

***“Diseño preliminar e ingeniería básica de dispositivo semi automático para corte y extracción de muestras de canales refrigerantes de Centrales Nucleares Atucha 1 - 2”***

**CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES  
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE**

Alumno: Luraschi, Carlos Esteban.  
Director: Marchena, Martín Hernán.

Mes y año: 23 de Marzo del 2016



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

## Índice

1. CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN: .....	4
<b>1.1. Introducción:.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Antecedentes:.....</b>	<b>4</b>
1.2.1. Descripción de un canal refrigerante:.....	4
1.2.2. Características de los canales refrigerantes en CNA1 .....	8
1.2.3. Modificaciones estructurales y de materiales implementados .....	10
1.2.4. Campaña de monitoreo periódico (ISI internos).....	11
1.2.5. Extracción de muestras en campañas anteriores .....	11
1.2.6. Nuevo diseño requerido .....	14
2. CAPITULO 2: DESARROLLO.....	15
<b>2.1. Condiciones de operación en piletas .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Calculo de radiación emitida por el canal y blindaje requerido .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Elección de materiales .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4. Muestra a extraer pretendida.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5. Calculo de sección remanente .....</b>	<b>29</b>
<b>2.6. Partes componentes del dispositivo y sus funciones .....</b>	<b>34</b>
2.6.1. Estructura soporte y Control .....	36
2.6.1.1. Plataforma soporte .....	36
2.6.1.1.1. Vigas y piso soporte.....	37
2.6.1.1.2. Barandas .....	38
2.6.1.1.3. Sistema Malacate .....	39
2.6.1.1.4. Herramental de sujeción de canal.....	39
2.6.1.2. Consola de comando.....	40
2.6.1.2.1. Control de motores paso a paso .....	41
2.6.1.2.2. Control de componentes neumáticos.....	42
2.6.2. Grupo Carro de corte .....	42
2.6.2.1. Carro y montante eje vertical.....	43
2.6.2.1.1. Bancada estructural y sistema de sujeción .....	45
2.6.2.1.2. Sistema de movimiento vertical .....	46
2.6.2.2. Carro y montante eje horizontal.....	48
2.6.2.2.1. Bancada estructural .....	49
2.6.2.2.2. Sistema de movimiento horizontal .....	50
2.6.2.3. Placa Base de Herramental.....	52
2.6.2.3.1. Herramentales .....	53
2.6.2.3.2. Sistema de movimiento.....	58
2.6.3. Sistema guía de izado.....	58
2.6.3.1. Tubos guías y separadores estructurales.....	58

3. CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN DE DISPOSITIVO Y OPERACIÓN DE CORTE.....	60
3.1. Zona propuesta de trabajo.....	60
3.2. Instalación de dispositivo y procedimiento de corte .....	62
3.3. Desmantelamiento.....	65
4. CAPÍTULO 4: TRANSPORTE A CELDAS CALIENTES .....	65
5. CAPÍTULO 5: CALCULO DE COSTOS: .....	71
6. ANEXOS: .....	74
6.1. Anexo 1.....	74
6.2. Anexo 2.....	75
6.3. Anexo 3.....	77
6.4. Anexo 4.....	78
6.5. Anexo 5.....	79
6.6. Anexo 6.....	80

*Resumen:*

*Los canales refrigerantes utilizados en la central nuclear Atucha 1 instalados por el constructor y diseñador (KWU - Siemens) sufrieron daños no previstos por lo cual fueron re diseñados y reemplazados.*

*Ante este problema se necesita llevar un seguimiento del estado actual de los canales instalados en el reactor.*

*En este contexto, la empresa operaria de la central nuclear( N.A.S.A.), pidió asistencia a la CNEA para realizar la extracción de muestras de canales y el análisis de estado de los mismos, servicio que fue previsto a través de varios contratos entre CNEA y NASA.*

*El trabajo presente describe la historia de los canales y las campañas anteriores de extracción de muestras, las condiciones de diseño requeridas por parte del operador de la central nuclear y las impuestas por las condiciones de contorno físicas, la ingeniería básica de diseño de un dispositivo mecánico de extracción de muestras y el transporte de las muestras a las Celdas calientes donde se realizan los ensayos mecánicos.*

*Para finalizar, se presenta un costeo presupuestado de la construcción y montaje del dispositivo de corte en la zona de trabajo en la CNAI.*

## 1. Capítulo 1: Introducción:

### 1.1. *Introducción:*

En el trabajo a continuación se presenta el caso de los canales combustibles de la central Atucha I, su historial de operación y defectos de diseño, los cambios que se hicieron y las campañas de cosecha de muestras para monitorear el estado actual. En este trabajo se presenta la máquina diseñada, por el autor del trabajo, con el fin de cortar y extraer las muestras requeridas así como todo el procedimiento que circunscribe a la campaña

### 1.2. *Antecedentes:*

#### 1.2.1. *Descripción de un canal refrigerante:*

Los canales de refrigeración son tubos que atraviesan el núcleo con el fin tanto de contener los combustibles nucleares como de canalizar el fluido (agua pesada del primario) que transporta el calor a extraer de los combustibles hacia los generadores de vapor. Se muestra un esquema de núcleo de reactor tipo PHWR como el de Atucha 1 en la Figura 1

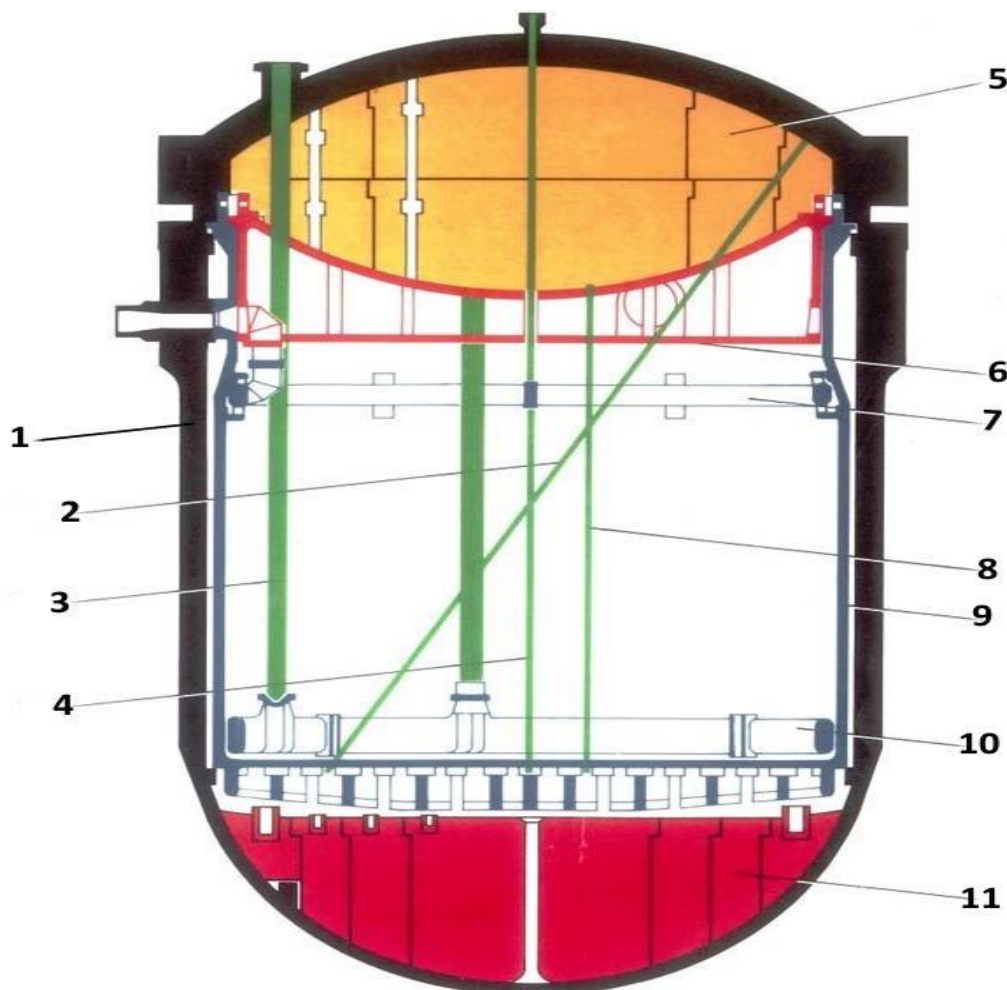


Figura 1: Esquema de reactor tipo PHWR

1	Recipiente de presión	7	Anillo de aspiración del Moderador
2	Tubo guía de barra de control	8	Tubo guía de lanzas
3	Línea del moderador a cámara inferior	9	Tanque del moderador
4	Canal Refrigerante	10	Anillo toroide entrada Moderador
5	Cuerpos de relleno superior	11	Cuerpos de relleno inferior
6	Cámara superior de tanque del moderador		

El reactor de CNAI tiene en total 253 canales de refrigeración dispuestos verticalmente, de los cuales 250 tienen combustible, 2 son canales instrumentados y uno es utilizado para inspección de los internos del tanque del moderador durante las paradas programadas. (Ref. 1)

Los datos de diseño de los canales refrigerantes son:

Temperatura de servicio: 272 a 317°C.

Temperatura de diseño: 320°C

Presión de servicio: 0 a 5,3Kpa/cm<sup>2</sup>

Medio ambiente: Refrigerante y moderador, agua pesada (DO<sub>2</sub>)

Dosis de radiación: 5x10<sup>14</sup> n/ cm<sup>2</sup>seg ;Flujo integrado de neutrones rápidos de aprox. 10<sup>22</sup> n/ cm<sup>2</sup> en 7 años de operación a plena potencia (APP)

El canal de refrigerante consta de los siguientes elementos (de abajo hacia arriba) como se enuncia en (Ref. 1)

**Boquilla de canal, provista de una grilla (rejilla):**

Pieza de encaje del canal de refrigeración en el agujero guía del fondo del tanque del moderador. Aloja el orificio de restricción (drossel) y la grilla (rejilla) que retiene impurezas de tamaño grande que podrían ingresar al canal y dañar al combustible. Tanto la boquilla como la grilla son de acero 1.4550. La boquilla está cubierta por un depósito electrolítico duro de LC-1C<sup>1</sup>.

**Orificio de restricción ó drossel:**

Roscado en canal de refrigeración, el orificio de restricción distribuye uniformemente y ajusta el caudal de refrigerante. Está construido de acero inoxidable 1.4550 y la superficie roscada está protegida por un depósito electrolítico duro (LC-1C).

**Columna térmica con folio espesor 0,4 mm:**

El tubo de la columna térmica consta de un tubo en sí mismo, manguito<sup>2</sup> superior e inferior de acero rolado y un tubo de aislación térmica (folio) de 0,4mm de espesor. El tubo de la columna y el folio están construidos con Zircaloy-4 y PCA-S respectivamente, por economía neutrónica. Los manguitos de los extremos son de acero inoxidable 1.4550.

<sup>1</sup> LC-1C: recubrimiento de una aleación base de carburo de cromo o carburo de níquel.

<sup>2</sup> Manguito: Elemento cilíndrico hueco, de sección circular, que generalmente se usa como separador o protector de otro elemento cilíndrico.

**Tubo ranurado o lumbreras:**

El medio refrigerante abandona el canal de refrigeración a través de un tubo ranurado, o lumbreras, y fluye al colector en la tapa del refrigerante del moderador. La zona de las lumbreras está protegida por un depósito de metal duro.

**Tubo de inoxidable con manguito:**

El tubo de inoxidable (1.4550) con el manguito y la cabeza del canal, constituyen la prolongación superior de la columna térmica, llegando hasta el cierre del canal de refrigeración, sobre la tapa del reactor. (Ref. 1)

La composición del Zircaloy-2 y Zircaloy-4, que luego va a influir en la radiación que emite un canal activado en el reactor por radiación neutrónica, es:

<b>Alloy / Element</b>	<b>Zircaloy-2 wt %</b>	<b>Zircaloy-4 wt %</b>
<b>Tin</b>	<b>1.20 - 1.70</b>	<b>1.20 - 1.70</b>
<b>Iron</b>	<b>0.07 - 0.20</b>	<b>0.18 - 0.24</b>
<b>Chromium</b>	<b>0.05 - 0.15</b>	<b>0.07 - 0.13</b>
<b>Nickel</b>	<b>0.03 - 0.08</b>	<b>-</b>
<b>Fe+Cr+Ni</b>	<b>0.18 - 0.38</b>	<b>-</b>
<b>Fe+Cr</b>	<b>0.28 - 0.37</b>	<b>-</b>
<b>Oxygen</b>	<b>0.09 - 0.16</b>	<b>0.09 - 0.1</b>
<b>Silicon</b>	<b>0.005-0.012</b>	<b>0.005-0.012</b>

Con las impurezas máximas permitidas:

Element	Zry-2 ppm	Zry-4 ppm	Element	Zry-2 ppm	Zry-4 ppm
Al	75	75	Mg	20	20
B	5	5	Mn	50	50
Cd	5	5	N	80	80
Hf	100	100	Ti	50	50
C	270	270	H	25	25
Co	20	20	W	10	10
Cu	50	50	U (total)	35	35
Ni	-	70			

El Zircaloy-4 fue desarrollado para reducir el aumento de generación de Hidrogeno, con una limitación mayor al Niquel: 0,007%, y Fe: 0,12-0,18%

El acero inoxidable 1.4550 (equivalente a un AISI 347) tiene una composición:

C: max 0,08%

Cr: 17,0 – 19,0%

Mn: max 2,00%

Nb: 10xCmax 1,00%

Ni: 9,0-12,0%

P: max 0,045%

S: Max 0,015%

Si: max 1%

Fe: Balance

En la Figura 2 se muestra un canal tipo de la central Atucha I

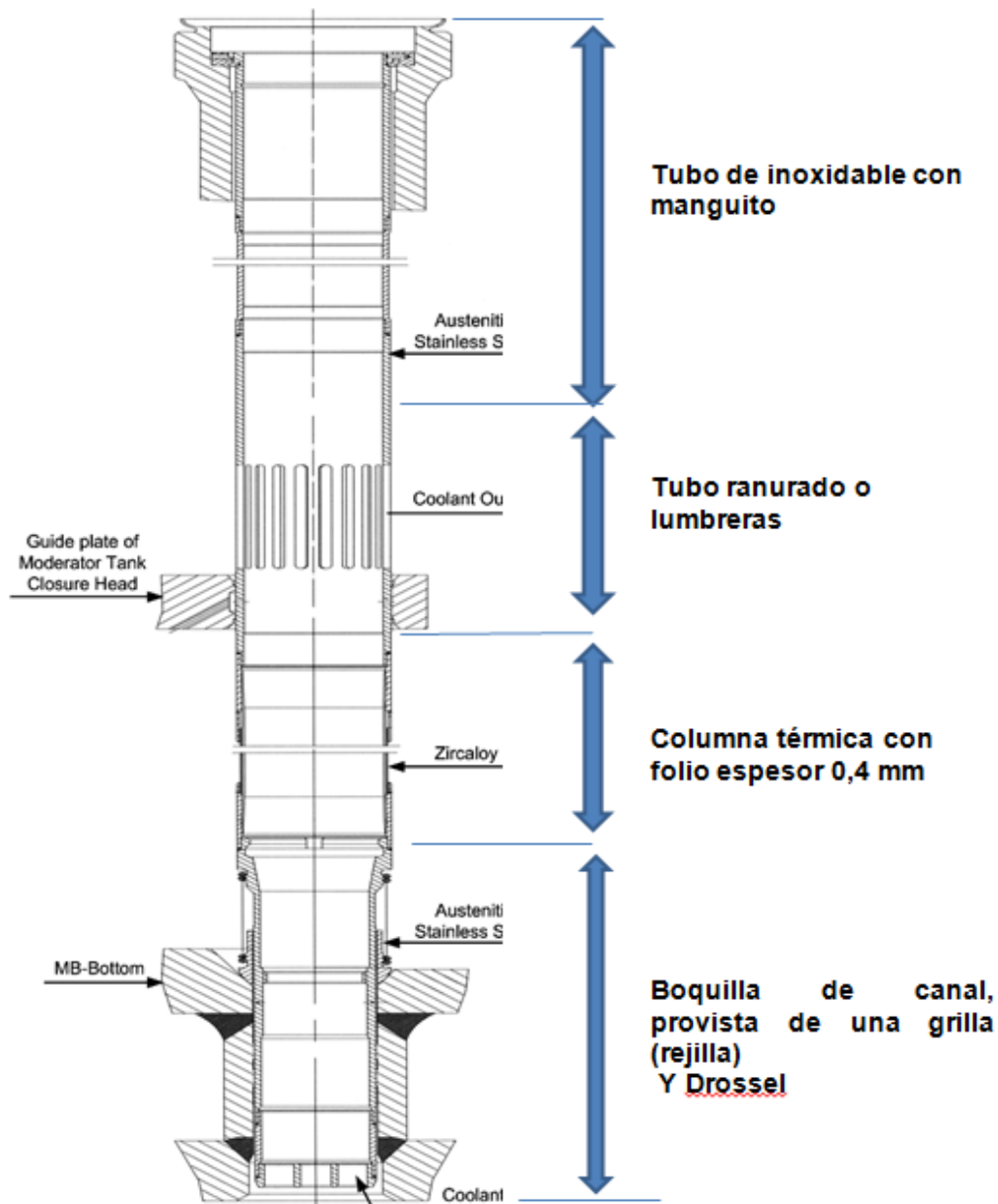


Figura 2: Esquema de los canales combustibles de la CNA1

### 1.2.2. Características de los canales refrigerantes en CNA1

Los canales combustibles (CC) de CNA-I originalmente tenían un tubo central fabricado de Zircaloy-4, manufacturado a partir de chapa recristalizada, conformada y soldada, con posterior laminado de la soldadura, enderezado, calibrado y recocido finalmente a 732°C por media hora. Este tubo central estaba aislado térmicamente del agua del moderador por medio de dos foils externos. Luego de la ocurrencia del incidente de 1988 donde se produce la rotura del canal R-06, se reemplazaron algunos CC con otros que habían sido suministrados en 1985 para CNA-II, también de Zy-4, y posteriormente el tubo central y los foils fueron reemplazados por un tubo central de 1.73 mm de espesor, y un foil simple de 0.4mm de espesor, ambos con material de Zy-4 modificado, denominado PCA-S (Ref.1).



