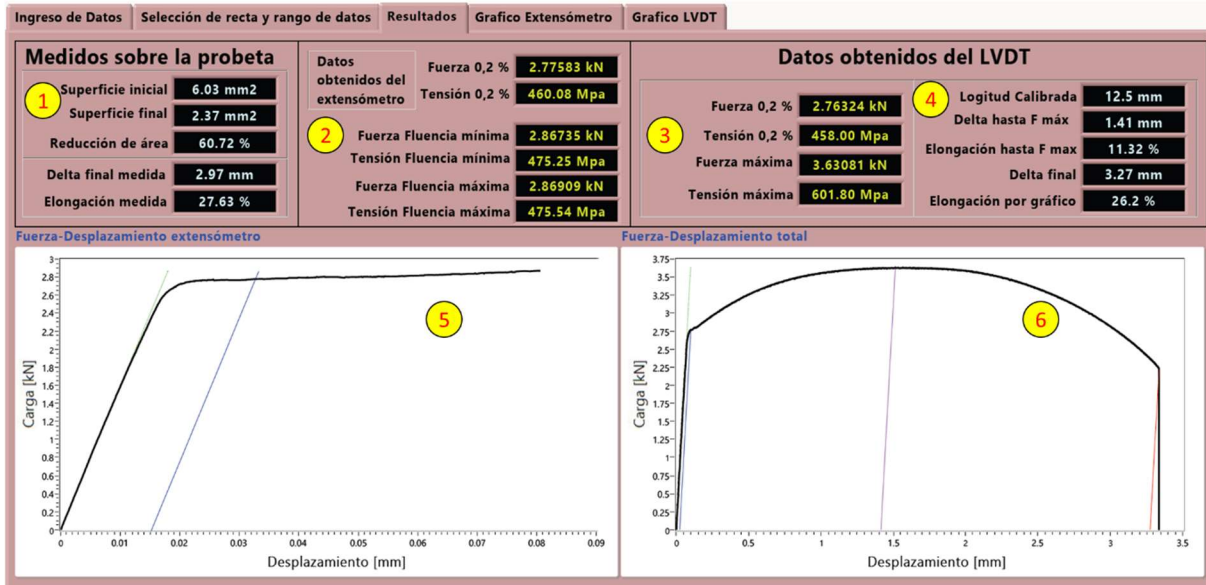


Figura 100 - Programa de análisis de tracción: 3ra ventana

## 26 APÉNDICE XIII

Para poder medir y tener un registro fotográfico de la probeta y su fisura, se utilizó un escaner como instrumento de medición. Este método se basó en un paper [78], en el cual se realiza una calibración y verificación de las mejores zonas de un escaner para poder realizar las mediciones.

Se realizó la adquisición de un escaner “Epson Perfection V600 Photo”, el cual tiene la resolución adecuada para poder cumplir con la norma ASTM E1820-10a [15], la cual establece la precisión y resoluciones mínimas. En este caso, se tomó como válido que el mejor lugar para realizar las mediciones es en el centro del escaner.

Para poder calibrar el mismo se utilizaron bloques patrones mitutoyo calibrados y trazables que se encuentren cerca de la medida final que se va a realizar (Figura 101). La calibración se realizó de forma longitudinal y transversal debido a que el escalado es distinto dependiendo de la dirección. En el caso de las probetas 0.65T, las medidas de las prefisuras son de aproximadamente 16,51 mm, por lo tanto, se utilizaron patrones de 16,00 mm, 16,50 mm y 17,00 mm. Respecto de las probetas PCCv, se realizaron medidas con patrones de 4,50 mm, 5,00 mm, 5,50 mm y 10 mm. Para todos los patrones, se tomaron 3 medidas por patrón en cada dirección. Los escaneos de los patrones tienen como resultado la imagen de la Figura 102.



Figura 101 - Medición del bloque patrón de 16,50 mm



Figura 102 - Escaneo de un bloque patrón de 4,50 mm

La teoría dice que la escala del escaner depende de la resolución de escaneado del mismo, es decir, si el escaner tiene 6400 dpi, hay 6400 pixeles en una pulgada. Sin embargo, esta medida no es exacta, aunque bastante precisa. Los valores de corrección de escala fueron de 1,003442 para longitudinal y 1,006417 en transversal,

es decir, errores de corrección muy menores al 1% y con una repetibilidad alta, ya que la desviación respecto del promedio fue menor a la milésima en todos los patrones.

Posteriormente se realizó una medición y calibración del equipo con los mismos patrones, esta vez realizando los cálculos de incertidumbre correspondientes con una  $U$  expandida al 95%, lo cual dio como resultado que todas las medidas, tanto longitudinales como transversales, cumplen con la norma, la cual obliga a que la incertidumbre expandida sea de 0,025 mm sin importar la medición.

Es importante destacar que cada vez que se realiza la medición de una probeta, se chequea que la longitud medida de  $B$  y  $W$  sea la misma que la tomada a través del micrómetro o calibre dentro de las tolerancias de los instrumentos.

La medición de la probeta se realiza colocando de canto la probeta debido a que la superficie de fractura se encuentra en el medio de la misma. En la Figura 103 se observa el caso de las probetas PCCv o de Charpy, las cuales también fueron escaneadas para poder observar y medir el porcentaje de área dúctil. Como resultado se obtiene una imagen como la de la Figura 104, la cual se midieron a través del Solid Edge.



Figura 103 - Dispositivo para sujetar la probeta PCCv durante el escaneo



Figura 104 - Escaneo de la superficie de fractura de una probeta 0.65T

## 27 APÉNDICE XIV

A continuación, se realiza una pequeña explicación del crack arrest extraída de [13]. No pretende ser un desarrollo detallado de la temática, sino un pequeño resumen para comprender cuales pueden ser las explicaciones del fenómeno.

Cuando la fuerza impulsora del crecimiento de una fisura excede la resistencia del material, la estructura se vuelve inestable y ocurre la propagación rápida de la fisura. La Figura 105 demuestra un caso simple donde la tasa de liberación de energía cuasiestática se incrementa linealmente con el largo de la fisura y la resistencia del material es constante. Como la primera ley de la de termodinámica debe ser cumplida, incluso en un sistema inestable, el exceso de energía no desaparece, sino que es convertido en energía cinética. La magnitud de esta energía cinética es lo que establece la velocidad del avance de la fisura.

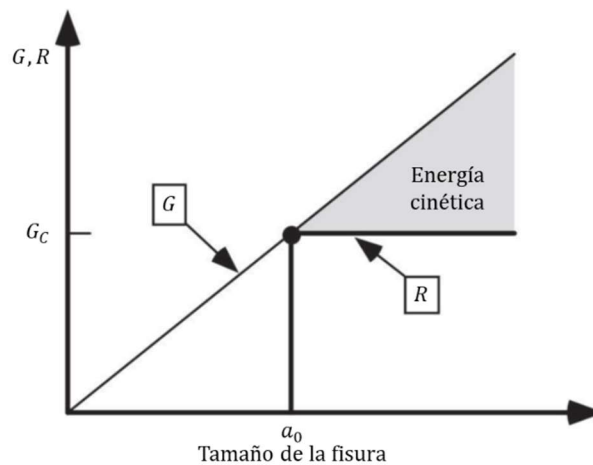


Figura 105 - Propagación de una fisura inestable

En el caso cuasiestático, una fisura es estable si la fuerza impulsora es menor o igual a la resistencia del material. Además, si la energía disponible para incrementar la extensión de una fisura rápida es menor a la resistencia del material, la fisura se arresta. La Figura 106 demuestra un caso simplificado de un crack arrest. Tengamos como supuesto que la fractura por clivaje se inicia cuando  $K_I = K_{Ic}$ . La resistencia que encuentra una propagación rápida de la fractura por clivaje es menor que la inicial por clivaje debido a que la deformación plástica en la punta de una fisura en movimiento es eliminada por la alta velocidad de la tensión local. Si la estructura tiene una caída en la curva de la fuerza impulsora, eventualmente cruza la curva de resistencia. Sin

embargo, el arresto no ocurre en este punto debido a que el sistema contiene energía cinética que puede ser convertida en energía de fractura. El arresto sucede debajo de la curva de resistencia luego de que la mayoría de la energía fue disipada. La aparente resistencia al arresto de fractura  $K_{Ia}$ , es menor que la verdadera resistencia  $K_{IA}$ . La diferencia entre  $K_{Ia}$  y  $K_{IA}$  está supeditada a la energía cinética creada durante la propagación;  $K_{IA}$  es una propiedad del material, en cambio  $K_{Ia}$  depende de la geometría.