La modificación realizada es un Zircaloy-4 optimizado por Siemens (PCA: Prime Candidate Alloy). Siemens buscó disminuir el tamaño de partícula de los precipitados intermetálicos mediante el uso en la fabricación de un “parámetro recocido”, controlando todos los procesos térmicos (deformación y recocido) después de un temple beta. (Ref.2)

Según las predicciones teóricas del diseñador, el CC está sometido a muy pequeñas tensiones, y además con el cambio de diseño de las boquillas, el CC no debería trabarse con depósitos de partículas sólidas estancadas en esa zona. Por otro lado, se tuvieron en cuenta mecanismos de degradación como crecimiento bajo radiación, creep, corrosión (aun manteniendo la concentración de oxígeno muy baja) y fragilización por absorción de H e irradiación, concluyéndose que este material debería durar 20 años en servicio sin fallas. A los fines de confirmar estas predicciones se implementó una serie de campañas de monitoreo con inspección en servicio de internos del reactor y la extracción de muestras de los canales para confirmar la vida real de los mismos. (Ref. 1 y 3)

Durante su servicio se producen cambios micro-estructurales que llevan a alteraciones macroscópicas de los componentes (Ref.4). A saber:

- Elongación axial
- Expansión o contracción diametral
- Crecimiento de una capa superficial de óxido de Circonio en el tubo central y el folio Aislante
- Incremento de la concentración de Hidrogeno + Deuterio
- Incremento de los parámetros mecánicos: Y.S. (Yield Strength: Tensión de fluencia) ; U.T.S. (Ultimate tensile strength: resistencia a la tracción máxima)
- Reducción de la ductilidad

El diseño original, en gran parte por la elongación axial de los CR que ocuparon las posiciones centrales del reactor, que excedió el límite de diseño, y la degradación de los folios de 0,1 y 0,2mm (con gran crecimiento volumétrico, elevada oxidación, fragilización y rotura), llevo al atascamientos de los CR y tubos guías en las boquillas del fondo del tanque del moderador. En la Figura 3 se observan de modo esquemático las distorsiones dimensionales que llevaron a la falla del canal R06. (Ref. 5)

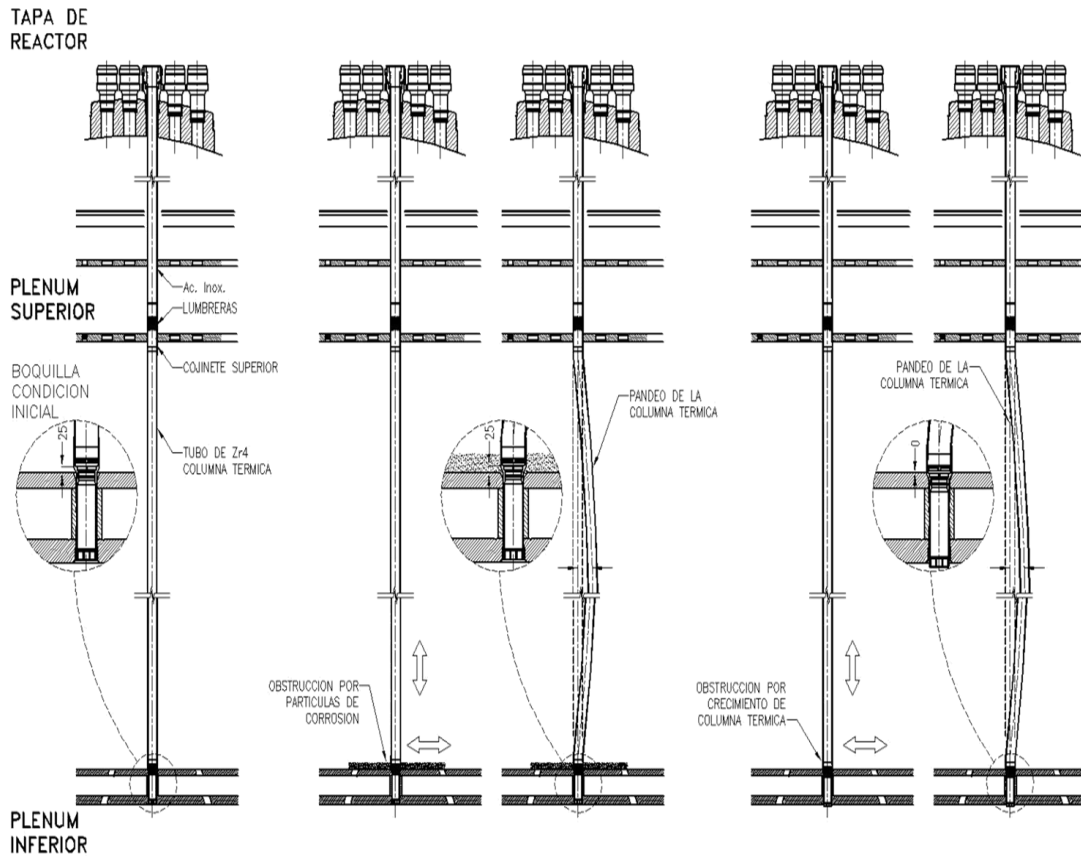


Figura 3: Distorsiones dimensionales de los canales refrigerantes

### 1.2.3. Modificaciones estructurales y de materiales implementados

En consecuencia de la degradación detectada durante las inspecciones en servicio, se implementó un nuevo diseño de canal refrigerante y su vinculación con las placas en el plenum superior e inferior (ambos extremos del tanque del moderador).

En el nuevo diseño de CR, además de cambiar el Tubo central (TC) por uno de 1,73mm de Zr-4 PCA-s y un foil de 0,4mm como Tubo aislante (TA), se hicieron las siguientes mejoras:

- Mayor huelgo entre el buje del CR y la boquilla del fondo del tanque del moderador agregando un aro elástico para disminuir el caudal de mezclado entre primario y moderador, y un reten o pollera para evitar el ingreso de partículas
- Cambio del doble folio de aislación por un único folio de 0,4mm de espesor-
- Cambio en el proceso metalúrgico del tubo central (PCA-S) para obtener mejor propiedad al cambio dimensional y resistencia a la corrosión.

Estas modificaciones se grafican en la Figura 4

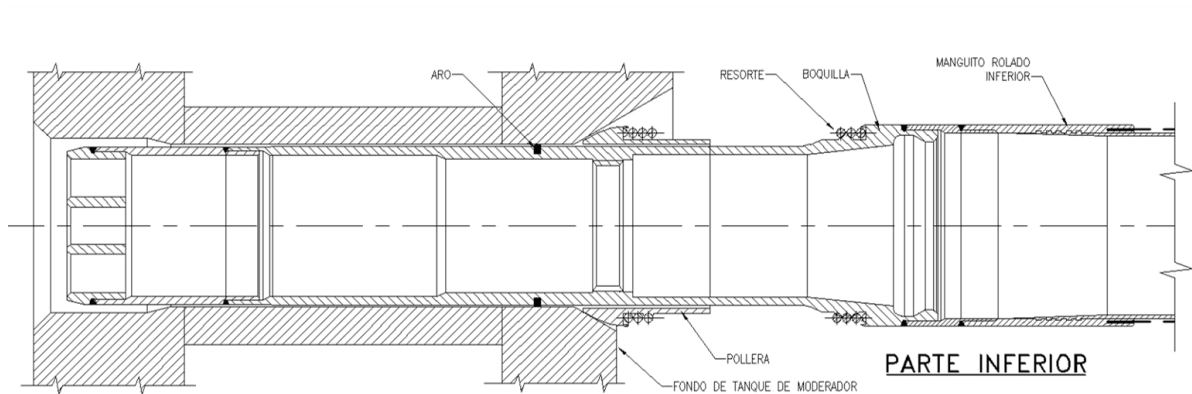


Figura 4: Modificaciones estructurales de canales refrigerantes

Estos cambios permitirían una duración de los CR suficiente para alcanzar el fin de vida de la central, para lo cual se implementó un programa de seguimiento y vigilancia de los Canales Refrigerantes de nuevo diseño. Este programa consiste en inspecciones con cámaras, metrología de forma periódica para el monitoreo del crecimiento por irradiación, y extracción de muestras para la realización de ensayos post irradiación.

#### **1.2.4. Campaña de monitoreo periódico (ISI internos)**

Los programas de inspección en servicio de los internos comprenden de ciertas inspecciones llevadas a cabo con el fin de mantener bajo control la degradación de los canales refrigerantes (Ref. 5)

Las inspecciones se dividen en 3 categorías:

- Inspecciones visuales de los internos del reactor
- Metrología de los canales irradiados: crecimiento longitudinal y diametral y de la capa de óxido
- Programa post-irradiación del TC y TA

Las inspecciones visuales en servicio se realizan con herramental especialmente diseñado para este fin, en las paradas programadas.

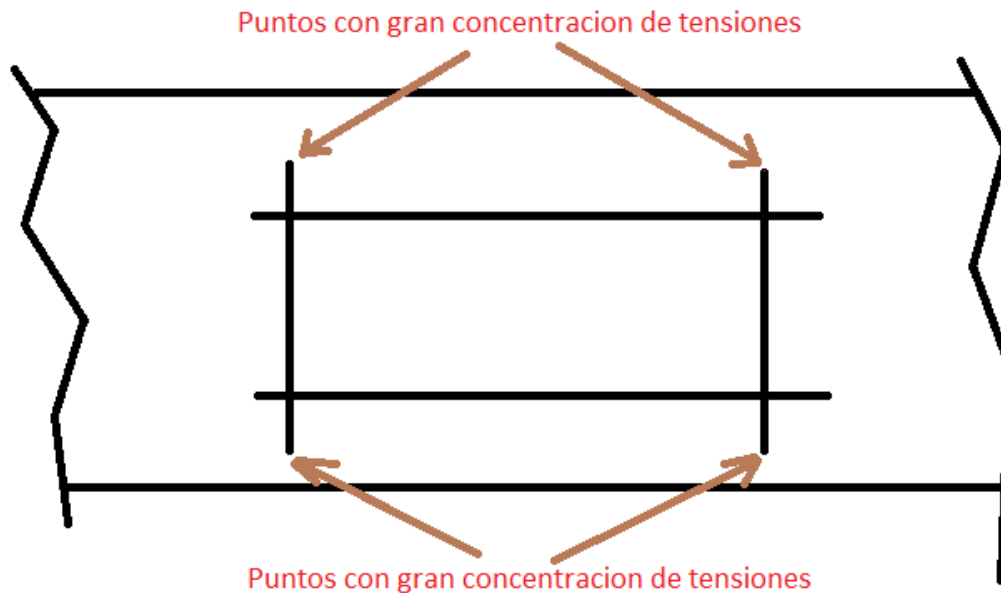
En el programa de metrología se miden los cambios absolutos y relativos de longitud, diametrales, capa de óxidos en toda la longitud de los tubos centrales. Y por último, en el programa post-irradiación se extrae un canal del reactor y se le extraen las muestras sobre las cuales se realizan: Corrosión, con evaluación de las ampollas que aparecen en el interior del tubo central y medición de la capa de óxido de Circonio; Incorporación de Hidrogeno / Deuterio incluido el pick-up, orientación y morfología de los Hidruros; Cambios microestructurales por irradiación neutrónica que incluyen ensayos mecánicos para evaluar ductilidad del canal, contenido de hidruros y su orientación y la evolución microestructural con técnicas de microscopia y análisis térmico..

#### **1.2.5. Extracción de muestras en campañas anteriores**

En campañas anteriores, la extracción de muestras se realizó de 2 maneras similares, ambas con el canal refrigerante en posición horizontal, montado sobre un perfil Grey (de acero al carbono), con un dispositivo simple con una

amoladora neumática de bajas revoluciones por minuto y alto torque (par motor).

En la **campaña del 2008-2010** (canal K-21) se realizó un corte de varias ventanas con forma rectangular donde la amoladora hacia los 2 cortes en sentido coaxial al canal, luego se la giraba 90° en forma manual para realizar los 2 cortes transversales. Los 4 cortes realizados por la amoladora se cruzaban en sus extremos como se muestra en la Figura 5:



Canal refrigerante, vista de cortes con amoladoras

Figura 5: Esquema de cortes de amoladoras en CC campaña 2008

Esta forma de extracción dejaba al canal refrigerante con puntos de concentración de tensiones (en las 4 puntas de los 2 cortes transversales, marcados con flechas en la Figura 5). La presencia de estos concentradores de tensiones es indeseable ya que pueden dar origen a fisuras que propaguen en el cuerpo remanente de canal.

Respecto de los recursos requeridos, esta operación demandaba aproximadamente 2 semanas con una dedicación de 6 personas entre 8 y 12hs por día. Está cantidad de horas hombre sumado a la dosis colectiva recibida por el personal y el largo tiempo de intervención en la instalación llevó a que se planteara una optimización del proceso y la necesidad de automatizarlo.

En la **campaña del 2013-2014** (canal G-12) se modificó la toma de muestras extrayendo una rodaja tanto de TC y TA en 3 zonas de la columna térmica. Esta modificación del proceso de extracción de muestras se implementó con el objetivo de obtener una mayor cantidad de material para los ensayos mecánicos y metalográficos y contar con una mejor estadística en el análisis de los resultados.

Respecto al herramental empleado, también se utilizó una amoladora neumática con disco diamantado aproximadamente a 200rpm (revoluciones por minuto). Se diseñaron e implementaron herramientas manuales para la

manipulación a distancia de las piezas cortadas, se mejoró el método de sujeción de canal, y se modificó el sistema de soportes utilizado bajo agua que permitía no solo posicionar la herramienta de corte en distintas posiciones a lo largo del eje axial sino también hacer girar el canal. Para esto se incorporaron rodamientos en el perfil grey utilizado como soporte y se diseñaron herramientas para manipular y girar el canal a varios metros de profundidad. Sin embargo el proceso se continuo llevando a cabo de manera manual y no se avanzó en la automatización de la tarea. La decisión de cortar rodajas sobre toda la circunferencia del canal implica que el cuerpo del canal remanente pasó de ser una pieza como residuo a 4 piezas que no se podían volver a colgar en las perchas previstas en piletas, lo que requirió un proceso especial para la manipulación, compactado y disposición de los residuos.

En ambas campañas anteriores la mayor situación de riesgo fue el movimiento del canal y perfil Grey que actuaba de bancada en piletas de maniobras de colocación en horizontal y vertical, en las cercanías de los portones que separan a las piletas con combustibles, con la posibilidad de que alguna pieza cayera contra los combustibles quemados.

Cabe aclarar que ambas campañas de extracción de material irradiado y su posterior análisis fueron realizadas por personal de CNEA a través de los contratos particulares entre CNEA y NASA y en el caso de la campaña del año 2013, el autor de esta tesina participo de la misma.

Todas las extracciones de muestras tienen como objetivo la extracción de probetas metalográficas y probetas mecánicas, por lo que el tamaño mínimo de la muestra a extraer está condicionado por las dimensiones de la probeta de tracción (Figura 6) y se requiere 4 probetas por zona.

Se prevé cortar muestras de aproximadamente 60mm de ancho por 300mm de largo con el fin de mecanizar 2 probetas a lo ancho y 2 a lo largo (2x2 probetas)

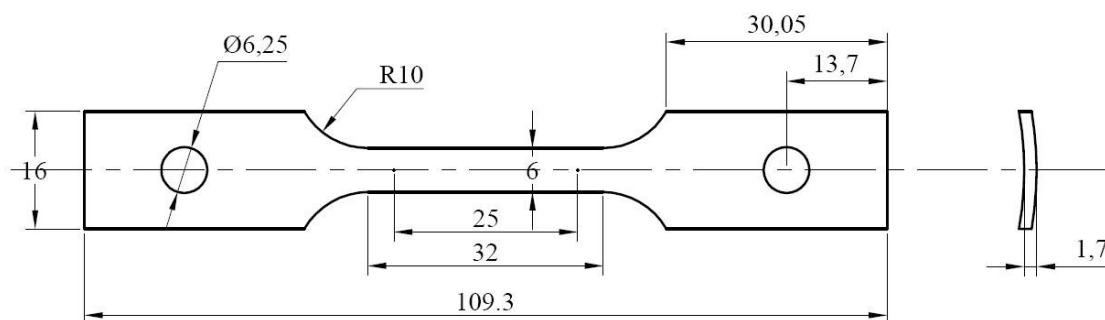


Figura 6: Dimensiones de la probeta de tracción utilizada para los ensayos.

Esta probeta final es mecanizada desde las muestras extraídas en la zona de piletas con el uso de una fresadora CNC en la zona de Celdas Calientes en el Centro Atómico Ezeiza.

### **1.2.6. Nuevo diseño requerido**

Los métodos de extracción de muestras utilizado en campañas anteriores tuvieron como principal desventaja:

- Las maniobras realizadas con el canal próximo a los portalones de separación de piletas de combustibles y maniobras y luego el posicionamiento en horizontal del mismo se realizaba con movimientos lentos y manuales: movimientos en los cuales el operario del puente grúa no está capacitado formalmente, y la precisión del control de la grúa no es adecuada.
- Los residuos que conformaban el canal pasan de ser 1 bulto a 4 con la imposibilidad de depositarlo en las perchas destinadas para tal fin.
- La realización de la operación de corte en posición horizontal implicaba la acumulación de viruta del material radiactivo sobre el perfil grey. Al ser esta una superficie rugosa, el proceso de descontaminación resulto complejo.
- El tiempo que insume toda la operatoria de extracción de muestras y las horas/hombre requeridas era muy alta (cercana a las 3 semanas completas de trabajo en zona de Piletas)

Ante la problemática encontrada en las campañas de extracción de muestras anteriores, los altos recursos de personal necesarios, se requiere un nuevo dispositivo con un diseño evolutivo y más seguro, que permita la operación remota minimizando los riesgos sobre el personal y la instalación

Por estos motivos se planteó el diseño de un dispositivo que subsane estas desventajas, el mismo cumplirá con los siguientes requisitos:

- El canal solo deberá ser movido en forma vertical, en la forma en que el operario de maniobras (operario del puente grúa) en piletas está acostumbrado y capacitado para realizar.
- El corte debe dejar como residuo una sola pieza, y como tal volverá a su posición en las perchas destinadas para su almacenamiento de la cual fue extraído antes del corte.
- La intervención en piletas deberá ser de una semana de operación del equipo, más 2 días de instalación del mismo, y 2 días de desmantelamiento y descontaminación.
- El equipo debe ser operado de manera remota desde una consola de control.
- El equipo deberá estar construido con materiales que permitan una fácil descontaminación.
- El equipo deberá ser transportable para poder operar tanto en las piletas de CNAI y CNAII.
- Las herramientas de corte deberán ser estandarizadas y de fácil reemplazo durante la operación de corte.
- El sistema deberá probarse previamente en una instalación tipo Mock-up, en frío (condiciones radiológicas convencionales).
- Los materiales deberán ser seleccionados tal que minimicen el daño por radiación. Ver sección 2.3.
- Operará en piletas bajo actuales normativas y buenas prácticas de seguridad nuclear y convencional.

- La precisión de los cortes será del orden del milímetro con el fin de disminuir la incertidumbre en la resistencia estructural del canal remanente luego de la extracción de muestras.
- Se requerirán 3 personas para la operación de montaje y desmantelamiento y 2 para la operación del equipo .
- La dosis acumulada (individual) en el total de la tarea para el personal interviniente no deberá sumar más de un décimo de la permitida en la central para sus operarios: 1,8mSv (límite anual de 18mSv). Se establece como objetivo una dosis colectiva menor a 8mSv
- Las partes constitutivas del dispositivo tendrán un largo máximo de 4,5mts con el fin de ser transportables en vehículos oficiales de CNEA.

## **2. Capítulo 2: Desarrollo**

En las siguientes secciones se desarrollará el diseño del dispositivo de corte de acuerdo a los criterios de diseño establecidos en la sección 1.2.6

### ***2.1. Condiciones de operación en piletas***

El corte de las muestras debe ser realizado bajo agua en la pileta de maniobras de la central nuclear Atucha I, con la posibilidad de que el mismo dispositivo pueda ser trasladado y utilizado para extraer muestras en la central Atucha II.

El agua de la pileta es desmineralizada y la visibilidad es muy buena. Se utilizan filtros de resinas para remover partículas extrañas.

La profundidad máxima de operación de los motores y amoladoras será de 12mts y la temperatura del agua será la temperatura ambiente.

### ***2.2. Calculo de radiación emitida por el canal y blindaje requerido***

El análisis del campo de radiación emitido por el canal debe ser analizado por 2 aspectos:

- La radio protección del personal interviniente
- El posible daño por radiación en materiales y dispositivos que forman el sistema

A continuación se analizarán los aspectos referidos a la radioprotección del personal, la influencia de los campos de radiación sobre los materiales y dispositivos se consideró a través del diseño del equipo (por ejemplo, disponiendo la electrónica de manera remota) y en la sección 2.3 de elección de materiales.

Toda la tarea se realizara con el dispositivo que se describe en el punto 2.6., y tendrá 3 situaciones en las cuales se expondrá al operario a una tasa de radiación:

**Situación 1:** Traspaso del canal desde su posición en las percha en pileta al dispositivo de extracción de muestras. El canal se mantiene fuera del agua por el lapso que dura el cambio de herramental de sujeción.