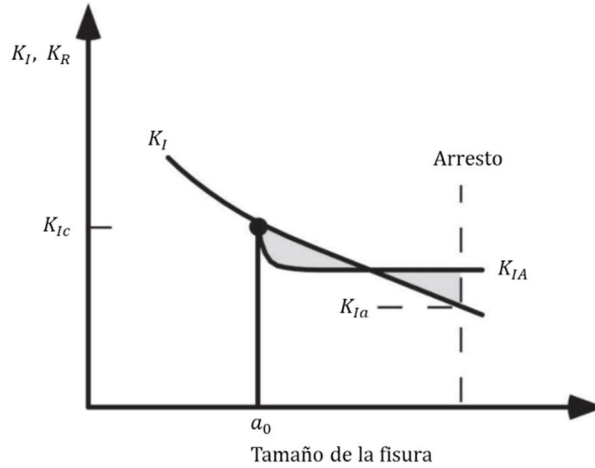


Figura 106 - Propagación inestable y arresto luego de la baja de la fuerza impulsora

## 28 APÉNDICE XV

---

### 28.1 FUNDAMENTOS

Fue propuesta por William Sealy Gosset en 1908 bajo el seudónimo de “student” debido a que se debían mantener en secreto los procesos industriales en la fábrica de cerveza en la cual trabajaba. La prueba t-student es una prueba estadística paramétrica, utilizada para comparar promedios en grupos de muestras relativamente pequeños ( $n < 30$ ). Las muestras de las poblaciones deben ser de distribución normal.

En este caso, se realiza una comparación entre dos muestras que se consideran independientes con varianzas diferentes. Es una prueba de hipótesis, donde hipótesis nula ( $H_0$ ) supone la igualdad de los promedios de la muestra 1 y la 2 ( $\mu_1 = \mu_2$ ). Caso contrario:  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ . El estadístico de prueba es:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

Donde:

- $t$ : estadístico t calculado
- $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ : medias muestrales
- $S_c^2$ : varianza común.  $S_c^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}$
- $n_1 + n_2 - 2$ : son los grados de libertad

La hipótesis nula ( $H_0$ ) es rechazada si  $t > t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n_1+n_2-2)}$  como se observa en la Figura 107.

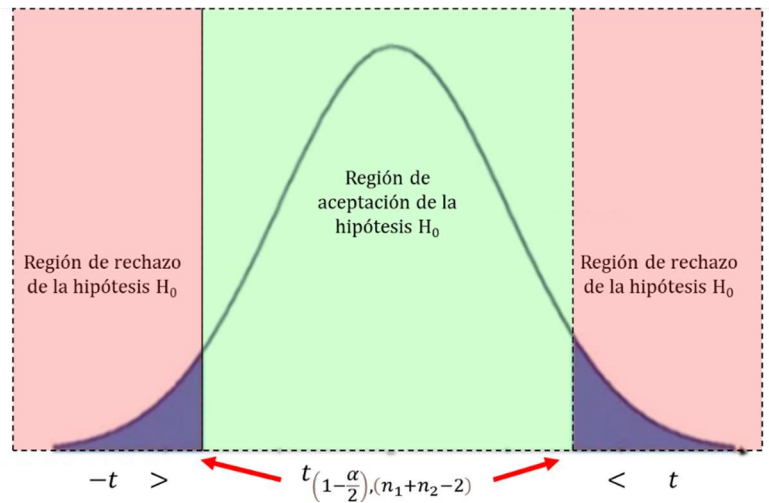


Figura 107 - Gráficos con los criterios de aceptación de la t-student

Se muestra a continuación dos ejemplos. Uno en donde estadísticamente la muestra se considera la misma y otro caso donde no. Respecto del primero, se compara la  $\sigma_{0.2}$  del grupo de probetas redondas grandes respecto de las rectangulares grandes:

Tipo de probeta	Número de probeta	$\sigma_{0.2}$ [MPa]
Redondas grandes	T01	475,15
	T02	468,13
Rectangulares grandes	T03	468,90
	T04	471,21

Tabla 15 - Datos de  $\sigma_{0.2}$  para cálculo por t-student

Se calculan los datos requeridos:

$$\begin{aligned} \bar{X}_1 &= 471,64 & \bar{X}_2 &= 470,06 \\ n_1 &= 2 & n_2 &= 2 \\ S_1^2 &= 24,64 & S_2^2 &= 2,67 \\ S_c^2 &= 13,65 \\ t &= 0,4289 & \neq & t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n_1+n_2-2)} = 4,3027 \end{aligned}$$

Donde  $\alpha = 0,05$ , es decir, una confianza del 0,95.

Por lo tanto, la hipótesis nula no es rechazada y los valores son iguales. En el caso siguientes, hubo un rechazo de la hipótesis  $H_0$ :

Tipo de probeta	Número de probeta	$\sigma_f$ [MPa]
Redondas grandes	T01	371,81
	T02	366,91
Redonda pequeña	T13	342,74
	T14	331,26

Tabla 16 - Datos de  $\sigma_f$  para cálculo por t-student

Se calculan los datos requeridos:

$$\begin{aligned} \bar{X}_1 &= 369,36 & \bar{X}_2 &= 337,00 \\ n_1 &= 2 & n_2 &= 2 \\ S_1^2 &= 12,01 & S_2^2 &= 38,92 \\ S_c^2 &= 38,92 \\ t &= 5,19 & &> t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n_1+n_2-2)} = 4,3027 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada y los valores son estadísticamente distintos.

## 28.2 RESULTADOS

A continuación, se encuentran los gráficos del análisis de tensiones a través del método t-student.