**Situación 2:** Corte de muestras (trabajo de extracción de muestras propiamente dicho): El canal permanece bajo agua con el respectivo blindaje

que esta aporta. La duración de la tarea se estima que puede llegar a insumir 3 semanas de trabajo.

**Situación 3:** Traslado de las muestras extraídas desde la zona de piletas en la central nuclear a Celdas Calientes en el predio del Centro Atómico Ezeiza: este cálculo de blindaje se realiza en el punto 4.

**Situación 4:** Remoción y descontaminación del dispositivo de la piletas. Este punto se analiza en el diseño de la máquina de corte y extracción de muestras y en punto 3.3.

Como premisa se propone que el operario del sistema reciba como máximo un décimo de la dosis anual autorizada para la instalación ( $18\text{mSv} \rightarrow 1,8\text{mSv}$  en toda la tarea).

#### **Principales radioisótopos:**

En campañas anteriores se realizaron ensayos de espectrometría y se hallaron como emisores de actividad al Cobalto 60, al Niobio 95 y al Circonio 95. Considerando los materiales componentes (elementos químicos) de la aleación Zircaloy y aceros utilizados, se describe la evolución de radioisótopos principales como causantes de la radiación que un canal refrigerante emite luego de más de 2 años de reposo (decaimiento) en piletas de la central Atucha I. (Ver Ref. 6)

Con más de 3 años de decaimiento en piletas se espera que los picos de Zr95 y Nb95 desaparezcan y entren en juego el Estaño y Antimonio. Ver el Anexo 1 donde se ven picos de espectrometría de un canal con 4 años de decaimiento y en el Anexo 2 se analizan los picos y las energías.

Por otra parte, el cobalto 60 aparece como consecuencia de los depósitos de óxidos del Circuito Primario con trazas de hierro.

Por lo tanto, considerando la composición química del Acero inoxidable 1.4550 y Zircalloy-4 PCA-s, se presentan 3 casos de considerable importancia como emisores de radioactividad:

- **Caso del Cobalto 60:** (Imagen 1)

El hierro 56 por captura neutrónica pasa a Hierro 57 que por el mismo caso pasa a Hierro 58 (todos estables) y luego a Hierro 59 que es inestable y por decaimiento Beta (un protón más y un neutrón menos) pasa a Cobalto 59 que por captura pasa a Cobalto 60. También el Hierro 59 por captura pasa a Hierro 60 que por decaimiento Beta pasa a Cobalto 60. El cobalto 60 tiene 5,272 años de vida media por lo cual se lo encuentra ampliamente en las partes de acero del canal refrigerante, y en menor porcentaje (por el bajo contenido) en la parte activa del Zircaloy-4 (También puede observarse por deposición superficial como producto de corrosión arrastrado desde el circuito Primario)



	σ 2,8	σ 2,5	σ 14,2
Co 58 8,94 h β 0,5 γ 81 σ 136000	Co 59 100 σ 20+17	Co 60 10,5 m β 0,3 γ 1332, 1073 σ 2,0	Co 61 1,6 h β 1,2 γ 67
Fe 57 2,14 σ 2,48	Fe 58 0,31 σ 1,15	Fe 59 44,6 d β 0,5, 1,6 γ 1099, 1292	Fe 60 ~ 10 <sup>5</sup> a β 0,1 m

Imagen 1: Evolucion radioisotopos Fe – Co, tabla Karlsruhe de radioisotopos.(Ref. 7)

- Caso del Zircaloy 95 y Niobio 95: (Ver Imagen 2)

Así como el hierro por captura neutrónica transmuta, el Circonio en la aleación Zircaloy-4 PCA-s también, en la parte activa del canal. Desde el circonio 90 al 92, estables, pasan por captura neutrónica al Zr 93. Hay dos opciones:

- por emisión β- pasa a Nb 93 y de este por captura al Nb94, pero no ocurre con mucha probabilidad, ya que la vida media es de  $1,5 \times 10^6$  años por lo cual la cantidad de Zr93 que pasa a Nb 93 es ínfima (por eso esta en rojo en la Imagen 2) Se desestima esta via de transmutación.
- Por captura el Zr93 pasa a Zr94 y luego a Zr95, que decae emitiendo un β- a Nb95 que luego emitiendo un β- pasa a Molibdeno 95, estable.

Cabe aclarar que esta deducción es válida según el tiempo de decaimiento en piletas luego de ser extraído del reactor el canal, ya que la vida media de ambos radioisótopos es baja pero la cantidad en masa de ambos es alta.

Mo 93 3,5 · 10 <sup>3</sup> a σ 0,016	Mo 94 9,1 σ 14,5	Mo 95 15,9 σ 1,0	Mo 96 16,7 σ 2,2	Mo 97 9,5 σ 0,130	Mo 98 24,4
Nb 92 ~ 10 <sup>8</sup> a	Nb 93 13,6 a σ 0,15+10	Nb 94 6,26 m β 0,5 γ 871, 703 σ 7+~15	Nb 95 35,15 d β 0,2 γ 760 σ < 7	Nb 96 23,4 h β 0,7 γ 778; 569; 1091	Nb 97 53 s β 1,3 γ 658
Zr 91 11,2 σ 1,03	Zr 92 17,1 σ 0,26	Zr 93 1,5 · 10 <sup>6</sup> a β 0,06 σ ~ 2	Zr 94 17,5 σ 0,056	Zr 95 64,0 d β 0,4, 0,9 γ 27; 724 σ 9	Zr 96 2,8 σ 0,017
Y 90 64,1 h β 2,3	Y 91 49,7 m β 1,5	Y 92 3,54 h β 3,6	Y 93 10,1 h β 2,9	Y 94 19 m β 4,9	Y 95 10,3 m β 4,3 γ 954; 2176

Imagen 2: Evolucion radioisotopos Zr – Nb, tabla Karlsruhe de radioisotopos. (Ref. 7)

- Caso del Estaño - Antimonio: (Ver Imagen 3)

El emisor radioactivo en la parte del stack de pastillas de uranio (la parte activa y con gran fluencia neutrónica) surge a partir del Sn (1,6% en la aleación)

Por captura neutrónica los isotopos estables del Estaño pasan hasta el Sn123 que decae emitiendo  $\beta^-$  a Antimonio 123 que por captura pasa a Sb124 y luego a Sb125. El Sn123 pasa también por captura a Sn124, luego a Sn125 y por emisión  $\beta^-$  también pasa a Sb125.

El Antimonio 125 es el radioisótopo que aparece luego de los 2 años de decaimiento en las partes del Zr-4. Tiene una vida media de 2,77 años.

Te 122 2,4 $\sigma$ 1,1+1,7	Te 123 0,87 119,7 d I $\gamma$ 159... e <sup>-</sup> $\sigma$ 406	Te 124 4,6 $\sigma$ 0,04+6,8	Te 125 58 d 7,0 I $\gamma$ 35... e <sup>-</sup> $\sigma$ 1,55	Te 126 18,7 $\sigma$ 0,135+0,90	Te 127 109 d 9,35 h I $\gamma$ ... e <sup>-</sup> $\beta^-$ 0,7... I $\gamma$ ... $\sigma$ 418
Sb 121 57,3 $\sigma$ 0,055+6,2	Sb 122 4,2 m 2,70 d I $\gamma$ 61... e <sup>-</sup> $\beta^-$ 14, 20 $\gamma$ 564, 693	Sb 123 42,7 $\sigma$ 0,011 +0,035+4,8	Sb 124 20 m 1,6 m 60,3 d I $\gamma$ ... $\beta^-$ 1,7 $\gamma$ 603, 665, 696	Sb 125 2,77 a 0,3; 0,6 $\gamma$ 428; 601; 636; 463 g. m	Sb 126 19,0 m 12,4 d $\beta^-$ 1,9 $\gamma$ 415; 668, 695 I $\gamma$ ... e <sup>-</sup> $\beta^-$ 0,5 1,9 $\gamma$ 666; 695, 418
Sn 120 32,8 $\sigma$ ~0,001 +0,14	Sn 121 ~50 a 27,0 h $\beta^-$ 0,35 $\gamma$ 37 e <sup>-</sup>	Sn 122 4,7 $\sigma$ 0,180 +0,001	Sn 123 40,1 m 129,2 d $\beta^-$ 1,3 $\gamma$ 160 $\beta^-$ 1,4 $\gamma$ ...	Sn 124 5,8 $\sigma$ 0,13+0,004	Sn 125 9,5 m 9,64 d $\beta^-$ 2,4 $\gamma$ 332, 1087, 1088, 823, 916
In 119 18 m 4,23 m	In 120 44 s 1,30 s	In 121 3,8 m 1,25 s	In 122 10,0 s 11,5 s	In 123 47,8 s 1,6 s	In 124 3,2 s

Imagen 3: Evolucion radioisotopos Sn – Sb, tabla Karlsruhe de radioisotopos. (Ref. 7)

Se observa que el Cobalto 60, el Niobio 95, el Circonio 95 y el Antimonio 125 son los beta y gama emisores más activos del canal al momento del trabajo de corte. En este trabajo no se tiene en cuenta la emisión del Antimonio 125 debido a su constante  $\Gamma$ : esta es 4 veces inferior a las constantes del Circonio 95 y Niobio 95, por lo tanto, siendo conservativos, se considera la actividad proveniente solo de estos 2 radioisótopos en la parte del Zircalloy.

En las anteriores campañas de toma de muestras se midió la actividad de los canales refrigerantes con el canal refrigerante en posición horizontal y a un metro de profundidad (blindaje de agua de un metro de espesor). Esta medición fue corroborada con espectrometría analizando los picos energéticos emitidos por el canal. Ver Anexo 1.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se muestran las actividades de cada tramo de canal con sus dimensiones.

Tabla 1:

Tramo CR	Actividad Nucleido ppal (Ci)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Espesor (cm)
Tramo inox. superior.	<b>2 Co<sup>60</sup></b>	6,44	12	359,6	0,44
Recub. Buje superior	<b>10 Co<sup>60</sup></b>	7,86	12	10	0,44
Tubo Central TC + TA	<b>40 Nb<sup>95</sup> y 35 Zr<sup>95</sup></b>	6,44	11	606,4	0,21
Recub. Buje inferior	<b>60 Co<sup>60</sup></b>	1	10	27	0,44

A continuación se analizarán las distintas situaciones de exposición a la radiación por parte del personal operante:

Para la **situación 1** en la cual se extrae el canal refrigerante, la parte del tramo superior queda 1,4mts por arriba del pelo de agua (ver Foto 1 y Figura 7), se calcula la tasa de dosis que emite el mismo como una fuente lineal. Se esquematizo la situación en la Figura 8 tomando el caso más conservativo donde no existe un blindaje de agua, y todo el tramo superior (3,6mts) se encuentra descubierto y a distancias reales de la persona.



Foto 1: Operario en maniobra de cambio de herramientas

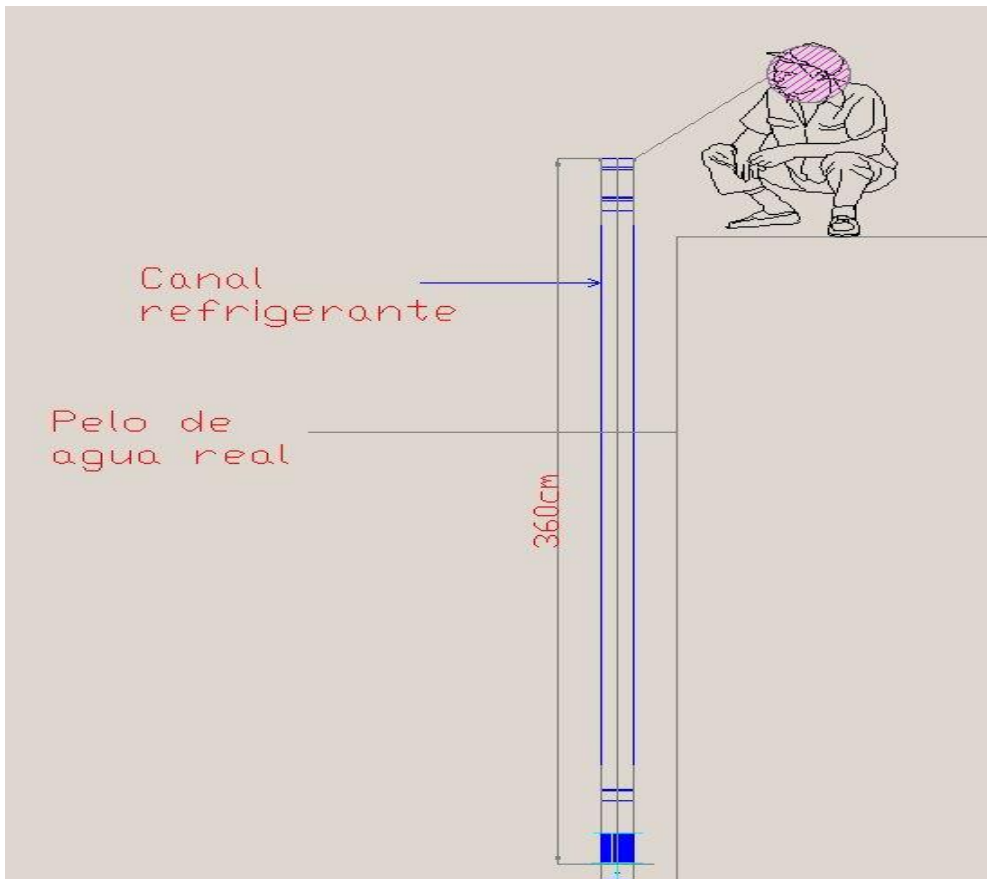


Figura 7: esquema, operario a distancias de canal durante maniobra de cambio de herramientas (Situación 1).

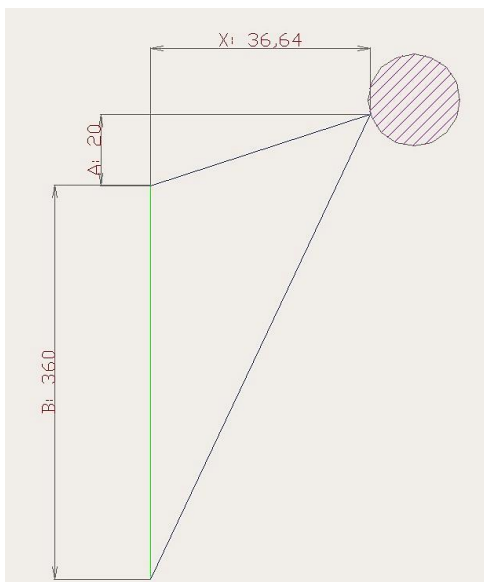


Figura 8: Distancias fuente lineal a operario

Para las emisiones  $\beta$  del Cobalto 60 el alcance en aire para su energía máxima (1,5Mev) es de aproximadamente 500cm, pero ocurre el 0,12% de las veces por lo cual se puede desestimar. Y para su energía típica, el alcance es de 50cm (ver Figura 9 y Figura 10). Para esta situación se recomienda usar además del chaleco de plomo, anteojos o máscara para proteger el cristalino.

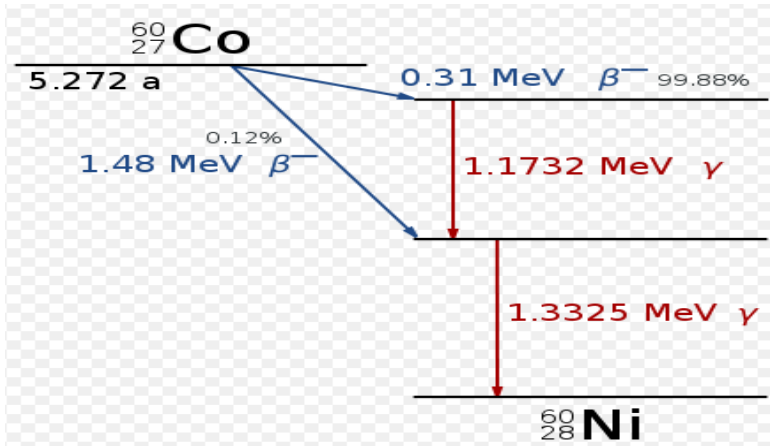


Figura 9: Diagrama de decaimiento radioactivo del Cobalto 60

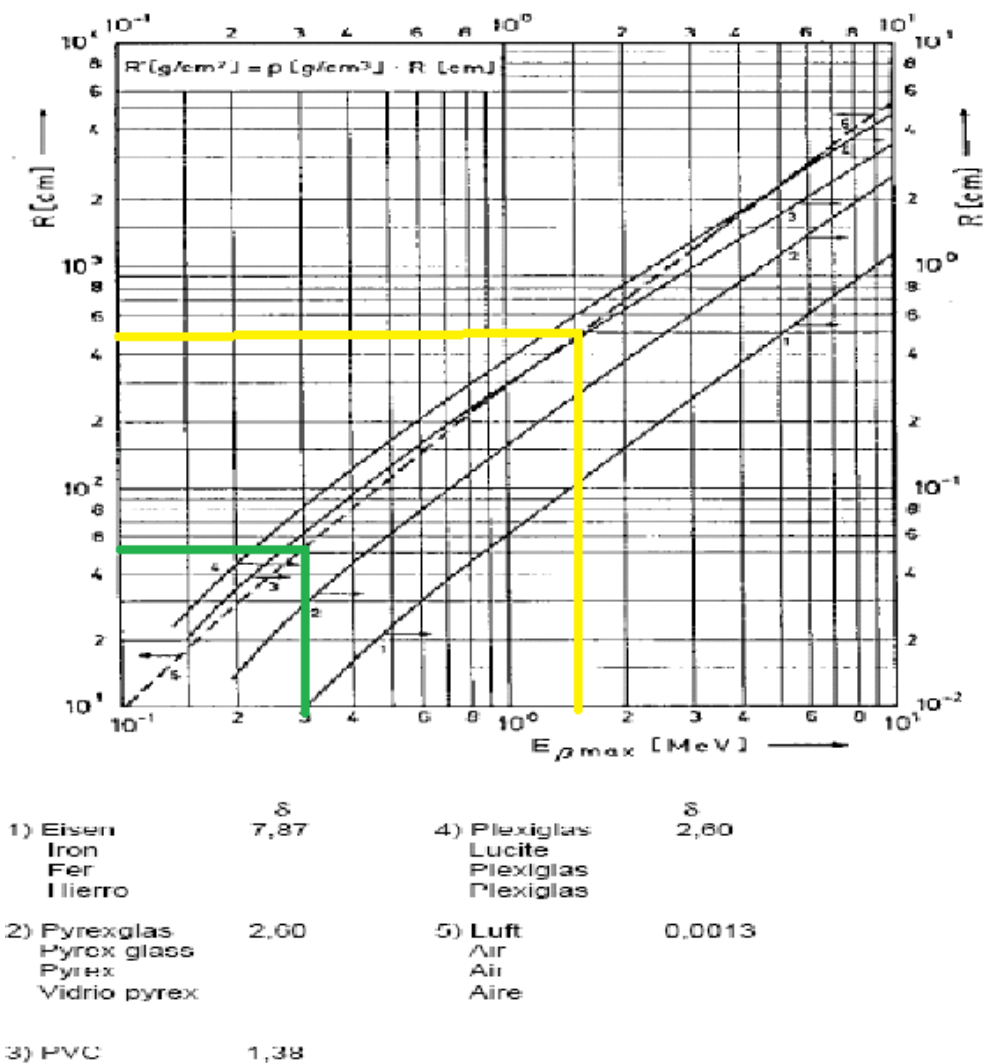


Figura 10: Grafico de alcance particulas beta vs. Energia de las particulas

Para las emisiones  $\gamma$ , la tasa de dosis a esa distancia del operario, todo el tramo superior en aire, está dado por:

$$\dot{D} = \frac{\Gamma * A_l}{x \cdot 114 \frac{R}{Gy}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{A + B}{x} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{A}{x} \right) \right]$$

Siendo  $\Gamma$  la constante gamma de cada material que sale de tabla (o se puede calcular según  $\Gamma = 114 * 1,696 * \sum_{i=0}^n [E_i * e_i * (\mu_{en} / \rho)_{aire}] Rm^2 / (hCi)$ ),  $A_l$  la actividad de la fuente lineal en Ci,  $x$ ,  $A$  y  $B$  se ven en la Figura 8 siendo dimensiones en mt, y como se asumió conservativamente, con todo el tramo superior extraído de la pileta y sin el blindaje que aporta el agua.

$$\dot{D}_{aire} = \frac{1,32 \left( \frac{Rmt^2}{hCi} \right) * \frac{2Ci}{3,6mt}}{114 \frac{R}{Gy} \cdot 0,3464m} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{3,8}{0,3464} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{0,2}{0,3464} \right) \right]$$

Ya convertido en Gy/h, dado que  $\dot{D} = \frac{\dot{X}}{114 \frac{R}{Gy}}$ , que para emisores  $\dot{X}$  y 1Gy es 1 Sv. Por lo tanto la tasa de dosis emitida por el tramo superior del canal es de

$$\dot{D} = 17,75mSv/h$$

El aporte del resto del canal, el cual realmente se encuentra a 2,2mts bajo agua y tiene ese blindaje, es prácticamente nulo comparado a la dosis emitida por el canal fuera del agua. Esto igual se ve reflejado en el cálculo realizado para la situación 2.