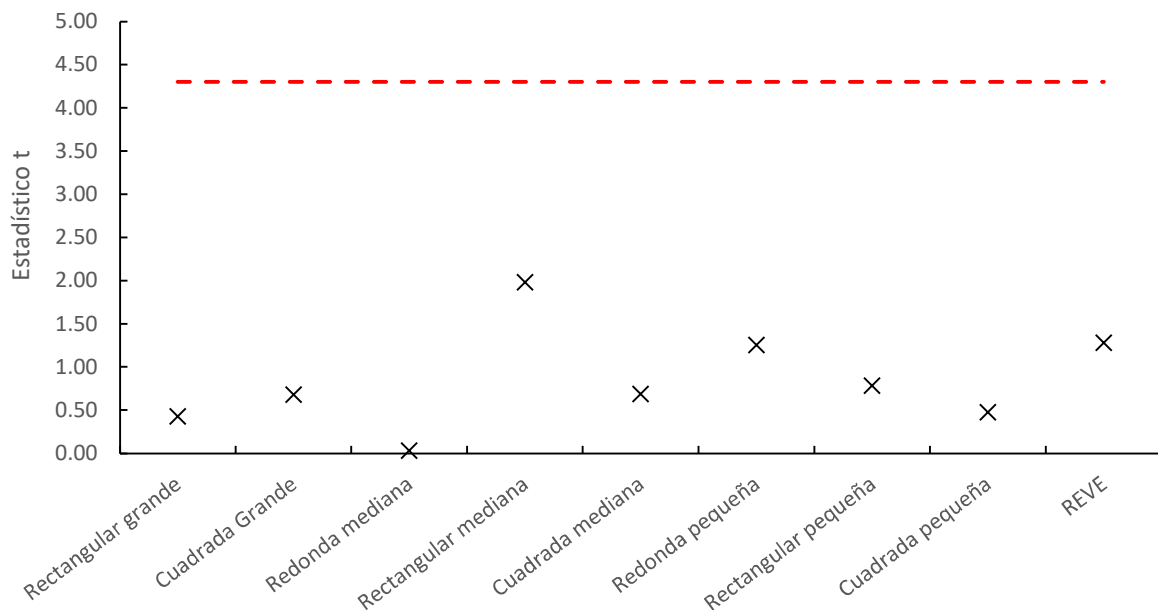


Figura 108 - Estadístico t de la tensión de fluencia para cada tipo de probeta

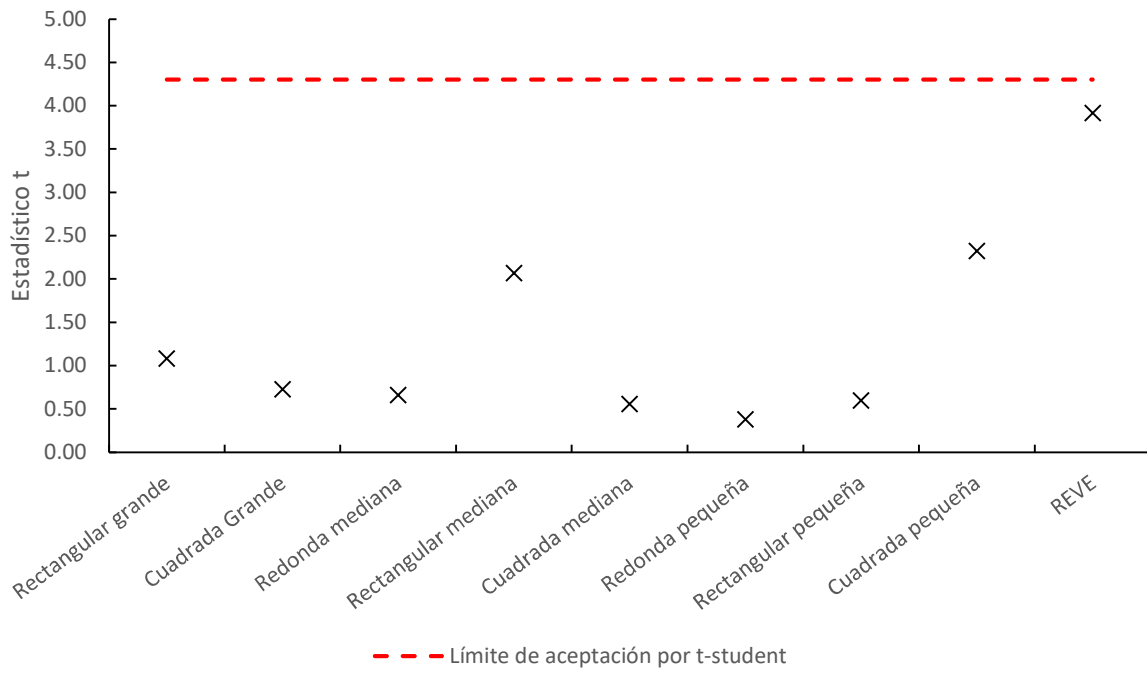


Figura 110 - Estadístico t de la tensión de máxima para cada tipo de probeta

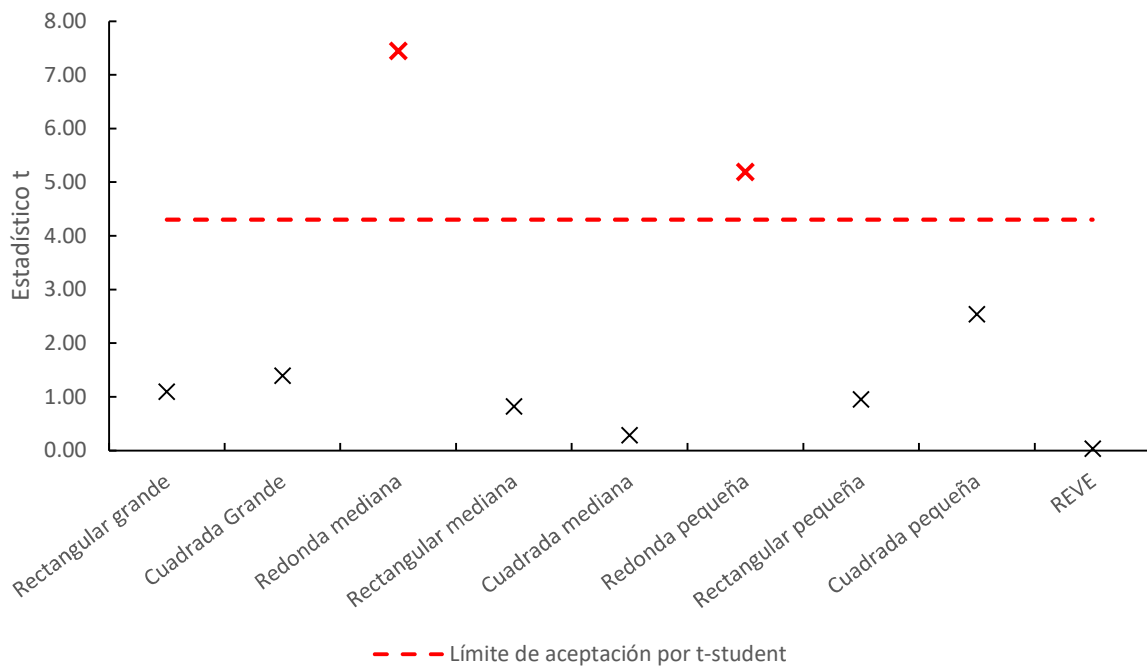


Figura 109 - Estadístico t de la tensión de fractura para cada tipo de probeta

## 29 APÉNDICE XVI



### COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Av. Gral Paz 1499 - San Martín (1650)  
Buenos Aires - ARGENTINA

054 11 67727857

casterra@cnea.gov.ar

www.cnea.gob.ar

#### General Information

<b>Date</b>	abril 07, 2022
<b>Operator</b>	admin
<b>Hardness tester type</b>	FALCON 611

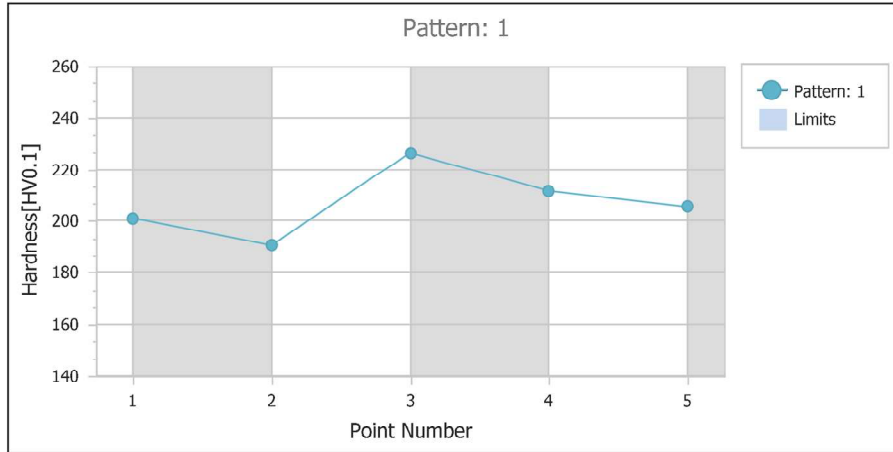
Enter Comments

#### Hardness Test Information

<b>Method</b>	VICKERS
<b>Hardness scale</b>	HV0.1
<b>Dwell time</b>	10 sec.

#### Test Pattern

#### Diagrams



**ID** 1

**Hardness** 201,15 HV0.1

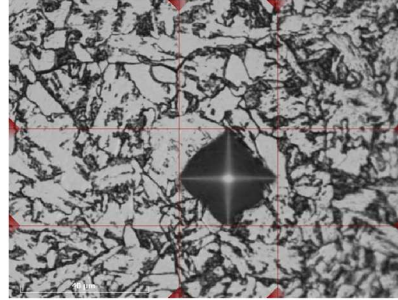
**d1** 0,0942 mm

**d2** 0,0922 mm

**position** x: 57,47 mm  
y: 60,54 mm

**Conversions**

**Time** 8:30:25



**ID** 2

**Hardness** 190,74 HV0.1

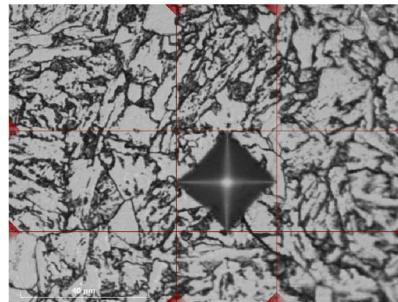
**d1** 0,0954 mm

**d2** 0,0961 mm

**position** x: 57,36 mm  
y: 60,53 mm

**Conversions**

**Time** 8:32:40



**ID** 3

**Hardness** 226,45 HV0.1

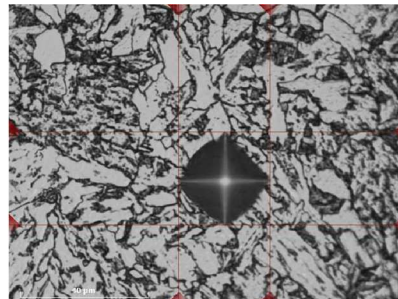
**d1** 0,0871 mm

**d2** 0,0886 mm

**position** x: 57,16 mm  
y: 60,56 mm

**Conversions**

**Time** 8:34:29



**ID** 4

**Hardness** 211,6 HV0.1

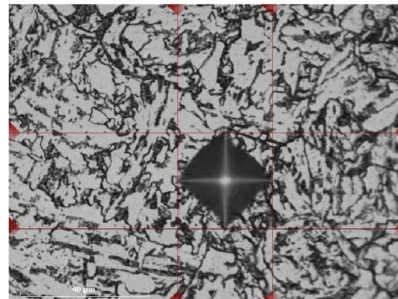
**d1** 0,0904 mm

**d2** 0,0914 mm

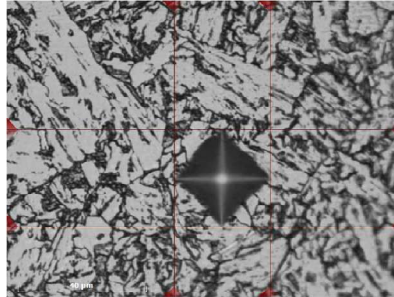
**position** x: 56,99 mm  
y: 60,55 mm

**Conversions**

**Time** 8:38:02



**ID** 5  
**Hardness** 205,5 HV0.1  
**d1** 0,0916 mm  
**d2** 0,0929 mm  
**position** x: 56,82 mm  
y: 60,58 mm  
**Conversions**  
**Time** 8:39:49