Se restringe por tiempo esta tarea a 3 minutos por operario, incluso se debería rotar de operario, y uso obligatorio de chaleco de plomo y gafas. Con 3 minutos a esa tasa de dosis el operario recibiría **0,89mSv**, la mitad de la propuesta para toda la operación (1,8mSv)

Para la **situación 2**, en la cual se corta el canal refrigerante todo bajo agua, se decidió realizar el cálculo de manera iterativa, por lo que se consideró como primer caso que el extremo superior del canal se encontraba a 50cm bajo el pelo de agua, con el objetivo de determinar la profundidad de trabajo aceptable, para esta situación se consideró cada tramo del canal como una fuente puntual y las distancias correspondientes se muestran en la Figura 11

De manera conservativa se considera toda la actividad de cada tramo en la parte superior del mismo.

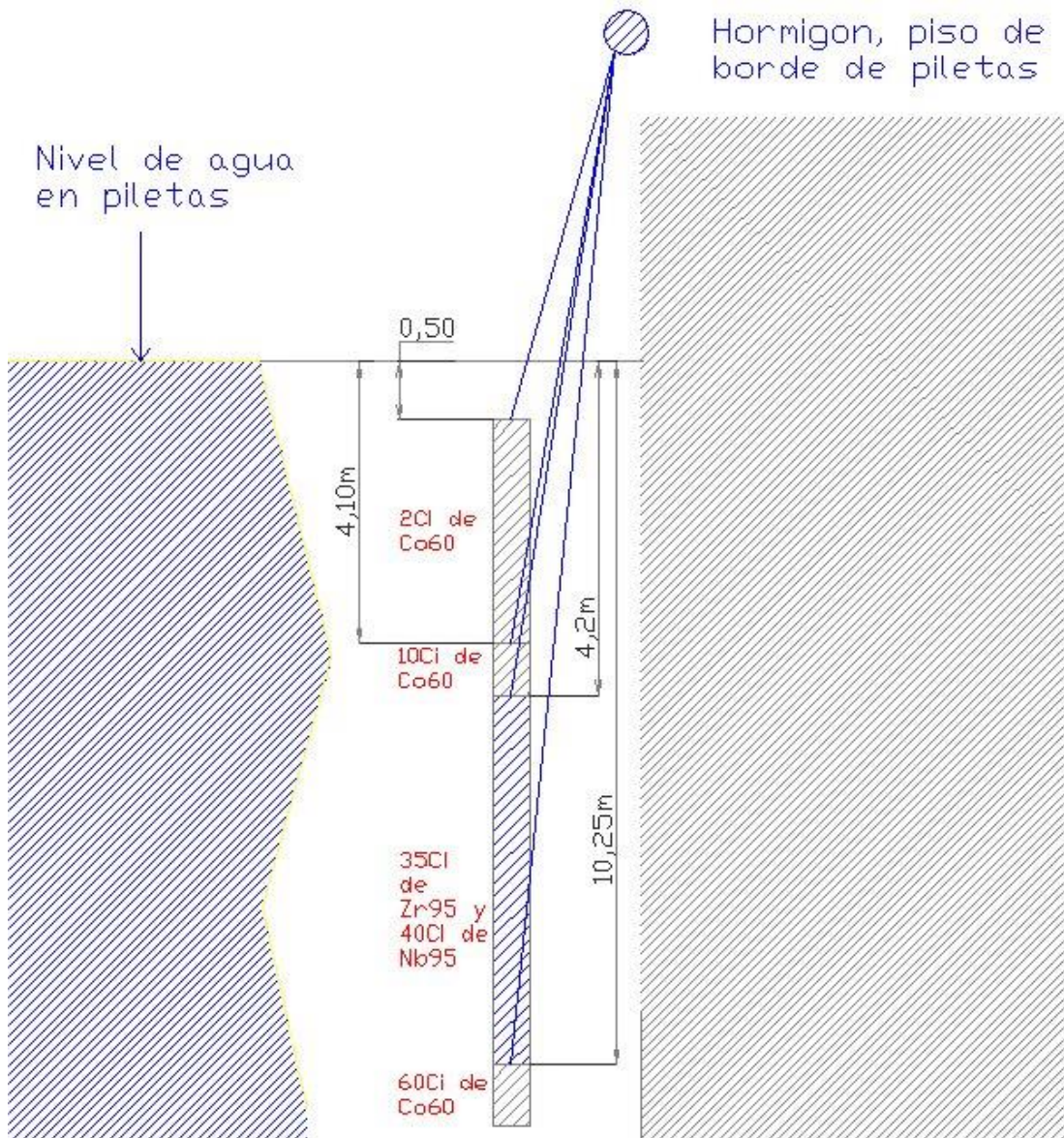


Figura 11: Esquema de distancias de fuentes puntuales a operario.

Se calcula primero la dosis a pelo de agua, sin considerar el metro extra de aire que atenúa la radiación emitida.

Para fuentes puntuales:

$$\dot{D} = \frac{\frac{\Gamma * A}{r^2}}{114 \text{ R/Gy}} \times e^{-\mu r}$$

Para el tramo superior de acero inoxidable, con  $\mu = 0,0575$  (coeficiente de atenuación lineal del agua) y a 0,5m, con 2Ci:

$$\dot{D} = \frac{\frac{1,32 \frac{Rm^2}{hCi} * 2C_1}{0,5m^2}}{114 \text{ R/Gy}} \times e^{-0,0575 \frac{1}{cm} \times 50cm} = 5,19mSv/h$$

Para el tramo del recubrimiento superior, con  $\mu = 0,0575$  (coeficiente de atenuación lineal del agua) y a 4,1m, con 10Ci:

$$\dot{D} = \frac{1,32 \frac{Rm^2}{hCi} * 10Ci}{4,1m^2} \times e^{-0,0575 \frac{1}{cm} \times 410cm} = 3,97^{-10} mSv/h$$

Esta tasa de dosis se desprecia en comparación con la dosis que recibe el operario del primer tramo.

Para el tramo de los tubos de Circonio, con  $\mu = 0,0785$  (coeficiente de atenuación lineal del agua) y a 4,2m, con 75Ci de Nb95:

$$\dot{D} = \frac{0,42 \frac{Rm^2}{hCi} * 75Ci}{4,2m^2} \times e^{-0,0785 \frac{1}{cm} \times 420cm} = 7,48^{-14} mSv/h$$

Nuevamente, esta tasa de dosis se desprecia en comparación con la dosis que recibe el operario del primer tramo.

Para el tramo del recubrimiento superior, con  $\mu = 0,0575$  (coeficiente de atenuación lineal del agua) y a 10,25m, con 60Ci de Cobalto 60:

$$\dot{D} = \frac{1,32 \frac{Rm^2}{hCi} * 60Ci}{10,25m^2} \times e^{-0,0575 \frac{1}{cm} \times 1025cm} = 6,01^{-26} mSv/h$$

Igual que en los 2 casos anteriores, esta tasa de dosis se desprecia en comparación con la dosis que recibe el operario del primer tramo.

Siendo el tramo superior el que más aporta, por varios ordenes de magnitud, y con 5,19mSv/h, y poniendo un límite de tiempo para trabajar sobre la plataforma en 3 semanas de 6 días hábiles y 12hs por día, un total 216hs, se observa que la tasa de dosis es muy superior a la permitida por lo que se recalcula el caso considerando como único aporte al tramo superior. Para obtener una dosis total de 0,9mSv en esta operación, la cual corresponde al 50% de la dosis máxima permitida se calcula que la tasa máxima admisible es de 0,0042mSv/h.

Se propone como segunda situación llevar al canal con su extremo superior 1,4mt debajo del pelo de agua.

Se recalcula la tasa de dosis y se obtiene el valor que se muestra a continuación:



$$\dot{D} = \frac{1,32 \frac{Rm^2}{hCl} * 2C_1}{114 R/Gy} \times e^{-0,0575 \frac{1}{cm} \times 140cm} = 0,00377 mSv/h$$

Con esta condición, para 216hs de trabajo se estima una dosis de 0,814mSv por lo que se adopta esta posición de trabajo.

### 2.3. Elección de materiales

Como criterio de diseño se minimizo el uso de polímeros debido a que los materiales basados en polímeros deben ser seleccionados con el cuidado de la degradación que sufren ante la radiación ionizante y no ionizante. La estructura y las ligaduras moleculares pueden ser dañadas por la radiación  $\beta$  (electrones),  $\gamma$  y rayos X.

Así como los polímeros son afectados por la radiación que emite el canal, se optó por utilizar materiales plásticos en zonas resguardadas con blindaje provisto por la propia agua circundante u otros componentes metálicos del dispositivo.

Se prevé utilizar una goma siliconada, muy resistente a la radiación y con muy buen agarre, para recubrir las palancas de los brazos de apriete como se muestra en la Figura 12. Esta goma siliconada será un consumible, previéndose un recambio en cada campaña de extracción de muestras por lo que no se realiza una estimación de durabilidad del producto correspondiente.

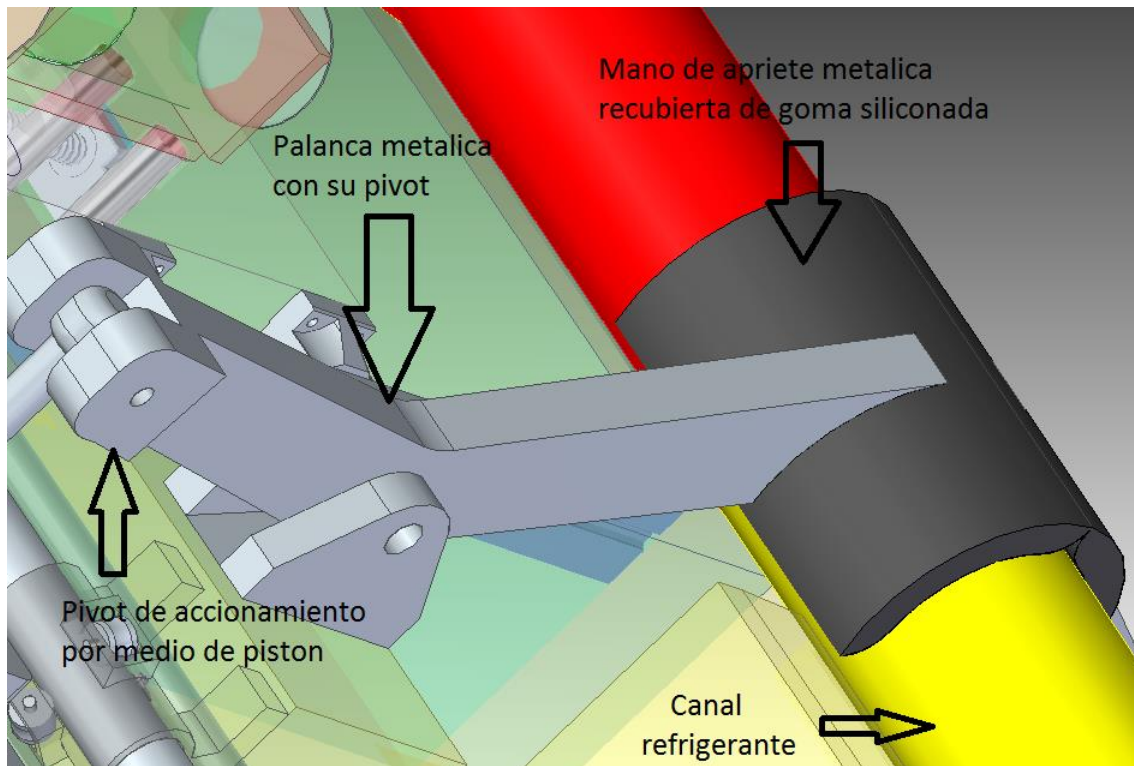


Figura 12: Brazos de apriete con manos de goma siliconada.

El componente más expuesto a la radiación emitida por el canal en la condición más extrema, situación más conservativa (cortando el canal en el extremo inferior donde recibiría la dosis emitida por la parte de acero inoxidable y de Zircalloy), son las partes de sellos de las amoladoras neumáticas (orings). Se considera el aporte de cada uno de los tramos como fuente lineal según se muestra en la Figura 13.

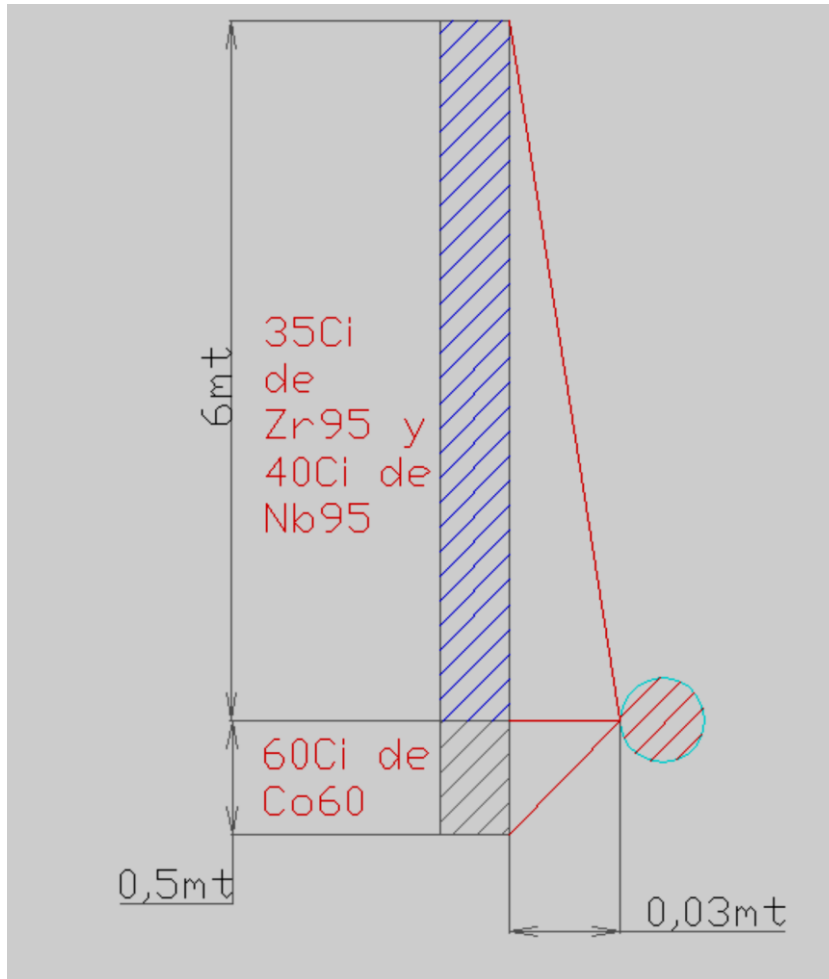


Figura 13. Esquema de distancias fuentes lineales a partes elastomericas.

Se utiliza la formula usada en el punto 2.2.

$$\dot{D} = \frac{\Gamma * A_l}{x \cdot 114 \frac{R}{Gy}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{A + B}{x} \right) \right] \times e^{-\mu r}$$

El tramo inferior por el Cobalto 60 aporta:

$$D_{agua} \dot{=} = \frac{1,32 \left( \frac{Rmt^2}{hCi} \right) * \frac{60Ci}{0,5mt}}{114 \frac{R}{Gy} \cdot 0,03m} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{0,5}{0,03} \right) \right] \times e^{-0,0575 \frac{1}{cm} \times 3cm}$$

$$D_{agua} \dot{=} = 58,88 Gy/h$$

El tramo de Zircaloy, considerando todo como Niobio 95 aporta:

$$D_{aire} = \frac{0,43 \left( \frac{Rmt^2}{hCi} \right) * \frac{75Ci}{6mt}}{114 \frac{R}{Gy} 0,03m} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{6}{0,03} \right) \right] \times e^{-0,0575 \frac{1}{cm} \times 3cm}$$

$$D_{agua} = 2,06Gy/h$$

Sumando estas dos tasas de dosis, **los orrings recibirán 60,94Gy/h.**

Se buscarán orrings de sellos de goma siliconada tal que según resistan las 216hs propuestas como máximo de trabajo. La dosis absorbida por los orrings sería de 13.163,04Gy, 3 veces menos que el límite de trabajo para este tipo de material. (Tabla 2 )

Considerando la tasa de dosis más restrictiva como la de los orrings, las demás piezas no solo se encontrarán más blindadas sino que la tasa de dosis ante la cual empiezan a degradarse es mayor. Estas piezas son:

- El barniz poliuretánico que recubre los hilos de cobre de los motores.
- Las uniones rápidas y mangueras del sistema de acciones neumáticas.

Además, los componentes electrónicos de sistema de control de motores fueron localizados de manera remota por lo cual están fuera de alcance de toda radiación ionizante que pueda afectarla.

También se utilizará poliamida 6 para los bujes de las herramientas (tornillos y fresas) en el tambor multi herramienta. No se necesita que cumplan más que una campaña en funcionamiento: son materiales de un solo uso y descartables ya que quedan algunos con la muestra y otros se desgastan con las herramientas.

En la Tabla 2 se detallan los componentes y la tasa de dosis máxima que soportan.

Tabla 2

Componente	material elegido	Tasa de dosis soportada	Observaciones
Empuñadura de brazos de apriete de canal	Goma siliconada	hasta $5 \times 10^4$ Gy	Datos de: Irradiation effects on polymers. Clegg D.W. Collier A.A.
Motores paso a paso	Barniz poliuretánico	hasta $1 \times 10^7$ Gy	
Bujes porta herramientas en tambor multi herramientas	Poliamida 6	hasta $5 \times 10^5$ Gy	

El resto de los materiales son metálicos, de acero inoxidable las partes que van a entrar en contacto con la viruta del mecanizado por la extracción de las muestras, y de aluminio aleación 6061 las demás parte por la facilidad de

mecanizado. Ninguno de ellos sufre daños que afecte su función, con el tiempo de exposición (semanas) y dosis prevista.