**Measurement Tables**

**Pattern: 1**

Measurement Index	Result
1	201,15 HV0.1
2	190,74 HV0.1
3	226,45 HV0.1
4	211,6 HV0.1
5	205,5 HV0.1

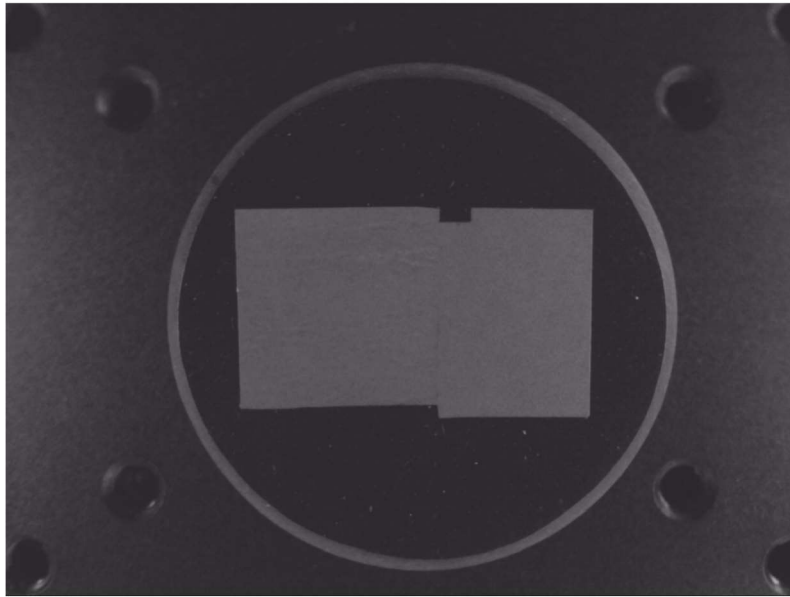
**Statistics**

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
1	207.09	190.74	226.45	13.23	35.71	0.00	0.00	0.00	-5.22

## Snapshot

---

Snapshot 1



Enter Comments



**CONISION NACIONAL DE  
ENERGIA ATOMICA**

Av. Gral Paz 1499 - San Martín (1650)  
Buenos Aires - ARGENTINA

054 11 67727857  
casterra@cnea.gov.ar  
www.cnea.gob.ar

**General Information**

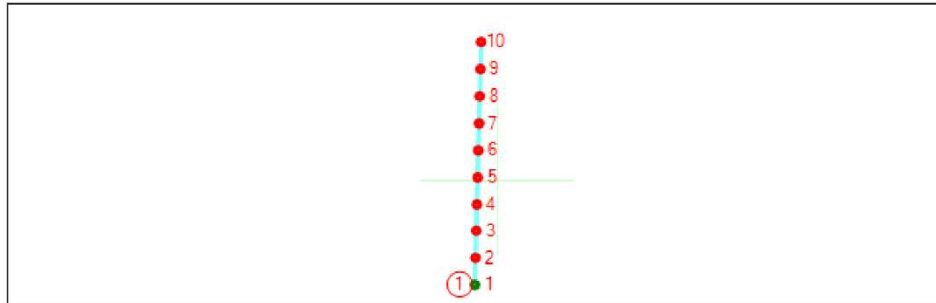
**Date** abril 07, 2022  
**Operator** admin  
**Hardness tester type** FALCON 611

Enter Comments

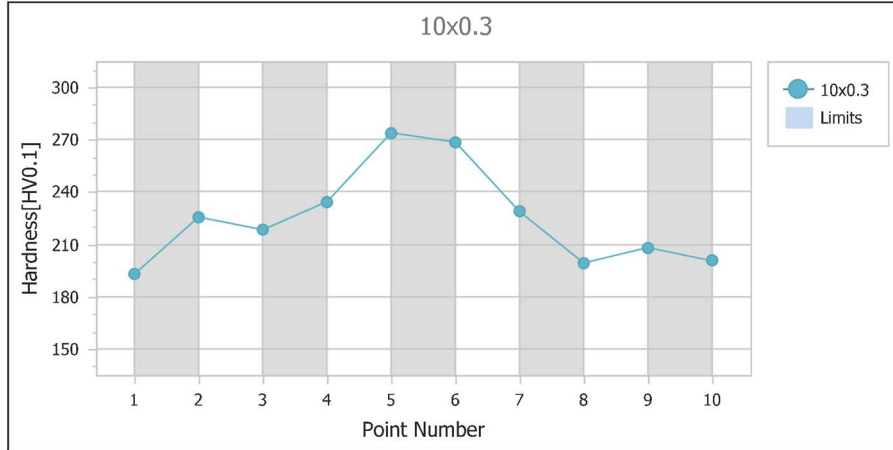
**Hardness Test Information**

**Method** VICKERS  
**Hardness scale** HV0.1  
**Dwell time** 10 sec.

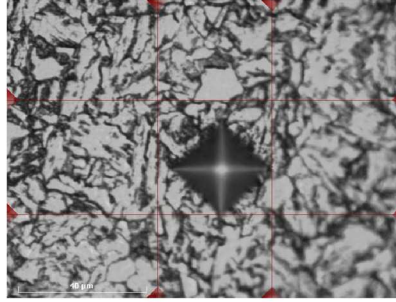
**Test Pattern**



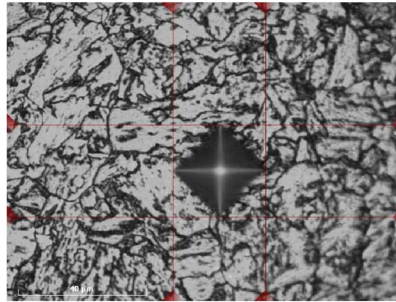
**Diagrams**



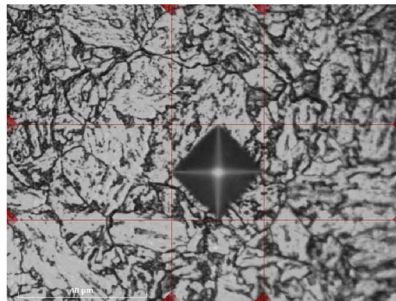
**ID** 1 (1/1)  
**Hardness** 193,01 HV0.1  
**d1** 0,1097 mm  
**d2** 0,1101 mm  
**position** x: 60,71 mm  
y: 61,76 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:18:08



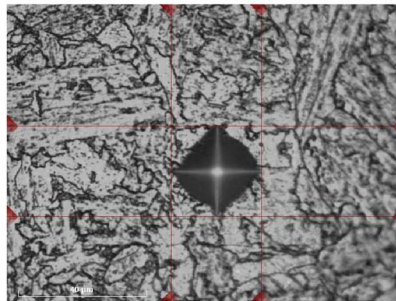
**ID** 2 (1/1)  
**Hardness** 225,64 HV0.1  
**d1** 0,0883 mm  
**d2** 0,0877 mm  
**position** x: 60,72 mm  
y: 62,06 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:19:45



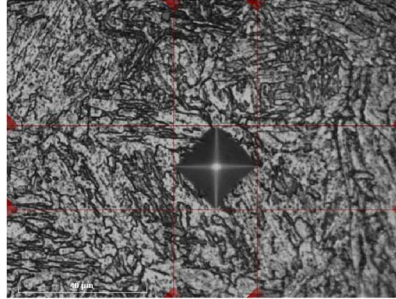
**ID** 3 (1/1)  
**Hardness** 218,31 HV0.1  
**d1** 0,0883 mm  
**d2** 0,0907 mm  
**position** x: 60,73 mm  
y: 62,36 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:20:33



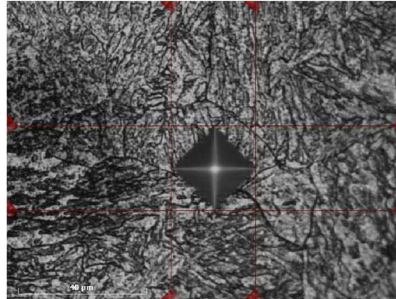
**ID** 4 (1/1)  
**Hardness** 234,51 HV0.1  
**d1** 0,0866 mm  
**d2** 0,0860 mm  
**position** x: 60,73 mm  
y: 62,66 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:21:46



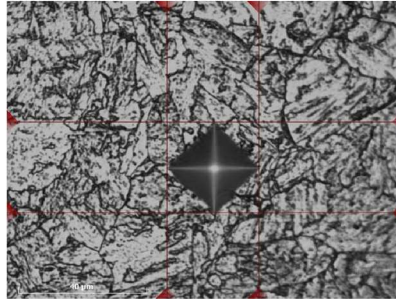
**ID** 5 (1/1)  
**Hardness** 274,06 HV0.1  
**d1** 0,0796 mm  
**d2** 0,0801 mm  
**position** x: 60,74 mm  
y: 62,96 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:22:24



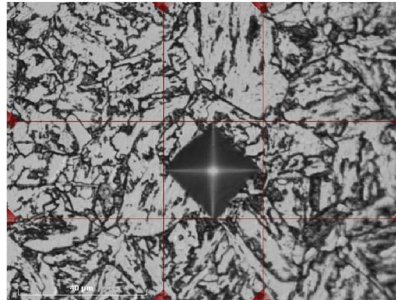
**ID** 6 (1/1)  
**Hardness** 268,64 HV0.1  
**d1** 0,0805 mm  
**d2** 0,0808 mm  
**position** x: 60,75 mm  
y: 63,26 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:23:43



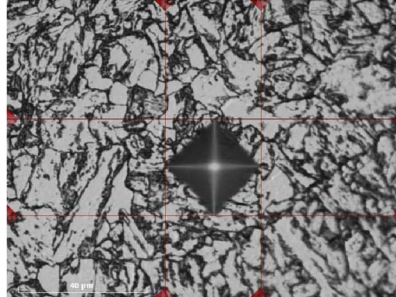
**ID** 7 (1/1)  
**Hardness** 228,87 HV0.1  
**d1** 0,0877 mm  
**d2** 0,0871 mm  
**position** x: 60,76 mm  
y: 63,56 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:24:55



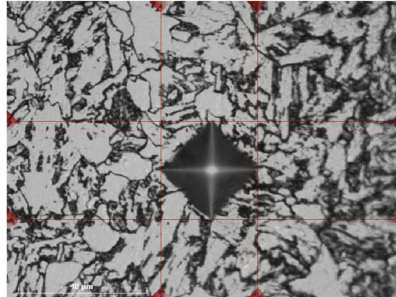
**ID** 8 (1/1)  
**Hardness** 199,3 HV0.1  
**d1** 0,0947 mm  
**d2** 0,0926 mm  
**position** x: 60,76 mm  
y: 63,86 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:25:49



**ID** 9 (1/1)  
**Hardness** 208,17 HV0.1  
**d1** 0,0913 mm  
**d2** 0,0920 mm  
**position** x: 60,77 mm  
y: 64,16 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:27:12



**ID** 10 (1/1)  
**Hardness** 200,52 HV0.1  
**d1** 0,0929 mm  
**d2** 0,0938 mm  
**position** x: 60,78 mm  
y: 64,46 mm  
**Conversions**  
**Time** 10:29:37



**Measurement Tables**

**10x0.3**

Measurement Index	Result
1 (1/1)	193,01 HV0.1
2 (1/1)	225,64 HV0.1
3 (1/1)	218,31 HV0.1
4 (1/1)	234,51 HV0.1
5 (1/1)	274,06 HV0.1
6 (1/1)	268,64 HV0.1
7 (1/1)	228,87 HV0.1
8 (1/1)	199,3 HV0.1
9 (1/1)	208,17 HV0.1
10 (1/1)	200,52 HV0.1

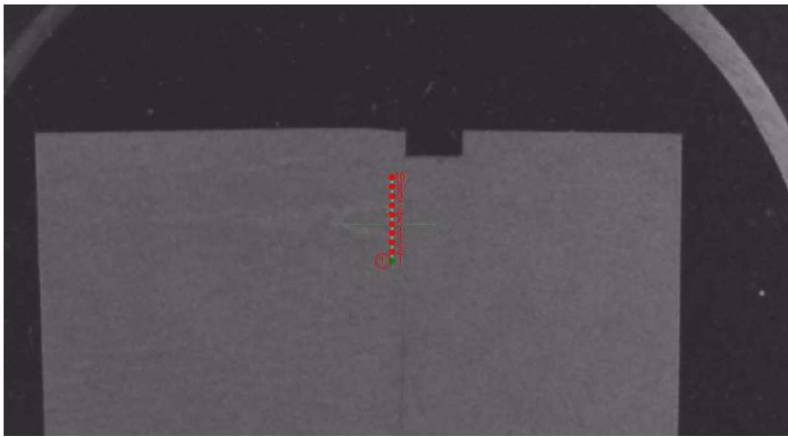
**Statistics**

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
<b>10x0.3</b>	225.10	193.01	274.06	27.95	81.05	0.00	0.00	0.00	-2.69

## Snapshot

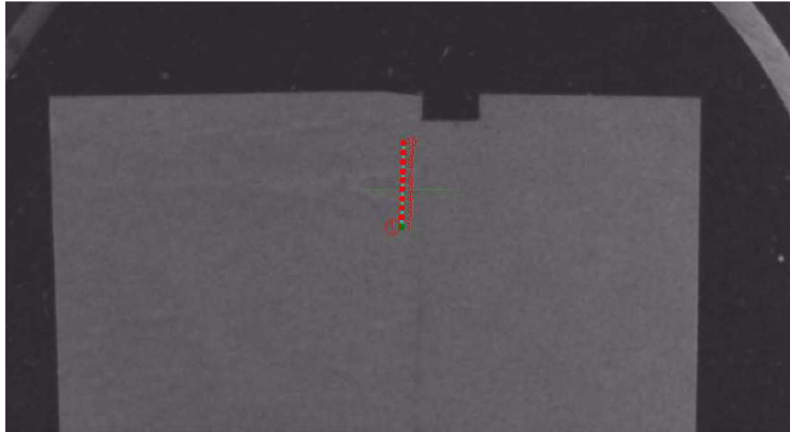
---

Snapshot 1



Enter Comments

Snapshot 2



Enter Comments



**CONISION NACIONAL DE  
ENERGIA ATOMICA**

Av. Gral Paz 1499 - San Martín (1650)  
Buenos Aires - ARGENTINA

054 11 67727857

casterra@cnea.gov.ar

www.cnea.gob.ar

**General Information**

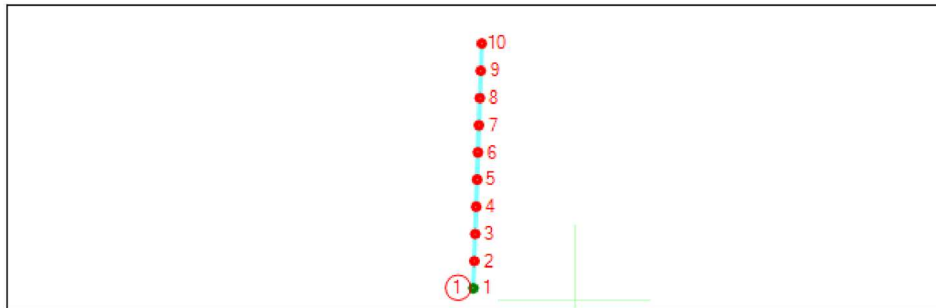
**Date** abril 07, 2022  
**Operator** admin  
**Hardness tester type** FALCON 611