#### **2.4. Muestra a extraer**

Vistos los resultados de los informes realizados en campañas de extracción de muestras anteriores, presuponiendo que el canal refrigerante a evaluar presentaría propiedades similares, con el envejecimiento conocido y su estado de fragilización, se optó por un corte de muestra de ambos tubos (Aislante y central) con la siguiente forma (Figura 14):

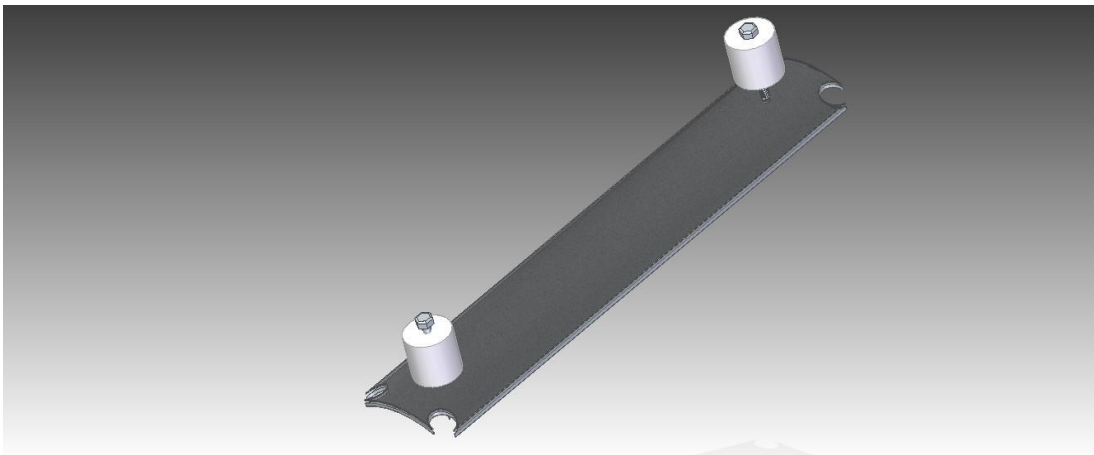


Figura 14: Muestra extraída, con los agujeros realizados en los vértices.

Se pretende dejar el canal refrigerante con una ventana, con el objetivo de que el cuerpo remanente se mantenga en una sola pieza. Para evitar o disminuir la probabilidad de propagación de fisuras se mecanizará las muestras con los vértices con cierto radio de acuerdo como se muestra en la Figura 15

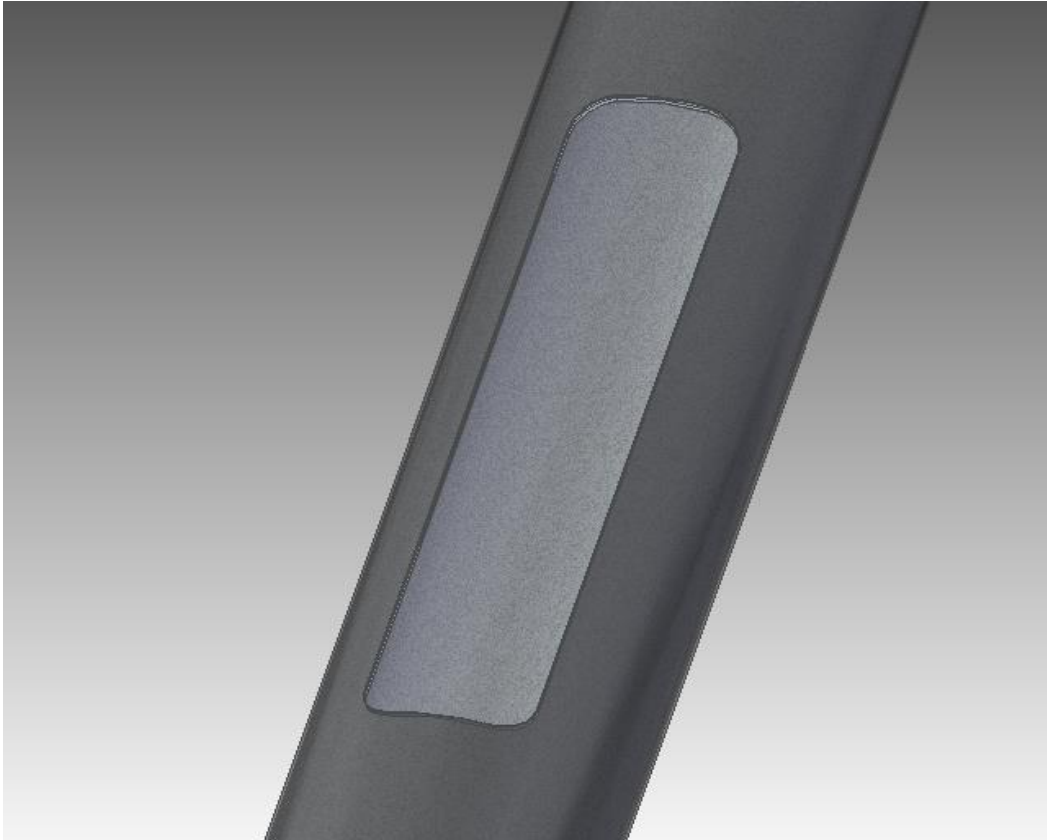


Figura 15: Canal sin la muestra, con los vértices de la ventana mecanizada redondeados.

Además se realizó un cálculo básico con un programa de elementos finitos por el cual se corrobora que la tensión en los vértices de la ventana en el canal (donde se realizará el radio de acuerdo), según los valores de resistencia de canales anteriores, con un coeficiente de seguridad de 2, es admisible y mantendría el canal su resistencia estructural ante las cargas postuladas: su propio peso.

### **2.5. Cálculo de sección remanente**

El cálculo de esfuerzos y resistencia estructural del canal remanente, luego de los cortes, se realizó utilizando el programa de elementos finitos Femap (versión gratuita), y se corroboró luego mediante un cálculo de verificación (ver cálculo en página 33)

Las hipótesis de cálculo son:

- Se considera una solicitud de 80Kgf para el foil (TA) y de 160kgf para el tubo central (TC), siendo el foil solicitado por su propio peso, y el tubo central por el propio peso más el peso del extremo inferior del canal. Se aplica un factor de seguridad de 2. Además se considera con muy baja probabilidad de suceso que al extraer el canal se trabe y aumenten las cargas.
- Se considera que no se le aplican fuerzas de flexión al canal y el mismo cuelga desde su extremo superior.

Los parámetros utilizados son:

Se tomaron los parámetros de las campañas anteriores estimándose que estos parámetros no cambiaron:

- Módulo de elasticidad: 99.300 MPa
- Módulo de rigidez al corte (Shear modulus): 36.200 MPa
- Módulo de Poisson: 0.37

Estos parámetros no tienen un cambio significativo luego de los años estipulados de plena potencia en el reactor.

Se muestran a continuación los gráficos extraídos del programa Femap:  
En el Foil (CA) sólo:

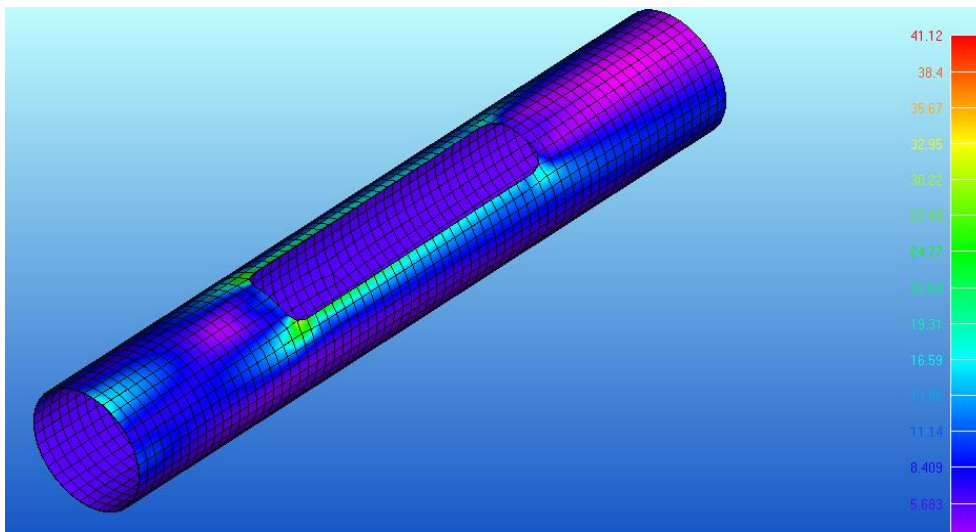


Gráfico 1: Lado exterior del TA, análisis FEMAP

Se ve el lado exterior del foil, con la típica concentración de tensiones en las aristas de la ventana que quedaría en el canal luego de extraer la muestra.

La tensión máxima es cercana a los 29 MPa, lejos de los más de 850MPa de tensión de fluencia de un material irradiado o de los 420 MPa de tensión de fluencia de un material sin irradiar. (Ref. 3)

En los siguientes gráficos se ve de más cerca la distribución de tensiones en las aristas de la ventana en el foil:

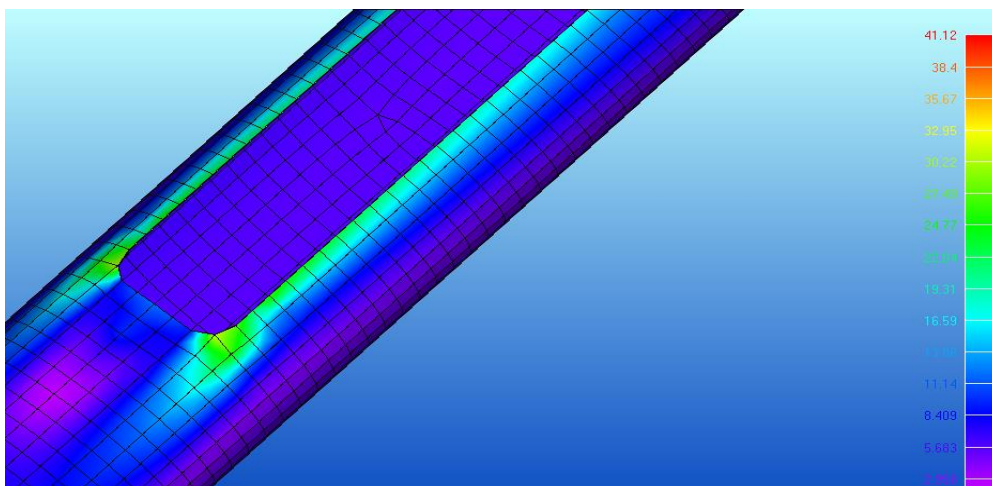


Gráfico 2: Lado exterior del TA, tensión en aristas de ventana, análisis FEMAP

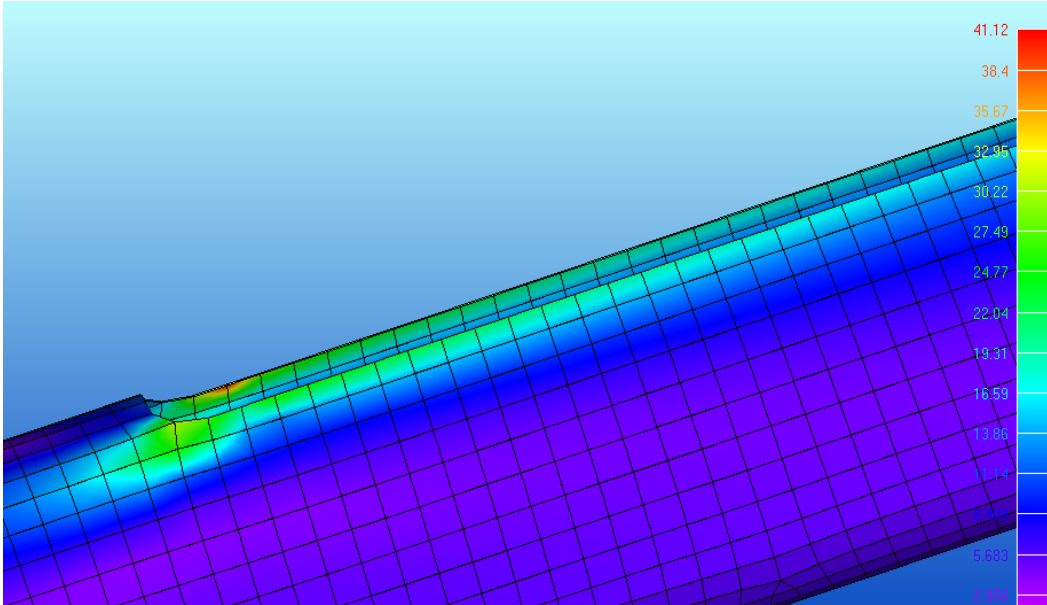


Gráfico 3 Lado exterior e interior del TA, análisis de tensión en aristas de ventana, análisis FEMAP

Se aprecia el aumento de tensiones en la cara interna del foil (colores rojizos en diferencia de los verdes en la cara externa).

La tensión máxima es cercana a los 42 MPa, pero tampoco llegaría a tensión de fluencia de un material irradiado o sin irradiar.

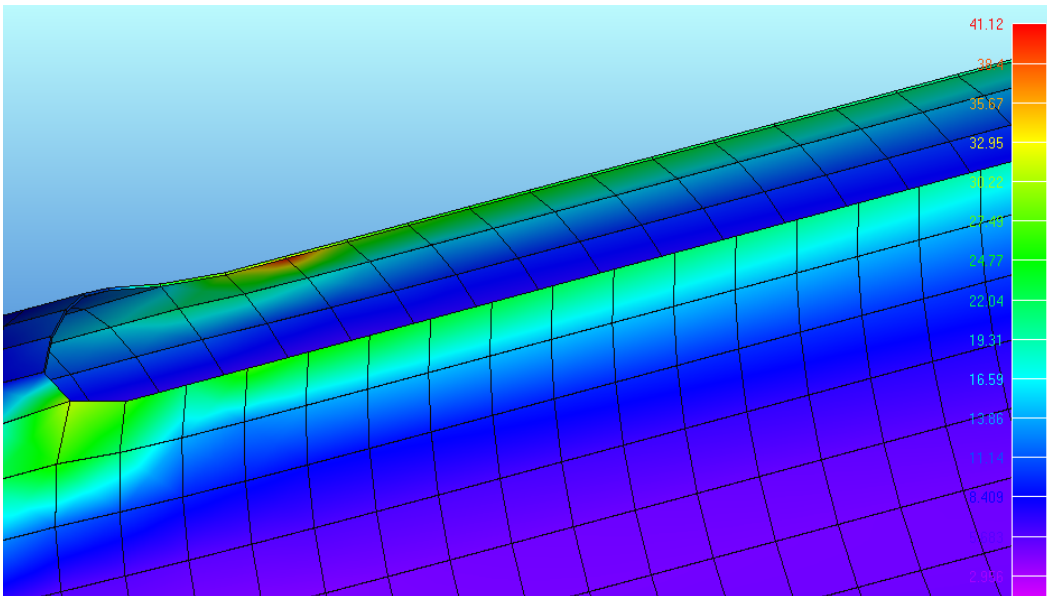
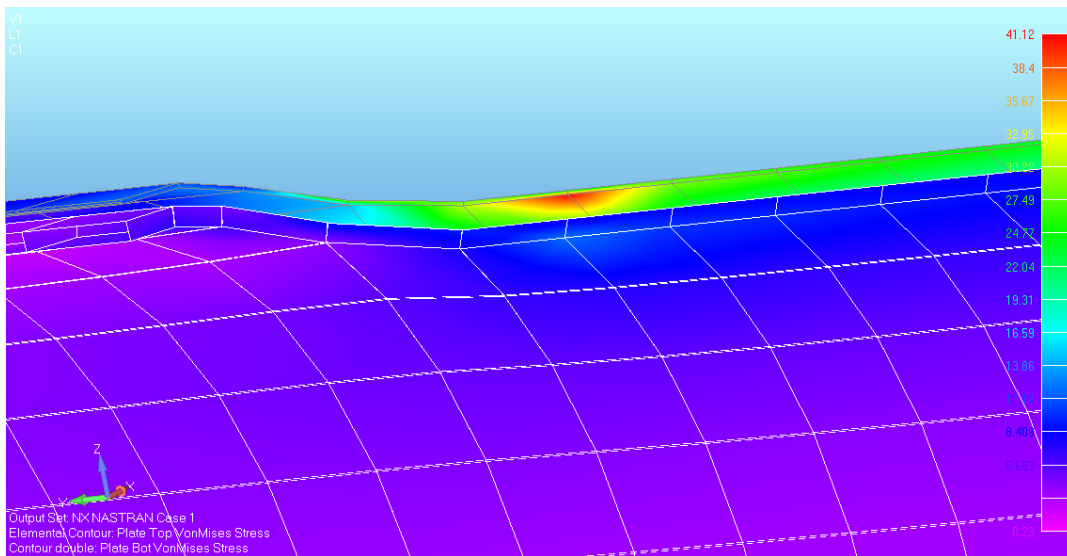


Gráfico 4 Lado exterior e interior del TA, análisis de tensión en aristas de ventana, análisis FEMAP

Vértices vistos desde una perspectiva en la cual se ve el lado interno con tensiones cercanas a los 42MPa y el lado externo con tensiones cercanos a los 29MPa.

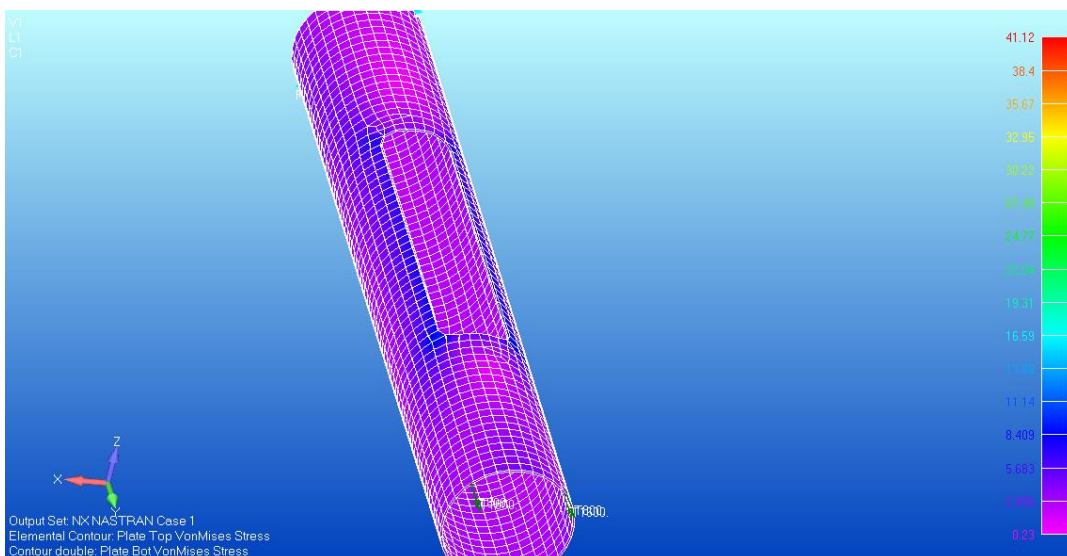
TC y TA en corte:



**Gráfico 5:** Lado interior del TA y TC, análisis de tensión en aristas de ventana, análisis FEMAP

Vista de un corte de TC y TA en los que se ve la diferencia de tensiones debido a una sollicitación diferente entre uno y otro y a la diferencia de espesores.

En el Canal (TC) sólo:



**Gráfico 6:** Lado exterior del TC, análisis de tensión en aristas de ventana, análisis FEMAP



En estos gráficos se observa al TC con la ventana generada debido a la extracción de la muestra.