Enter Comments

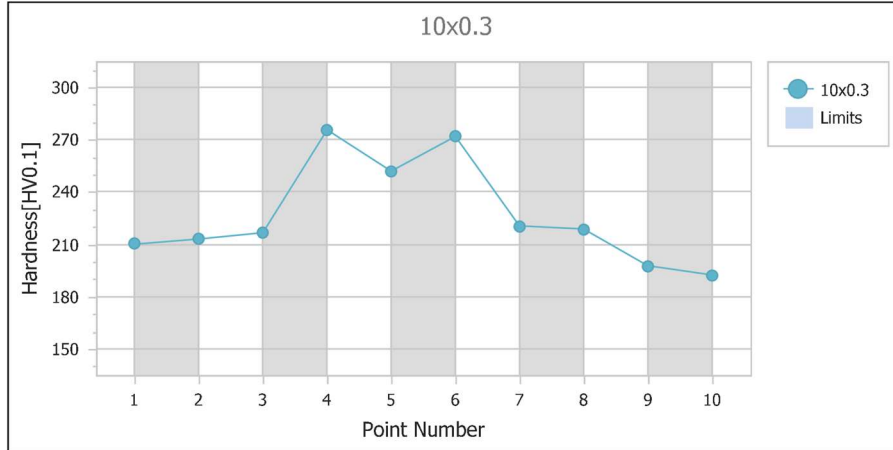
**Hardness Test Information**

**Method** VICKERS  
**Hardness scale** HV0.1  
**Dwell time** 10 sec.

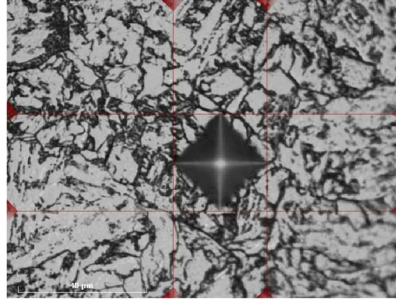
**Test Pattern**



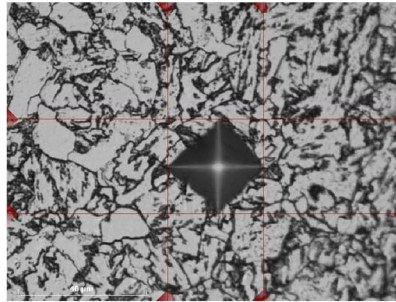
**Diagrams**



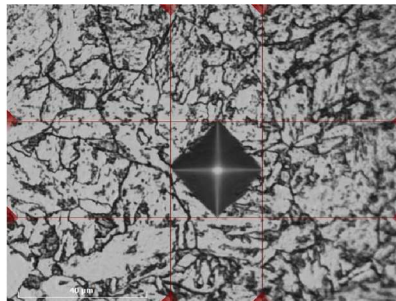
**ID** 1 (1/1)  
**Hardness** 210,12 HV0.1  
**d1** 0,0292 mm  
**d2** 0,0302 mm  
**position** x: 59,84 mm  
y: 63,07 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:37:20



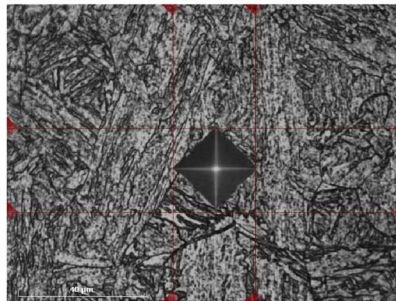
**ID** 2 (1/1)  
**Hardness** 213,06 HV0.1  
**d1** 0,0298 mm  
**d2** 0,0292 mm  
**position** x: 59,86 mm  
y: 63,37 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:36:31



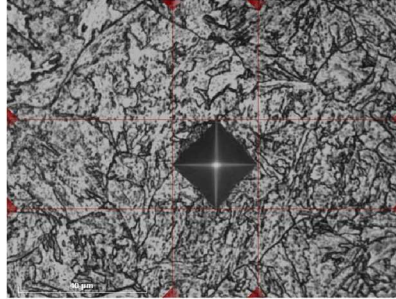
**ID** 3 (1/1)  
**Hardness** 216,64 HV0.1  
**d1** 0,0286 mm  
**d2** 0,0299 mm  
**position** x: 59,87 mm  
y: 63,67 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:35:42



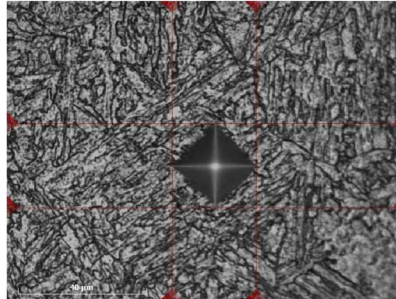
**ID** 4 (1/1)  
**Hardness** 275,74 HV0.1  
**d1** 0,0256 mm  
**d2** 0,0262 mm  
**position** x: 59,88 mm  
y: 63,97 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:33:56



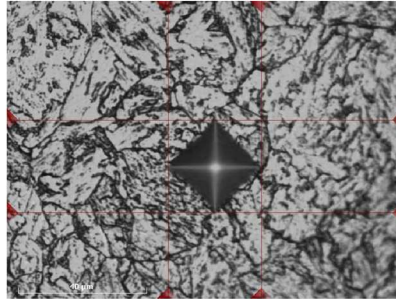
**ID** 5 (1/1)  
**Hardness** 251,96 HV0.1  
**d1** 0,0265 mm  
**d2** 0,0277 mm  
**position** x: 59,89 mm  
y: 64,27 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:32:48



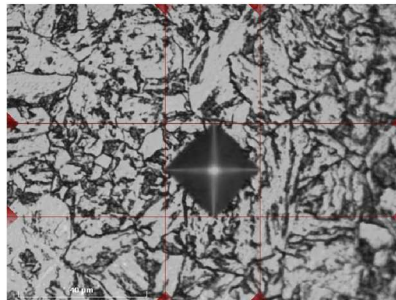
**ID** 6 (1/1)  
**Hardness** 271,95 HV0.1  
**d1** 0,0262 mm  
**d2** 0,0260 mm  
**position** x: 59,90 mm  
y: 64,57 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:31:35



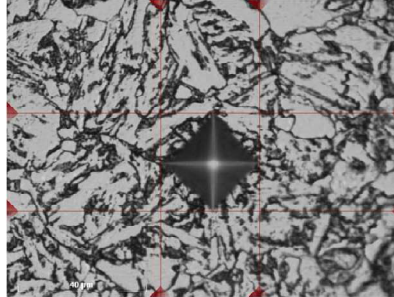
**ID** 7 (1/1)  
**Hardness** 220,58 HV0.1  
**d1** 0,0291 mm  
**d2** 0,0289 mm  
**position** x: 59,91 mm  
y: 64,87 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:30:26



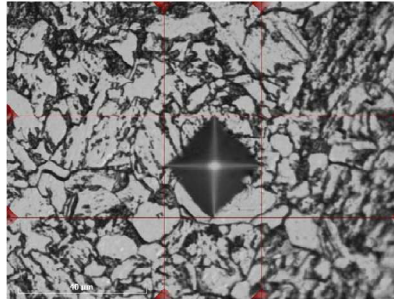
**ID** 8 (1/1)  
**Hardness** 218,74 HV0.1  
**d1** 0,0293 mm  
**d2** 0,0289 mm  
**position** x: 59,92 mm  
y: 65,17 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:29:10



**ID** 9 (1/1)  
**Hardness** 197,74 HV0.1  
**d1** 0,0308 mm  
**d2** 0,0305 mm  
**position** x: 59,93 mm  
y: 65,47 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:27:57



**ID** 10 (1/1)  
**Hardness** 192,36 HV0.1  
**d1** 0,0303 mm  
**d2** 0,0318 mm  
**position** x: 59,94 mm  
y: 65,77 mm  
**Conversions**  
**Time** 11:27:00



**Measurement Tables**

**10x0.3**

Measurement Index	Result
1 (1/1)	210,12 HV0.1
2 (1/1)	213,06 HV0.1
3 (1/1)	216,64 HV0.1
4 (1/1)	275,74 HV0.1
5 (1/1)	251,96 HV0.1
6 (1/1)	271,95 HV0.1
7 (1/1)	220,58 HV0.1
8 (1/1)	218,74 HV0.1
9 (1/1)	197,74 HV0.1
10 (1/1)	192,36 HV0.1

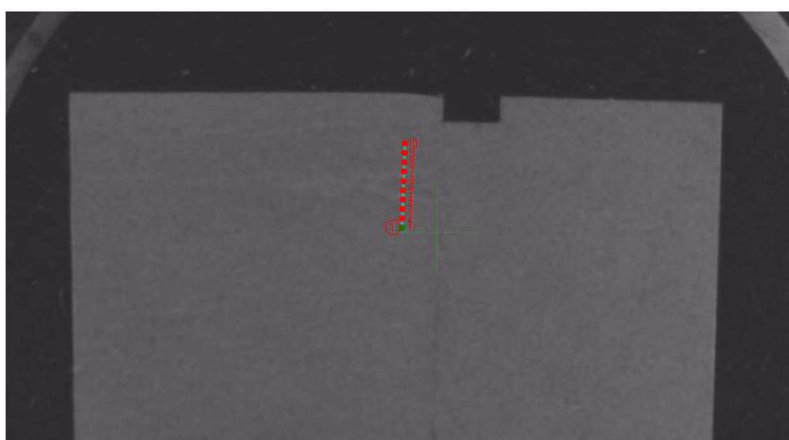
**Statistics**

Pattern	Mean	Min	Max	SD	Range	USL	LSL	Cp	Cpk
<b>10x0.3</b>	226.89	192.36	275.74	29.38	83.38	0.00	0.00	0.00	-2.57