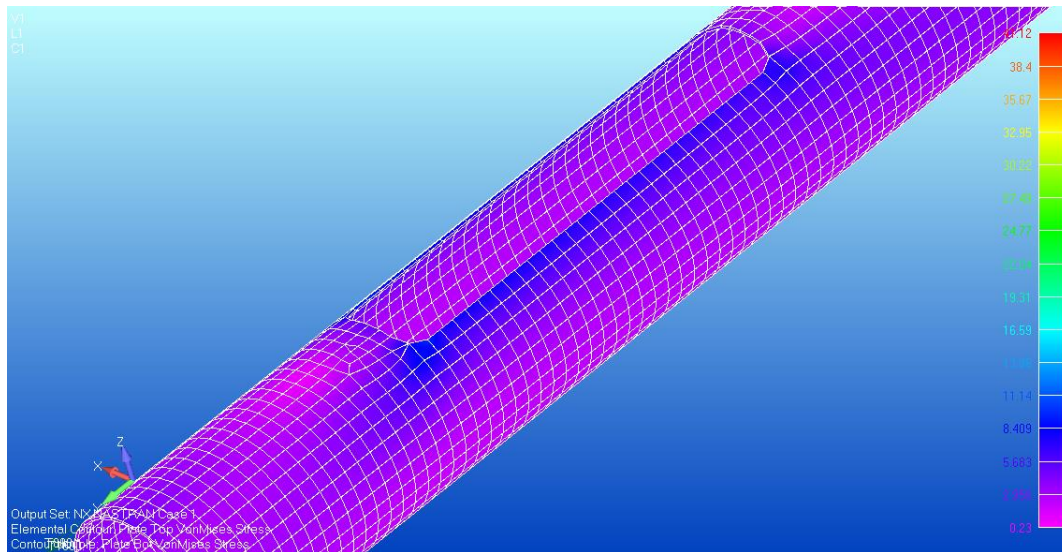


Gráfico 7: Lado exterior del TC, análisis de tensión en aristas de ventana, análisis FEMAP

Otra vista en la cual se aprecia que las tensiones en el TC no llegan a los 19MPa contra los mas de 800MPa que resiste en su condición de irradiado.

Las cargas previstas son exclusivamente las propias por el peso del mismo canal refrigerante (TC + TA + extremo inferior de acero inoxidable)

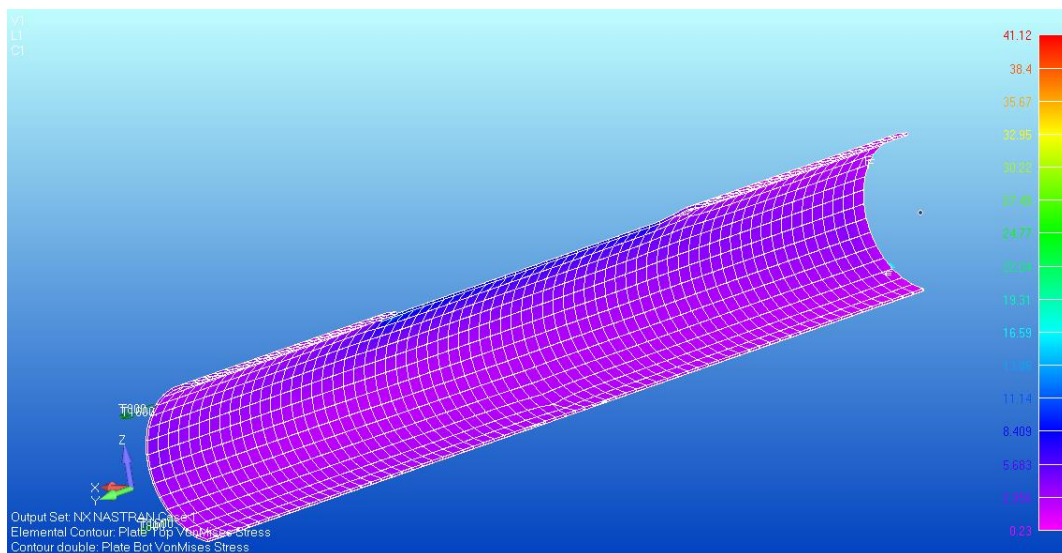


Gráfico 8: Vista en corte del canal refrigerante (TC) analizado por FEM.

Sin considerar la concentración de tensiones en los vértices, se realiza un cálculo básico estructural para corroborar que lo visto por el método de elementos finitos utilizado en el FEMAP es del mismo orden de magnitud:

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area resistente}}$$

Para el TA la tensión dio menos de 7MPa, y para el TC menos de 4MPa, considerando que las tensiones de fluencia de ambos es de 420MPa por lo cual la fórmula de Tensión en el rango elástico es válida, y nunca llegan a la tensión de rotura con las cargas postuladas (Tensión de rotura: por encima de los 400MPa sin irradiar, y arriba de los 800MPa irradiado)

## 2.6. Partes componentes del dispositivo y sus funciones

El dispositivo de corte de muestras está compuesto por 3 grandes componentes. En la tabla se enumeran los mismos con sus subcomponentes y, a grandes rasgos, la función que cumplen.

Grupo funcional	Componente	Sub componente	Referencia	Función
Estructura soporte y control (2.6.1)	Plataforma soporte (Figura 17)	Vigas y piso soporte	Figura 19: Estructura metalica soporte: Vigas y chapa de piso.	Sostener los sub componentes
		Barandas	Figura 20	Proveer Seguridad al operario
		Sistema Malacate	Figura 21	izar el CC
		Herramental de Sujeción Canal	Figura 22	Sostener y rotar el CC
	Consola de comandos (Figura 23)	Control motores Paso a paso	Figura 24	comandar los movimientos de carros
		Control de componentes Neumáticos	-----	comandar la sujeción del CC y movimientos de las herramientas
Grupo Carro de corte (2.6.2)	Carro y montante eje vertical (Figura 26)	Bancada y sujeción	Figura 28	Soporte estructural y vinculación a CC
		Sistema de movimiento	Figura 29	Movimiento de carro y montante de eje horizontal
	Carro y montante eje horizontal	Bancada	Figura 33	Soporte estructural de movimiento eje horizontal
		sistema de movimiento	Figura 34	Movimiento de placa base de herramental
	Placa base de herramental (Figura 35)	Herramentales	Figura 36	Ejecutar los cortes y uniones
		Sistema de movimiento	-----	Posicionar herramientas en posición de trabajo
Sistema guía de izado (2.6.3)	Tubos guías y Separadores estructurales	No aplica.	Figura 43	Guiar al grupo carro de corte en el movimiento y Dar rigidez y resistencia estructural.

En la Figura 16 se muestran los 3 grupos funcionales y el canal a cortar.

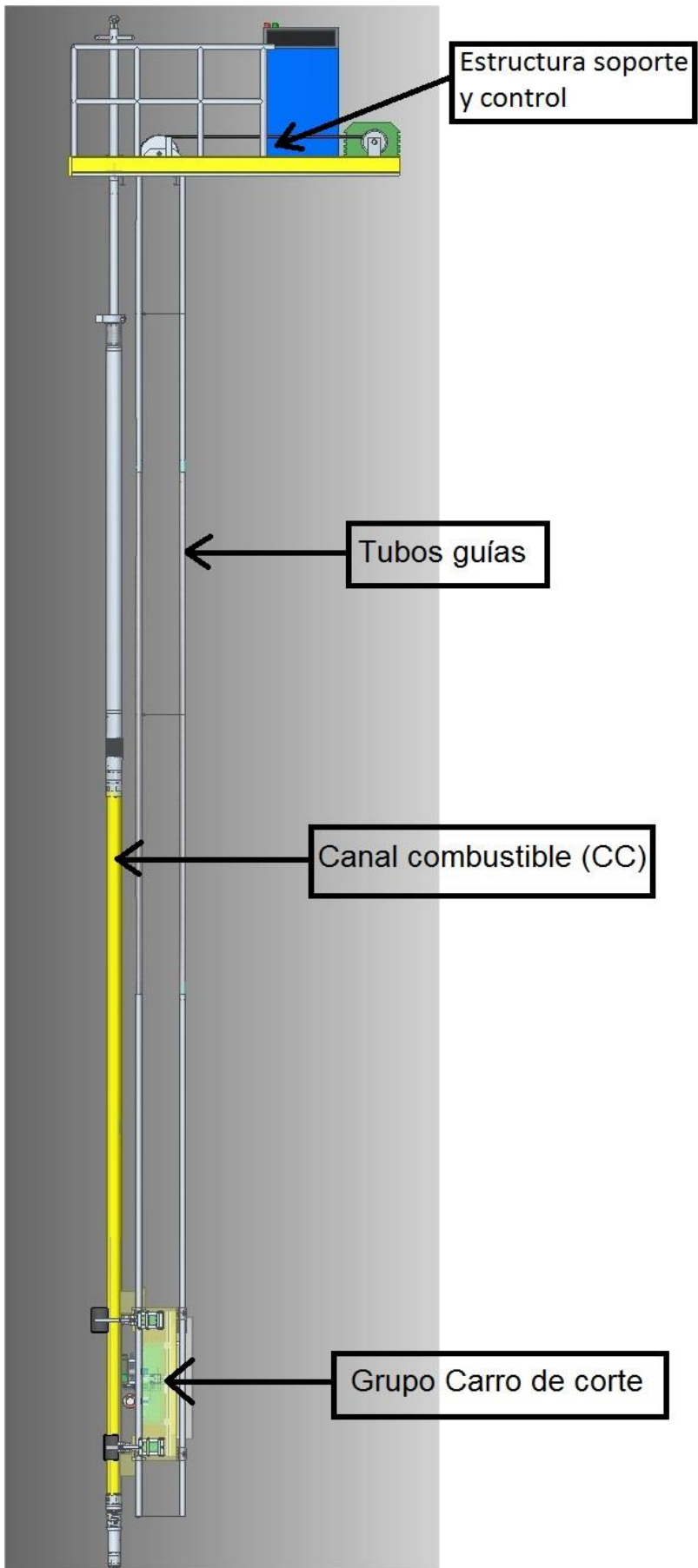


Figura 16: Esquema general del dispositivo de corte junto al CC.

Estos 3 grupos funcionales están vinculados de la siguiente manera:

- La Estructura soporte y Control estará anclada al borde de la pileta de maniobras del edificio de piletas 2. De la estructura cuelgan los tubos guías y, por medio del cable del malacate, el Grupo Carro de corte.
- El Grupo Carro de corte corre verticalmente utilizando a los tubos guías como tales.

En los puntos siguientes se desarrolla una descripción exhaustiva de los componentes y subcomponentes con las funciones de cada uno de los grupos funcionales.

### **2.6.1. Estructura soporte y Control**

Se divide en 2 componentes principales:

- Plataforma soporte
- Consola de comandos

#### **2.6.1.1. Plataforma soporte**

*La plataforma soporte tiene como función brindar el apoyo estructural desde el cual colgará el canal y los tubos guías con el grupo carro de corte.*

*Esta plataforma soporte se divide en 4 subcomponentes:*

- Vigas y piso soporte
- Barandas
- Sistema Malacate
- Herramental de sujeción de canal combustible

*En la Figura 17 se observa la relación entre estos subcomponentes*

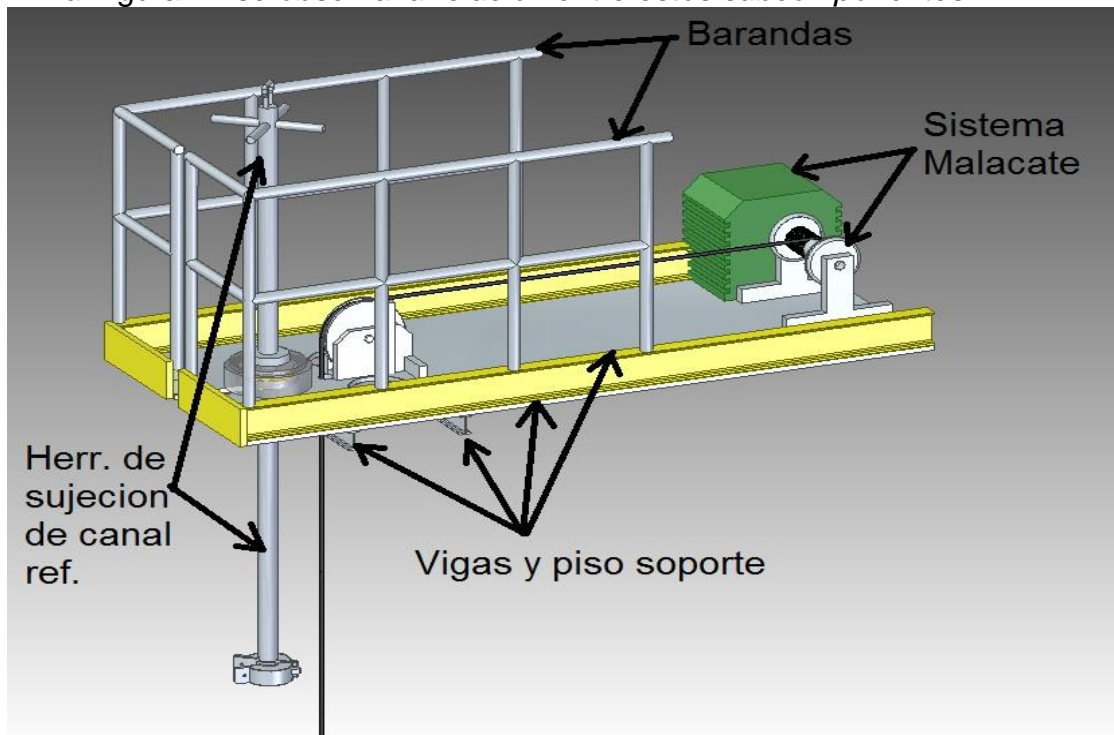


Figura 17: Subcomponentes de la plataforma soporte

En la Figura 18 se ve el esquemáticamente su ubicación en el borde de piletas. Y en el punto 3.1 se muestra la ubicación propuesta en el plano del edificio de piletas.

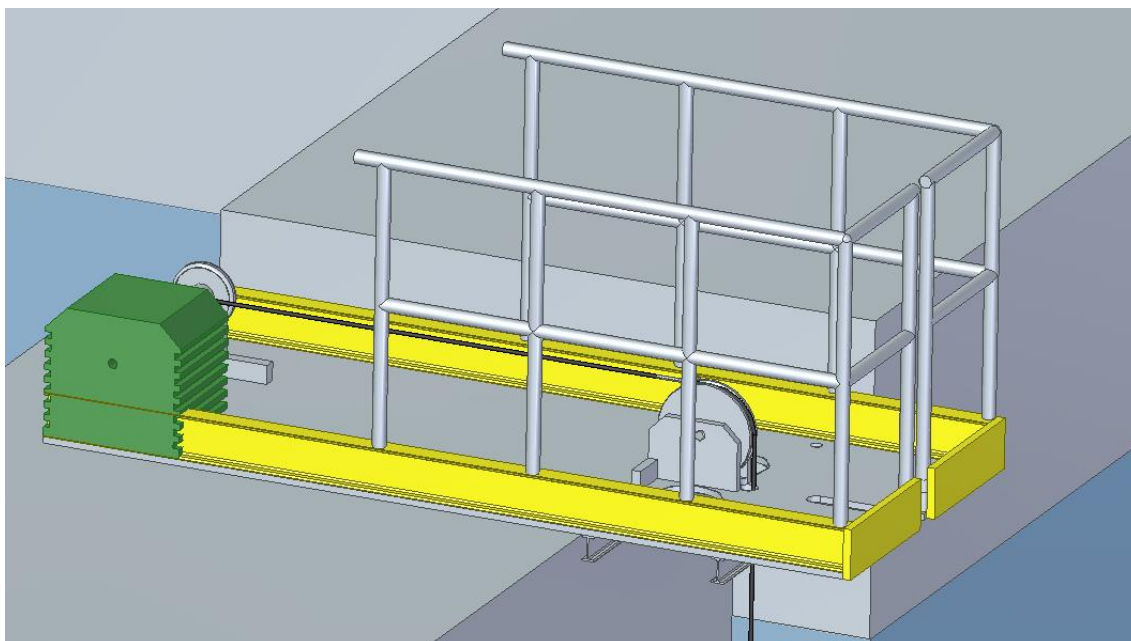


Figura 18: Ubicación en borde de piletas de la plataforma soporte

#### **2.6.1.1.1. Vigas y piso soporte**

La estructura básica que da soporte al resto de los componentes y subcomponentes es la conformada por las vigas y piso soporte. Este Subcomponente será anclado al borde de piletas de maniobras por medio de brocas M20 (tornillos de anclaje de  $\text{Ø}20\text{mm}$ )

En la Figura 19 se ven:

- Las vigas que dan la rigidez y resistencia estructural
- La chapa que conforma el piso y se vincula a las vigas por medio de cordones de soldadura
- Agujeros para el cambio de herramienta del grupo carro de corte
- Agujero de posición de la herramienta de sujeción de canal.

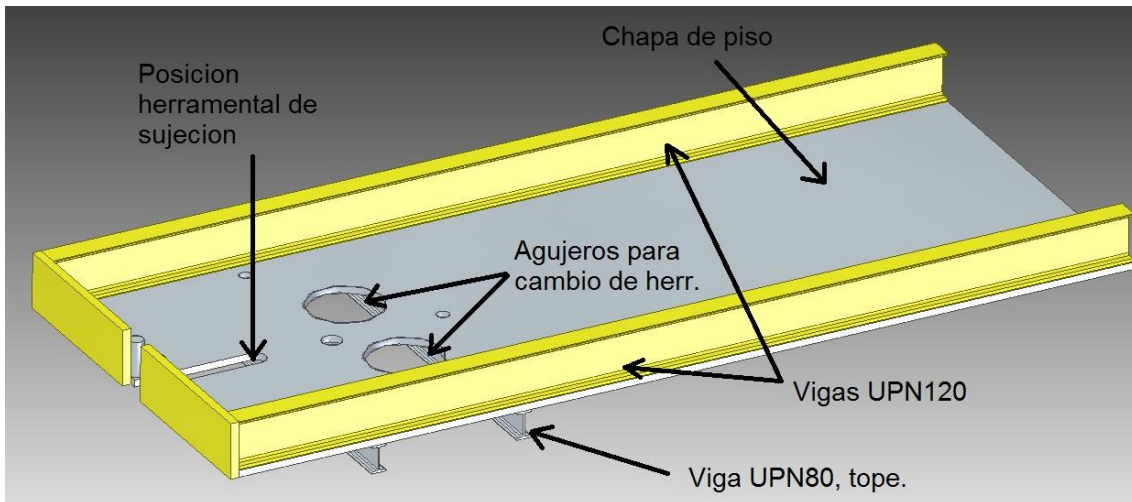


Figura 19: Estructura metálica soporte: Vigas y chapa de piso.

La viga tope es la que hará, al momento de anclar el subcomponente, tope con el borde de pileta. Se selecciono para esto una viga tipo UPN80 (80mm de altura de alma). Esto se muestra en la Figura 19.

En la Figura 19 también se muestra la posición donde se va a colocar la herramienta de sujeción de canal combustible (ver punto 2.6.1.1.4)

#### 2.6.1.1.2. Barandas

Las barandas serán tubulares, conformadas y soldadas al subcomponente anterior (Vigas y piso soporte). Los tubos utilizados serán de 2" de diámetro y 1/16" de espesor.

La función que cumplen es la de seguridad convencional. Se prevé colocarles una lona para evitar caídas involuntarias de objetos a la pileta de maniobras. Esto es un requisito de la Central Atucha de acuerdo a sus procedimientos internos para Exclusion de Materiales Extraños (EME).

En la siguiente figura (Figura 20) se muestra la disposición de las barandas.