## Snapshot

---

Snapshot 1



Enter Comments

## 30REFERENCIAS

---

- [1] A. M. Fortis, «Daño por Radiación,» 2020.
- [2] N. Guerra Méndez, «Fragilización por irradiación en aceros de recipiente a presión de centrales nucleares. Estudio por lazos de histéresis magnético.,» UNSAM - CNEA - IT Prof. Jorge A. Sabato, 2012.
- [3] ITER, «ITER,» [En línea]. Available: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>. [Último acceso: 28 03 2023].
- [4] International Atomic Energy Agency, «Towards the Standardization of Small Specimen Test Techniques for Fusión Applications,» Diciembre 2021 (Borrador).
- [5] International Atomic Energy Agency, «Integrity of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants: Assessment of Irradiation Embrittlement Effects in Reactor Pressure Vessel Steels,» IAEA Nuclear Energy Series NO. NP-T-11., 2009.
- [6] ASTM, «E185-02 Standard Practice for Design of Surveillance Programs for Light-Water Moderated Nuclear Power Reactor Vessels,» American Society for Testing and Materials, 2016.
- [7] ASME, «Section III - Rules for Construction of Nuclear Facility Components - Division 1 - Subsection NB - Class 1 Components,» 2021.
- [8] E. Chomik, «Programa de vigilancia de centrales tipo PWR,» de *Mecánica de Fractura - Maestría IT Sabato - UNSAM*, 2020.
- [9] ASME, «Section XI - Division 1 - Rules for Inspection and Testing of Components of Light-Water-Cooled Plants,» American Society of Mechanical Engineers, Nueva York, 2021.
- [10] IRAM/IAS, «U500-102 - Materiales metálicos - Ensayo de tracción,» Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2016.
- [11] ISO, «6892-1 - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature,» Internacional Organization for Standardization, 2016.
- [12] ASTM, «E8/E8M-16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials,» American Society for Testing and Materials, 2016.
- [13] T. L. Anderson, *Fracture Mechanics*, CRC Press, 2017.
- [14] J. L. Arana y J. J. González, *Mecánica de Fractura*, Universidad del País Vasco, 2002.
- [15] ASTM, «E1820-20a Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness,» American Society for Testing and Materials, 2020.
- [16] ASTM, «E1921-22 Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T<sub>0</sub> for Ferritic Steels in the Transition Range,» American Society for Testing and Materials, 2022.

- [17] I. Sattari-Far y K. Wallin, «Application of Master Curve Methodology for Structural Integrity Assessments of Nuclear Components,» Stockholm, 2005.
- [18] ASTM, «E399-12 Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness K<sub>IC</sub> of Metallic Materials,» American Society for Testing and Materials, 2012.
- [19] ASTM, «E1921-21a Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T<sub>0</sub> for Ferritic Steels in the Transition Range,» American Society for Testing and Materials, 2021.
- [20] R. L. Tregoning y K. R. W. Wallin, «Benchmark to Evaluate Revised Censoring Procedures for ASTM E1921,» *Journal of Testing and Evaluation*, 2022.
- [21] D. E. McCabe, J. G. Merkle y K. Wallin, An Introduction to the Development and Use of the Master Curve Method, Lancaster: American Society for Testing and Materials, 2005.
- [22] ASTM, «E1921-20 Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T<sub>0</sub> for Ferritic Steels in the Transition Range,» American Society for Testing and Materials, 2020.
- [23] K. Onizawa, M. Suzuki y S. Ueda, «JAERI contribution for the IAEA Coordinated Research Program Phase III (CRP-3) on "Optimizing of Reactor pressure vessel surveillance programmes and their analysis",» Octubre, 1993.
- [24] CRP Sub-Committee - Atomic Energy Research Committee - Japan Welding Engineering Society, «Manufacturing History and Mechanical Properties of Japanese Materials Provided for the International Atomic Energy Agency,» Octubre, 1986.
- [25] ASTM, «E636-14 Standard Guide for Conducting Supplemental Surveillance Tests for Nuclear Power Reactor Vessels,» American Society for Testing and Materials, 2014.
- [26] ASTM, «E23-18 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials,» American Society for Testing and Materials, 2018.
- [27] ASTM, «E18-20 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials,» American Society for Testing and Materials, 2020.
- [28] ASTM, «E21-20 Standard Test Methods for Elevated Temperature Tests of Metallic Materials,» American Society for Testing and Materials, 2020.
- [29] ASTM, «E111-04 - Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus,» American Society for Testing and Materials, 2010.
- [30] ASTM, «E494-15 - Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials,» American Society for Testing and Materials, 2015.
- [31] ASTM, «E2215-19 Standard Practice for Evaluation of Surveillance Capsules from Light-Water Moderated Nuclear Power Reactor Vessels,» American Society for Testing and Materials, 2019.
- [32] Y. Sakai, K. Tamanoi y N. Ogura, «Application of TANH curve fit analysis to fracture toughness data of Japanese RPVS,» *Nuclear Engineering and Design*, nº 115, pp. 31-39, 1989.

- [33] J. R. Gordon, «The Welding Institute Procedure for the Determination of the Fracture Resistance of Fully Ductile Metals,» The Welding Institute, 1985.
- [34] ISO, «12135 - Metallic materials - Unified method of test for the determination of quasistatic fracture toughness,» International Organization for Standardization, 2016.
- [35] K. J. KarisAllen y J. R. Matthews, «The Determination of Single Edge-Notched Bend Specimen Load Line Displacement from Remotely Located Sensors in Elastic-Plastic Testing,» American Society for Testing Materials, 1994.
- [36] E. Lucon, M. Scibetta y E. v. Walle, «On the Possibility of Avoiding the Use of a Clip Gage When Testing Precracked Charpy-V Specimens in the Ductile-to-Brittle Transition Region,» Journal of Testing and Evaluation, 2004.
- [37] R. J. Buzzard y D. M. Fisher, «Load-Displacement Measurement and Work Determination in Three-Point Bend Test of Notched or Precracked Specimens,» Journal of Testing and Evaluation, 1978.
- [38] C. L. Walters, L. O. Voormeeren y M. Janssen, «The use of crosshead displacement in determining fracture parameters,» American Society of Mechanical Engineers, 2013.
- [39] P. Moore y A. Pargeter, «Comparison of using the crack mouth displacement (CMOD) and load line displacement (LLD) methods in the determination of critical J integral in SENB specimens,» Wiley, 2018.
- [40] P. Jung, A. Hishinuma, G. E. Lucas y H. Ullmaier, «Recommendation of miniaturized techniques for mechanical testing of fusion materials in an intense neutron source,» *Journal of Nuclear Materials*, nº 232, pp. 186-205, 1996.
- [41] L. Yang y L. Lu, «The influence of sample thickness on the tensile properties of pure Cu with different grain sizes,» *Scripta Materialia*, nº 69, pp. 242-245, 2013.
- [42] T. T. Zhu, A. J. Bushby y D. J. Dunstan, «Materials mechanical size effects: a review,» *Materials Technology*, vol. 23, nº 4, pp. 193-209, 2008.
- [43] A. Kohyama, H. Matsui, K. Abe, K. Hamada y K. Asano, «Specimen size effects on mechanical properties of 14 MeV neutron irradiated metals,» *Journal of Nuclear Materials*, nº 155-157, pp. 1354-1358, 1988.
- [44] Y. Kohno, A. Kohyama, M. L. Hamilton, T. Hirose, Y. Katoh y F. A. Garner, «Specimen size effects on the tensile properties,» *Journal of Nuclear Materials*, nº 283-287, pp. 1014-1017, 2000.
- [45] P. Zheng, R. Chen, H. Liu, J. Chen, Z. Zhang, X. Liu y Y. Shen, «On the standards and practices for miniaturized tensile test - A review,» *Fusion Engineering and Design*, nº 161, 2020.
- [46] E. Lucon, J.-L. Puzzolante y M. Scibetta, «Characterization of the Reference Condition for the Surveillance Materials of Atucha II (CNA-2),» Studiecentrum voor Kernenergie/Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire, 2010.

- [47] L. S. Moura, G. D. Vittoria, A. H. G. Gabriel, E. B. Fonseca, L. P. Gabriel, T. J. Webster y É. S. N. Lopes, «A highly accurate methodology for the prediction and correlation of mechanical properties based on the slinness ratio of additively manufactured tensile test specimens,» Springer, 2020.
- [48] Z. L. Zhang, M. Hauge, J. Ødegård y C. Thaulow, «Determining material true stress-strain curve from tensile specimens with rectangular cross-section,» *International Journal of Solids and Structures*, nº 36, pp. 3497-3516, 1999.
- [49] G. F. Vander Voort, «Visual Examination and Light Microscopy,» American Society for Metals, 1987.
- [50] J. L. Puzzolante y A. Pellettieri, «Intra laboratory Round-Robin in the qualification of the tensile test using the 22NiMoCr37 steel,» SCK-CEN, Mol, Belgium, 2001.
- [51] I. Brooks, G. Palumbo, G. D. Hibbard, Z. Wang y U. Erb, «On the intrinsic ductility of electrodeposited nanocrystalline metals,» Springer, 2011.
- [52] J. D. Lord, B. Roebuck, R. Morrell y T. Lube, «Aspects of strain and strength measurement in miniaturised testing for engineering metals and ceramics,» Crown, 2009.
- [53] B. Strnadel y J. Brumek, «The size effect in tensile test of steels,» American Society of Mechanical Engineers, 2013.
- [54] H. Liu, Y. Shen, J. Ma, P. Zheng y L. Zhang, «Grain Size Dependence of Uniform Elongation in Single-Phase FCC/BCC Metals,» *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2016.
- [55] Y. H. Zhao, Y. Z. Guo, Q. Wei, A. M. Dangelewicz, C. Xu, Y. T. Zhu, T. G. Langdon, Y. Z. Zhou y E. J. Lavernia, «Influence of specimen dimensions on the tensile behavior of ultrafine-grained Cu,» *Scripta Materialia*, nº 59, pp. 627-630, 2008.
- [56] M. A. Meyers y K. K. Chawla, *Mechanical Behavior of Materials - Segunda Edición*, New York: Cambridge University Press, 2009.
- [57] E. O. Hall, *Yield Point Phenomena in Metals and Alloys*, New York: Plenum Press, 1970.
- [58] R. Schwab y V. Ruff, «On the nature of the yield point phenomenon,» *Acta Materialia*, nº 61, pp. 1798-1808, 2013.
- [59] D. W. Beardsmore, Q. d. J. Fonseca, J. Romero, C. A. English, S. R. Ortner, J. Sharples, A. H. Sherry y M. A. Wilkes, «Study of Lüders phenomena in reactor pressure vessel steels,» *Materials Science & Engineering*, nº 588, pp. 151-166, 2013.
- [60] J. F. Hallai y S. Kyriakides, «Underlying material response of Lüders-like instabilities,» *International Journal of Plasticity*, nº 47, pp. 1-12, 2013.
- [61] D. H. Johnson, M. R. Edwards y P. Chard-Tuckey, «Microstructural effects on the magnitude of Lüders strains in low alloy steel,» *Materials Science & Engineering A*, nº 625, pp. 36-45, 2015.

- [62] T. Tsuchiyama, S. Araki y S. Takaki, «Interpretation of Upper Yield Point in Polycrystalline Ferritic Steel Based on the Critical Grain Boundary Shear Stress,» *Journal of the Iron and Steel Institute of Japan*, vol. 106, nº 6, pp. 382-390, 2020.
- [63] N. Louat, «The effect of Temperature on Cottrell Atmospheres,» *Proceedings of the Physical Society*, vol. 69, nº 4, pp. 459-467, 1956.
- [64] International Atomic Energy Agency, «Application of surveillance programme results to reactor pressure vessel integrity assessment,» Austria, 2005.
- [65] H. W. Viehrig, C. Zurbuchen, H. J. Schindler y D. Kalkhof, «Application of the Master Curve Approach to Fracture Mechanics Characterisation of Reactor Pressure Vessel Steel,» Forschungszentrum Dresden Rossendorf, 2010.
- [66] K. Wallin, T. Planman, M. Valo y R. Rintamaa, «Applicability of miniature size bend specimens to determine the master curve reference temperature  $T_0$ ,» *Engineering Fracture Mechanics*, nº 68, pp. 1265-1296, 2001.
- [67] International Atomic Energy Agency, «Master Curve Approach to Monitor Fracture Toughness of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants,» Vienna, 2009.
- [68] J. A. Joyce y R. L. Tregoning, «Investigation of Specimen Geometry Effects and Material Inhomogeneity Effects in A533B Steel,» de *Proceedings of the 14th European Conference on Fracture*, Cracow, 2002.
- [69] J. P. Petti y R. H. Dodds Jr., «Constraint comparisons for common fracture specimens: C(T)s and SE(B)s,» *Engineering Fracture Mechanics*, nº 71, pp. 2677-2683, 2004.
- [70] J. A. Joyce y R. L. Tregoning, «Determination of constraint limits for cleavage initiated toughness data,» *Engineering Fracture Mechanics*, nº 72, pp. 1559-1579, 2005.
- [71] M. Serrano García, «Evaluación computacional del efecto de la pérdida de construcción en la tenacidad de fractura de la vasija de reactores nucleares,» Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- [72] M. Serrano, F. J. Peronsanz y J. Lapeña, «Determinación de la "Master Curve" de un acero de vasija no-irradiado e irradiado mediante el ensayo de probetas pequeñas,» *Anales de Mecánica de la Fractura*, vol. 18, pp. 172-177, 2001.
- [73] J. D. Landes y D. H. Shaffer, «Statistical Characterization of Fracture in the Transition Region,» *ASTM STP 700*, pp. 368-382, 1980.
- [74] K. Wallin, «Validity of small specimen fracture toughness estimates neglecting constraint corrections,» de *Constraint Effects in Fracture Theory and Applications: Second Volume. ASTM STP 1244*, Philadelphia, American Society for Testing and Materials, 1995, pp. 519-537.
- [75] K. Wallin, «The Size Effect in KIC Results,» *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 22, nº 1, pp. 149-163, 1985.

- [76] L. Stratil, F. Siska, I. Dlouhy y M. Serrano, «The Application of Miniaturized Three-Point-Bend Specimens for Determination of the Reference Temperature of JRQ Steel,» de *Proceedings of the ASME 2015 Pressure Vessels and Piping Conference*, Boston, 2015.
- [77] R. K. Nanstad, M. Brumovsky, H. R. Callejas, F. Gillemot, M. Korshunov, S. B. Lee, E. Lucon, M. Scibetta, P. Minnebo, K. Nilsson, N. Miura, K. Onizawa, T. Planman, W. Server, B. Burgos y M. Serrano, «IAEA Coordinated Research Project on Master Curve approach to monitor fracture toughness of RPV steels: final results of the experimental exercise to support constraint effects,» Prague, Czech Republic, 2009.
- [78] I. Korin, C. Larrainzar y J. Perez Ipiña, «Crack length and stable crack extension measurements from images acquired by means of conventional flatbed scanner,» *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, nº 30, pp. 876-884, 2008.
- [79] N. Kashaev, M. Horstmann, V. Ventzke, S. Riekehr y N. Huber, «Comparative study of mechanical properties using standard and micro-specimens of base materials Inconel 625, Inconel 718 and Ti-6Al-4V,» *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 1, nº 2, pp. 43-47, 2012.
- [80] Z. Zhou, Z. Tong, G. Qian y F. Berto, «Specimen size effect in the ductile-brittle transition reference temperature of A508-3 steel,» *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, nº 104, 2019.
- [81] W. Han, K. Yabuuchi, R. Kasada, A. Kimura, E. Wakai, H. Tanigawa, L. Pingping, X. Yi y F. Wan, «Application of small specimen test technique to evaluate fracture toughness of reduced activation ferritic/martensitic steel,» *Fusion Engineering and Design*, nº 125, pp. 326-329, 2017.
- [82] S/N, «Introducción a la Mecánica de Fractura y la Tolerancia al Daño,» Universidad Nacional de la Plata, La Plata, 2020.
- [83] J. Zorrilla, «Introducción a las Centrales Nucleares,» de *Diplomatura en Materiales para la Industria Nuclear*, 2014.
- [84] O. Azpitarte, «Centrales Nucleares,» de *Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson*, s.f..
- [85] X.-K. Zhu y J. A. Joyce, «Review of fracture toughness (G, K, J, CTOD, CTOA) testing and standardization,» *Engineering Fracture Mechanics*, nº 85, pp. 1-46, 2012.
- [86] M. F. Ashby y D. R. H. Jones, «An Introduction to Properties, Applications, and Design,» Butterworth-Heinemann, 2012.