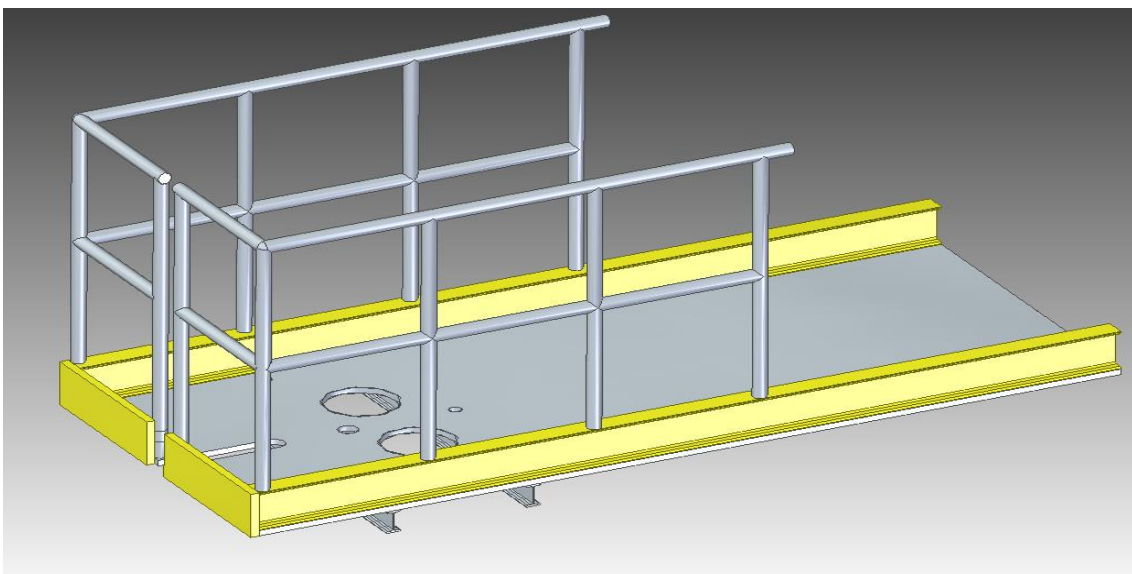


Figura 20. Esquema de barandas

### 2.6.1.1.3. Sistema Malacate

El sistema Malacate cumple la función de izar o bajar el Grupo Carro de corte. Se utilizará un motor de 1hp con reductor, sistema de enrollado de cable (13,5mts de cable) y cable de acero inoxidable de 7x19 (7manojos de 19 hilos) en acero AISI 316 de 10mm de diámetro, flexible con una carga de rotura de 5310kgf (cable comercial estándar). Se estima que todo el Grupo Carro de corte tendrá un peso máximo de 117kgf.

En la Figura 21 se muestra la disposición del sistema malacate.

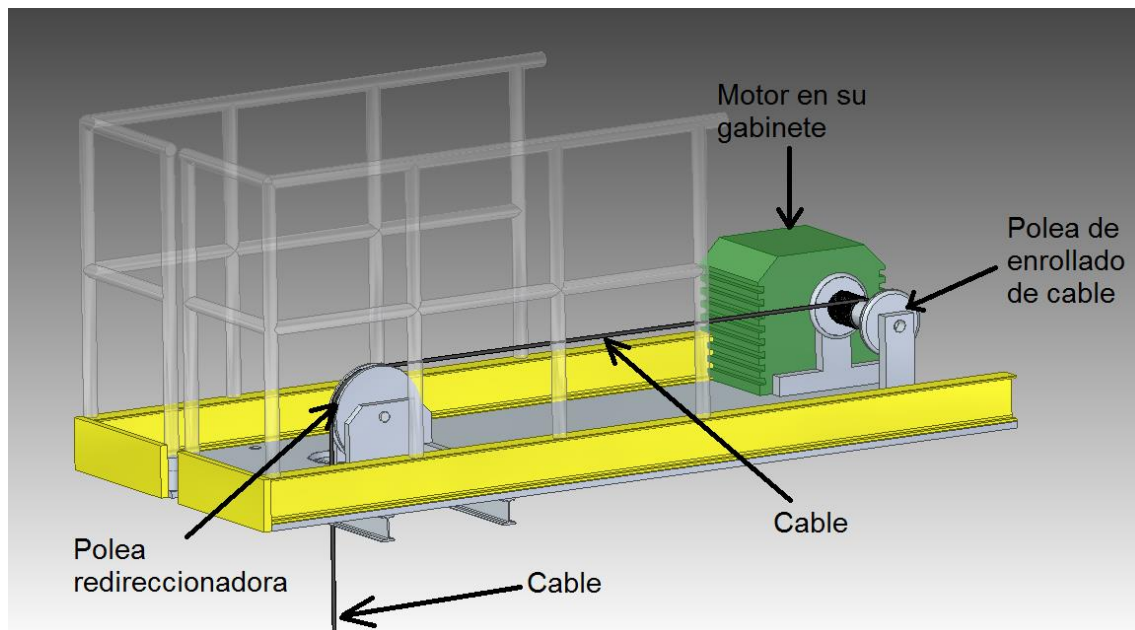


Figura 21: Sistema malacate.

### 2.6.1.1.4. Herramental de sujeción de canal

En la posición que se muestra en la Figura 19 se colocará el herramental de sujeción de CC. El mismo contará con un asa de izado en la parte superior, una cruceta de giro, la extensión de canal refrigerante y la cazoleta de unión al canal refrigerante. Este herramental se colocará apoyado con su sistema de crapodina (rodamiento de carga axial) soporte en el piso de la plataforma soporte. Ver Figura 22

La función que cumple este herramental:

- sujetar el canal desde la plataforma soporte
- habilitar el giro del canal sobre su propio eje, utilizando el volante de giro y como apoyo a la crapodina.

Además habilita la manipulación del CC utilizando el puente grúa de piletas por medio de la sujeción del herramental desde el asa de izado.

El movimiento de giro será realizado manualmente. Por este motivo se prevé tener un goniómetro para tener control sobre la posición angular sobre el cual se realizará el corte de muestras.

Toda la confección del herramental será realizada en acero inoxidable (AISI 304L) salvo las piezas de la crapodina.

La extensión dada al brazo inferior que sujeta al canal es de tal longitud que deje al canal mismo según la distancia de blindaje establecida en el punto 2.2. La sujeción del canal se realizará por medio de una abrazadera especial (2 medias cañas con la forma en negativo del extremo superior del canal, que se cierra por medio de un tornillo pasante).

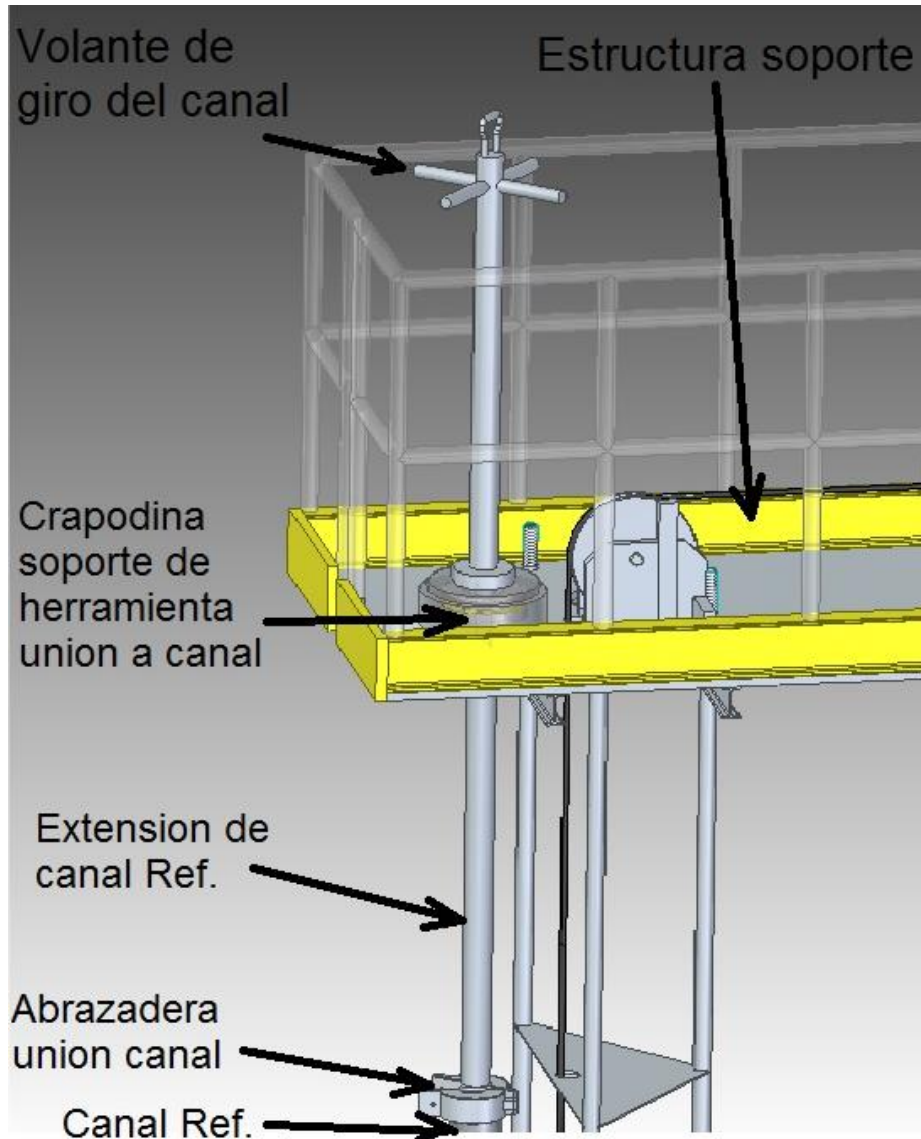


Figura 22: Herramental de sujecion de canal

### 2.6.1.2. Consola de comando

La consola de comandos incluirá:

- Control remoto de los motores paso a paso (electrónica asociada, drivers de control, fuentes de corriente continua y computadora de comando)
- El control de componentes neumáticos (tablero de válvulas y relees asociados)
- El cuadro de electro válvulas neumáticas.



El diseño final de esta consola no es alcanzado por el trabajo presente. Se detalla solamente lo que se prevé utilizar a grandes rasgos pero no el conexionado entre partes.

Se prevé posicionar la consola en la plataforma soporte, siendo el conexionado con el Grupo Carro de corte por medio de cables y mangueras para la cual se utilizará su propia estructura soporte

Se ve en la Figura 23 la posición prevista

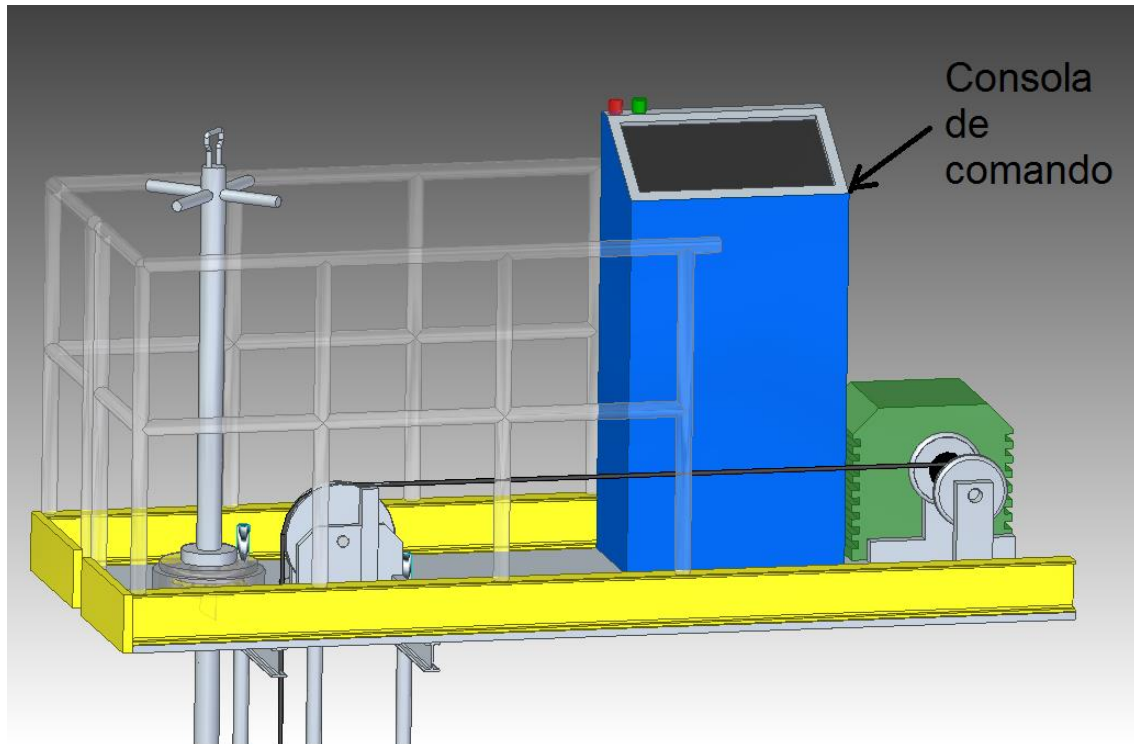


Figura 23: Consola de comandos en plataforma.

#### **2.6.1.2.1. Control de motores paso a paso**

El control de los motores paso a paso (motores PaP) que gobiernan los movimientos de los componentes del Grupo Carro de corte (ver punto 2.6.2) constará de:

- Computadora de comando
- Placa opto aisladora (protección de la computadora)
- Drivers de control de motores
- Fuentes de corriente continua que alimentan a los motores PaP

Típicamente, para el par motor previsto de los motores, se requerirá drivers con capacidad de manejar corrientes de 3amps y 60volts. A estos drivers se les conectarán los fines de carrera de cada eje para proteger tanto a los motores como a la estructura que soporta todo el sistema de movimiento.

En la siguiente Figura 24 se muestra un sistema de control de motores paso a paso típico.

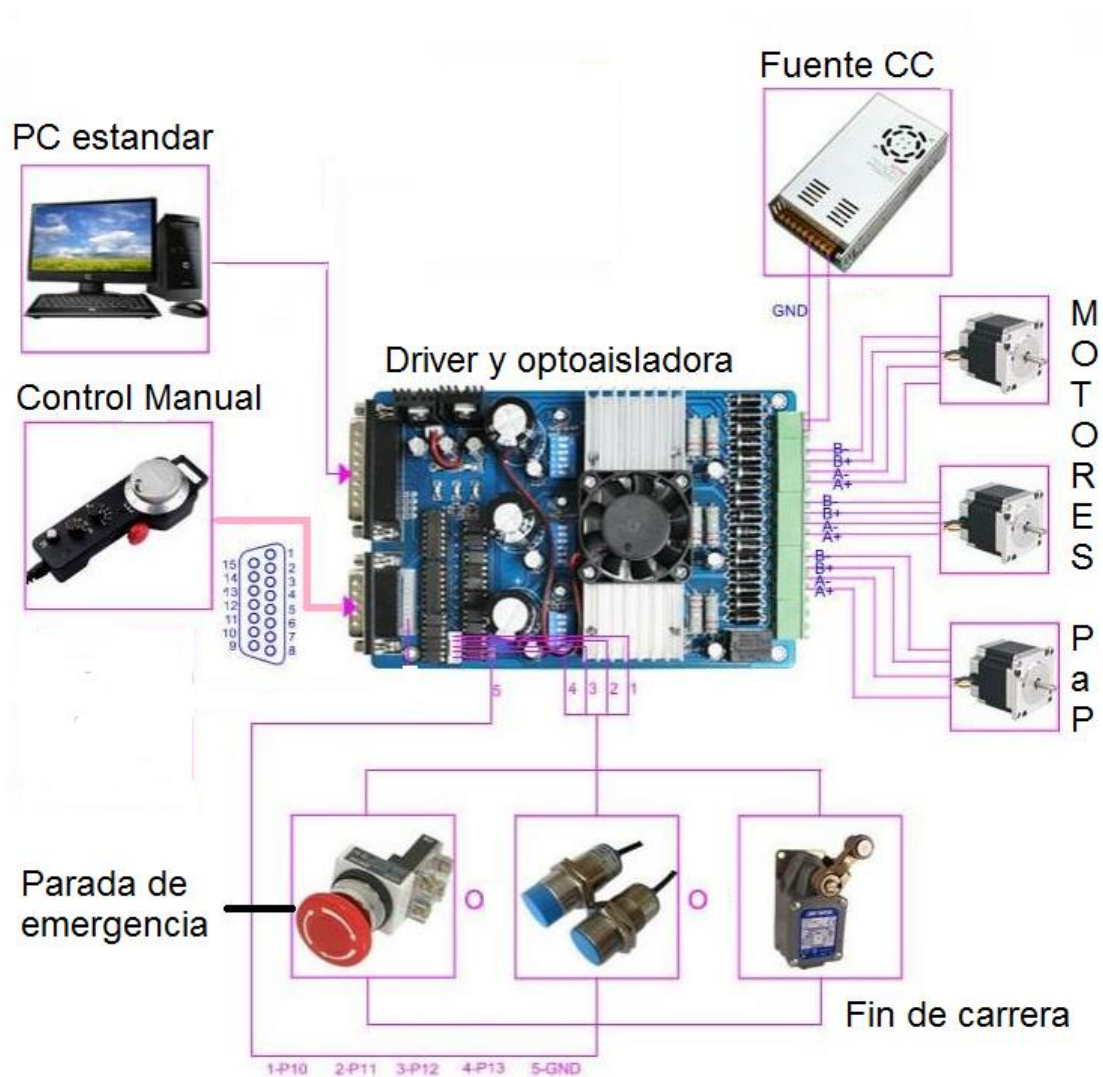


Figura 24: Circuito básico control de motores paso a paso

Los fines de carrera y sensores de posición también serán vinculados al control de componentes neumáticos, con el propósito de proteger mediante la computadora los sistemas de seguridad de todas las acciones móviles.

#### 2.6.1.2.2. Control de componentes neumáticos

El control de componentes neumáticos estará compuesto de un cuadro de válvulas con las conexiones neumáticas y con relees vinculados a las señales de seguridad emitidas por los fines de carrera.

La presión de los actuadores neumáticos se regulará desde este cuadro mediante el uso de una válvula de control manual.

Por otro lado se vinculará a este cuadro de válvulas con los actuadores neumáticos mediante mangueras de aire comprimido espiraladas.

#### 2.6.2. Grupo Carro de corte

El grupo Carro de corte estará compuesto de 3 componentes principales:

- Carro y montante eje vertical

- Carro y montante eje horizontal
- Placa base de herramental

Este Grupo Carro de corte tiene la función de cortar y extraer las muestras del canal refrigerante.

En los puntos siguientes se describen los componentes que forman este grupo y las funciones de los mismos.

En la imagen Figura 25 se ve el Grupo carro de corte vinculado a los tubos guías y al cable de izado (nombrado en el punto 2.6.1.1.3)

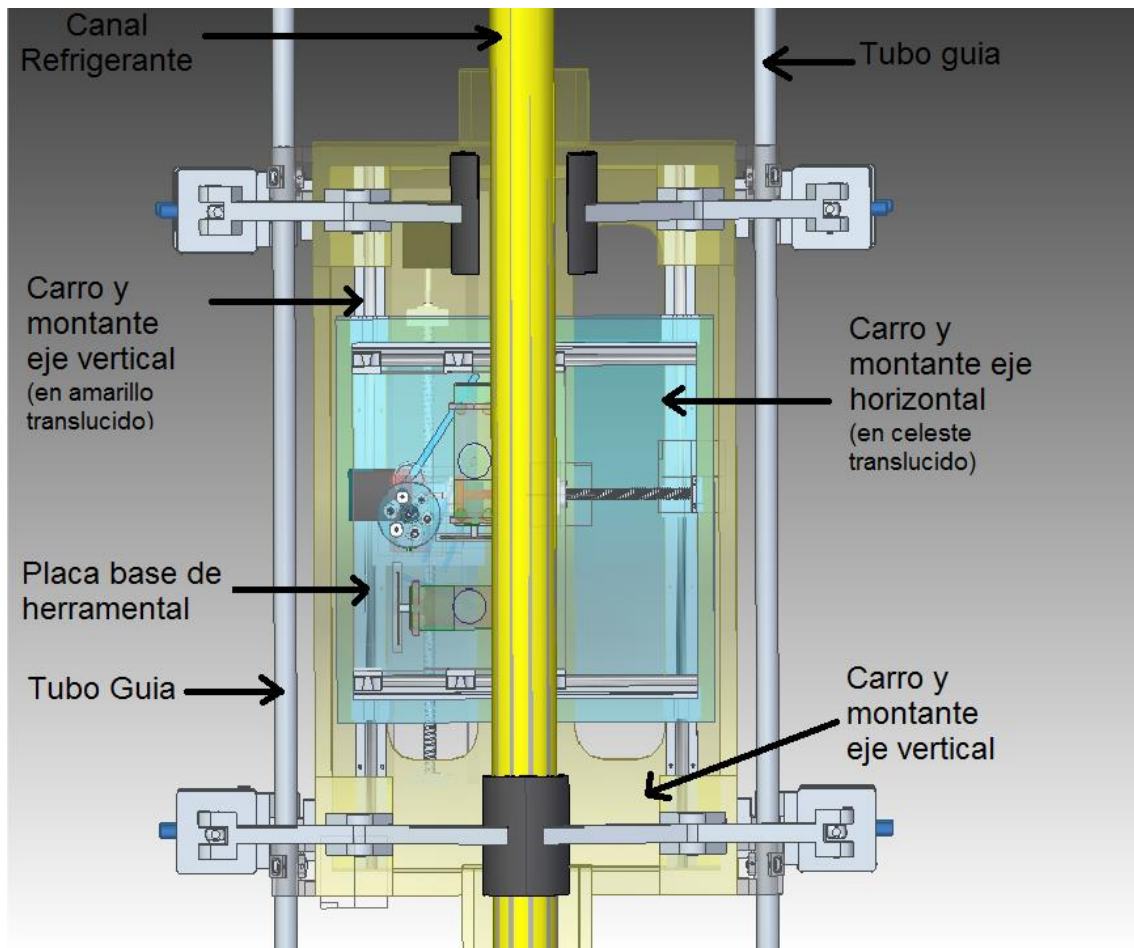


Figura 25: Vista general del Grupo Carro de corte

### **2.6.2.1. Carro y montante eje vertical**

El carro y montante de eje vertical está compuesto de:

- Bancada estructural y sistema de sujeción
- Sistema de movimiento

Tiene como función:

- El sostén del carro y montante de eje horizontal junto a la placa base de herramental (puntos 2.6.2.2 y 2.6.2.3)
- La sujeción al canal en el momento de corte.
- El movimiento en vertical y paralelo al canal

En las siguientes figuras (Figura 26 y Figura 27) se muestra el carro y montante de eje vertical

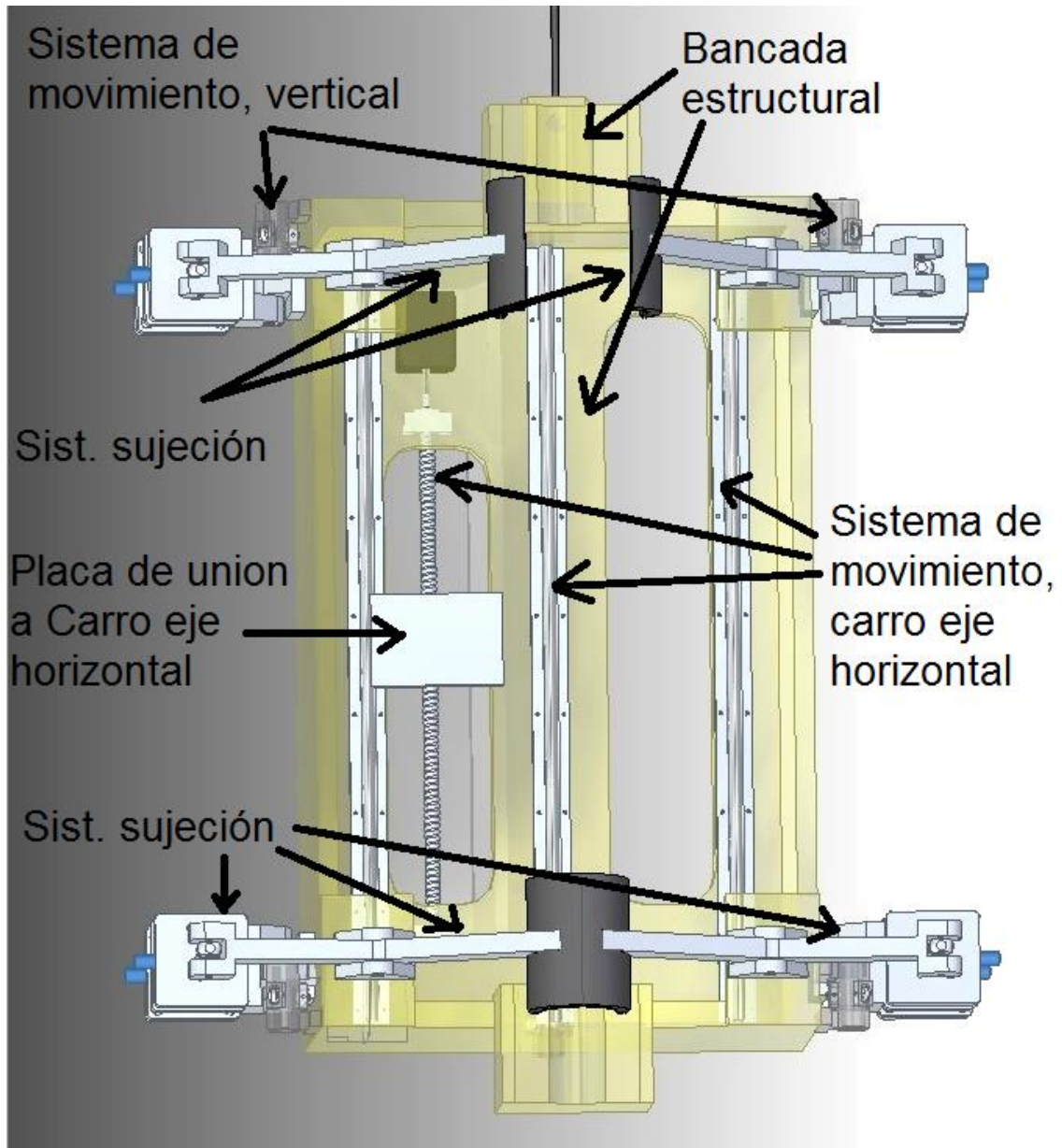


Figura 26: Carro y montante eje vertical

Por medio de la placa de unión a Carro eje horizontal se mueve en forma vertical al conjunto Carro y montante de eje horizontal. Los componentes Bancada estructural y sistema de sujeción y el sistema de movimiento se describen en los puntos siguientes

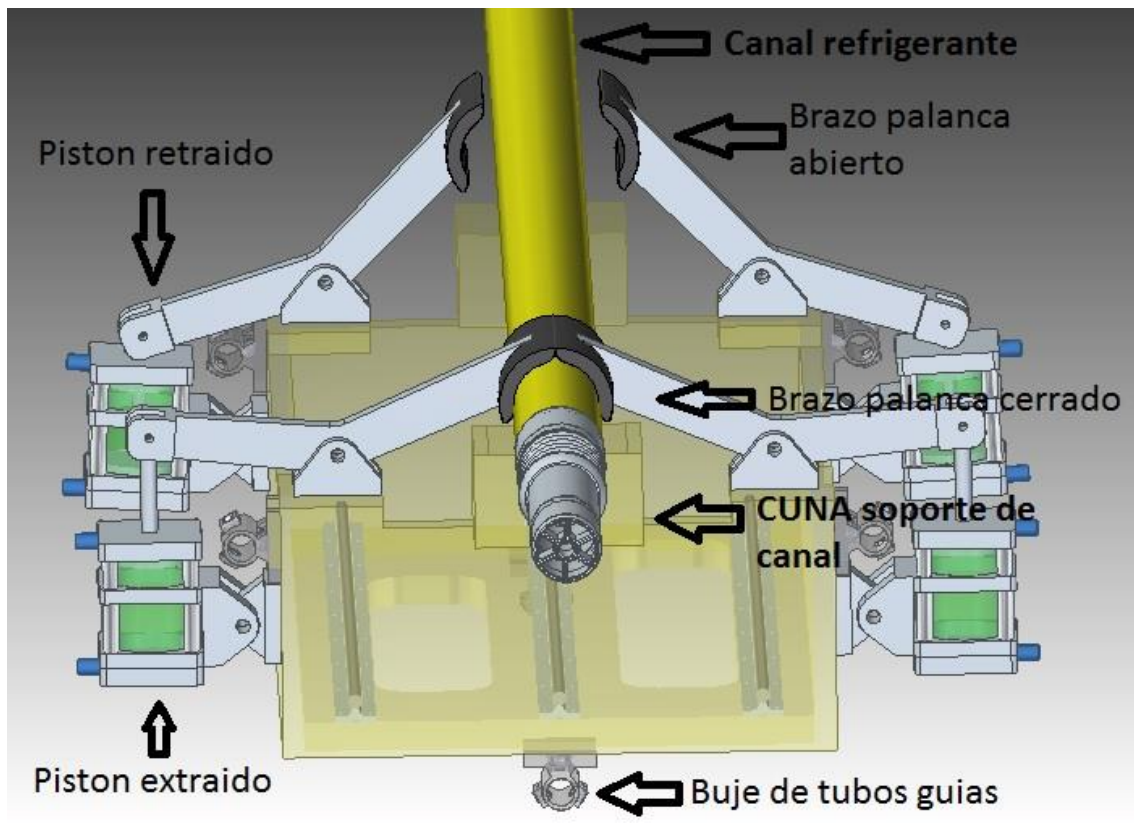


Figura 27: Carro y montante eje vertical con el CC presentado en posición.

#### 2.6.2.1.1. Bancada estructural y sistema de sujeción

La bancada estructural y sistema de sujeción cumple las funciones de

- Hacer de soporte estructural al carro de eje horizontal
- Sujetar al canal en el momento de corte
- Ser la estructura soporte del sistema de movimiento vertical.

En la Figura 28 se muestra la bancada y el sistema de sujeción.

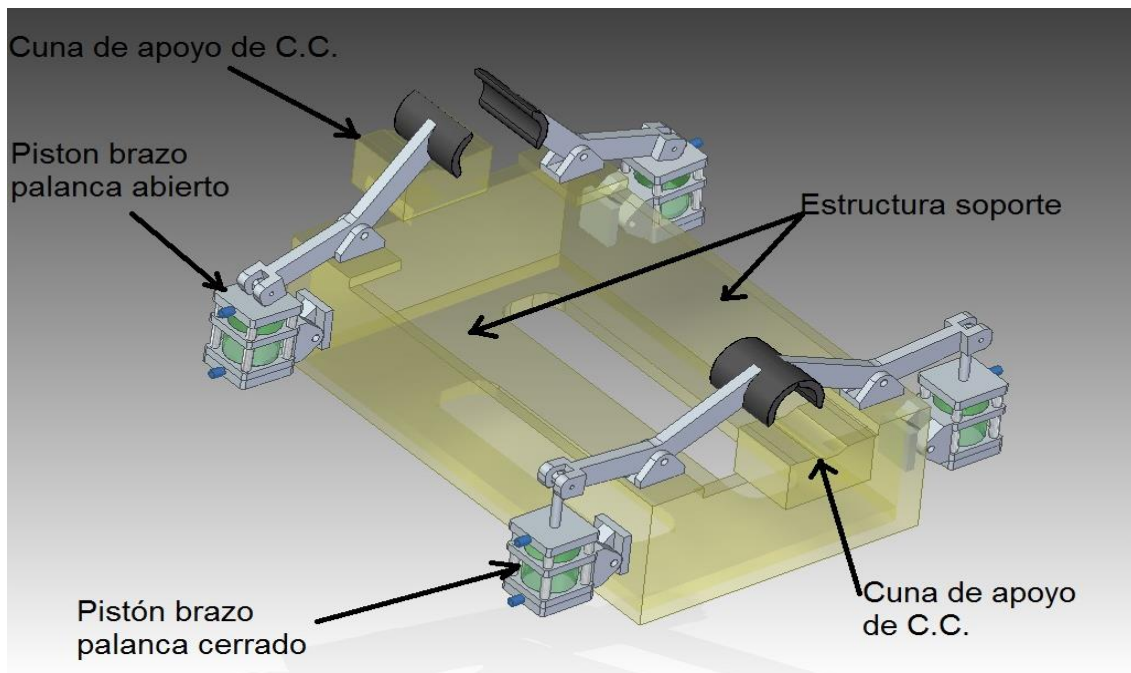


Figura 28: Bancada estructural y sistema de sujeción..

La estructura de la bancada será una estructura tipo cajón construida utilizando placas de aluminio tipo Al6061 de 1" de espesor, con los agujeros que se ven en la Figura 28. El propósito de estos agujeros es: aliviar la estructura, y facilitar las corrientes de agua que se utilizarán para limpiar de virutas de corte a la estructura durante la operación de corte.

La bancada tiene un juego de cunas sobre la cual el canal refrigerante, al momento del corte, tiene su apoyo, y 2 juegos de brazos palancas que al accionarse mantienen al canal contra las cunas. En la Figura 28 se ve un juego de pistones con los brazos palanca cerrados y otro juego con los brazos palanca abiertos. Los pistones que mueven los brazos palancas serán pistones neumáticos de 2 vías de 130mm de recorrido con 200kgf para la extensión y 180kgf para la retracción (apertura). Estas fuerzas podrán ser reguladas según la presión de línea dada en la consola de control

Esta bancada cuelga desde la plataforma de comandos mediante el cable de acero inoxidable que se nombra en el punto 2.6.1.1.3. y es guiada en el recorrido paralelo al canal como se explicará en el punto siguiente. (2.6.2.1.2)

#### **2.6.2.1.2. Sistema de movimiento vertical**

El sistema de movimiento cumple las funciones siguientes:

- Actuar como guía para el movimiento vertical de todo el Grupo Carro de corte
- Guiar el movimiento vertical del carro y montante eje horizontal

El sistema de movimiento está compuesto de 2 grupos de componentes:

- El movimiento del conjunto carro de corte se controla por medio del cable de izado y el carro se desplaza por medio de los bujes de los

tubos guías. Este sistema permite el posicionamiento de las herramientas en el eje vertical, con una resolución del orden de cm.

- El ajuste fino de la posición de las herramientas en el eje vertical se logra por medio de guías lineales y un tornillo de bolas recirculantes actuado por medio de un motor paso a paso.

En la Figura 29 se muestra el sistema de movimiento montado en la bancada soporte.

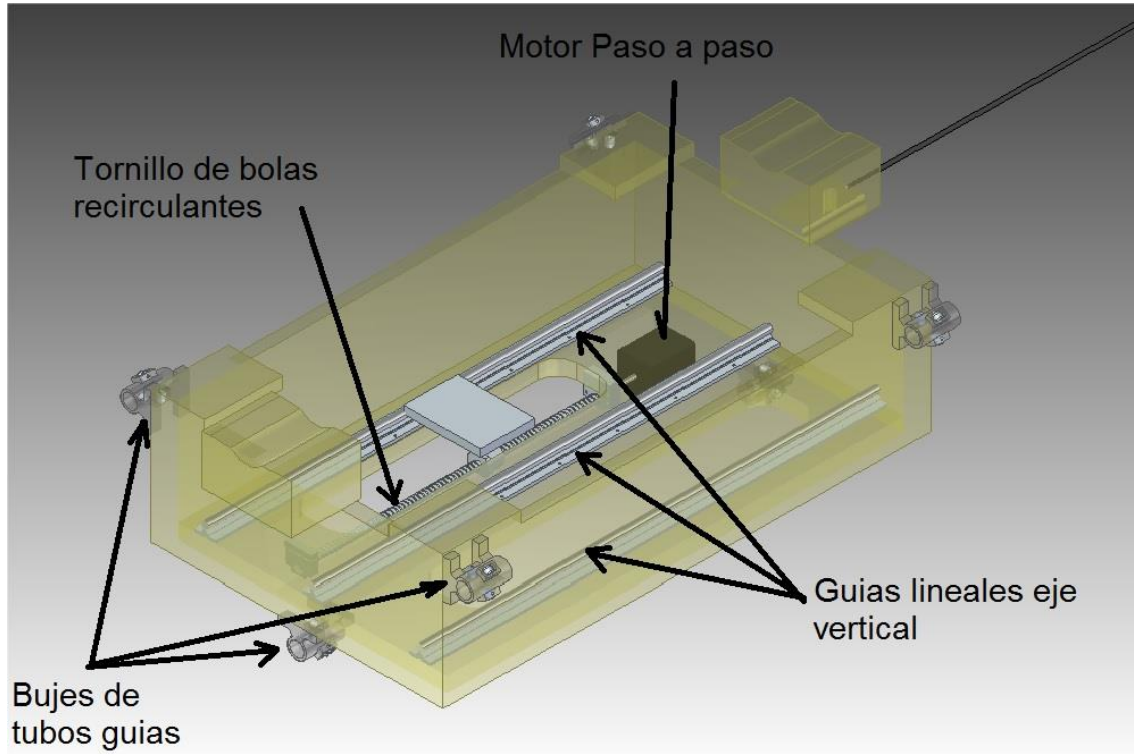


Figura 29: Sistema de movimiento vertical

Un sistema típico de movimiento por medio de motor con tornillo de bolas recirculantes se ve en la Figura 30, donde el motor gira el tornillo acoplado por medio de un acople elástico. El tornillo es sostenido por rodamientos en los extremos, la tuerca de bolas recirculantes es impulsada en la dirección vertical y esta mueve de manera solidaria, en este caso, a la placa de unión al carro de eje horizontal.

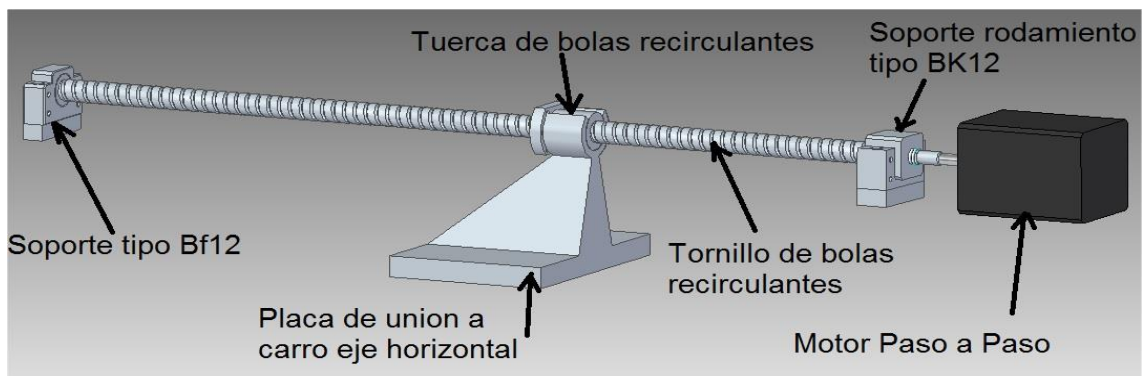


Figura 30: Sistema típico de movimiento por tornillo de bolas recirculantes.

Se utilizarán motores paso a paso como los que se muestra en el Anexo 3. Se utilizarán soportes de rodamientos tipos Bf12 y BK12, los cuales son soportes con rodamientos incluidos, uno para carga radial y el otro para carga radial y axial respectivamente. En el Anexo 4 se detalla una hoja de especificación técnica de los soportes.

Estos rodamientos, el tornillo de bolas y la tuerca de bolas típicamente tienen un juego axial despreciable por lo que son utilizados en mecanismos donde se requiere un alto grado de precisión en el movimiento.

Los bujes de tubos guías son rodamientos compuestos por los cuales pasan los tubos guías que mantienen al dispositivo de corte alineado paralelo al canal refrigerante. Estos están compuestos de un tubo de mayor diámetro y 3 rodillos de deslizamiento que dejan un huelgo de 1mm contra el tubo guía. Se muestra en la Figura 31 un ejemplar del mismo.

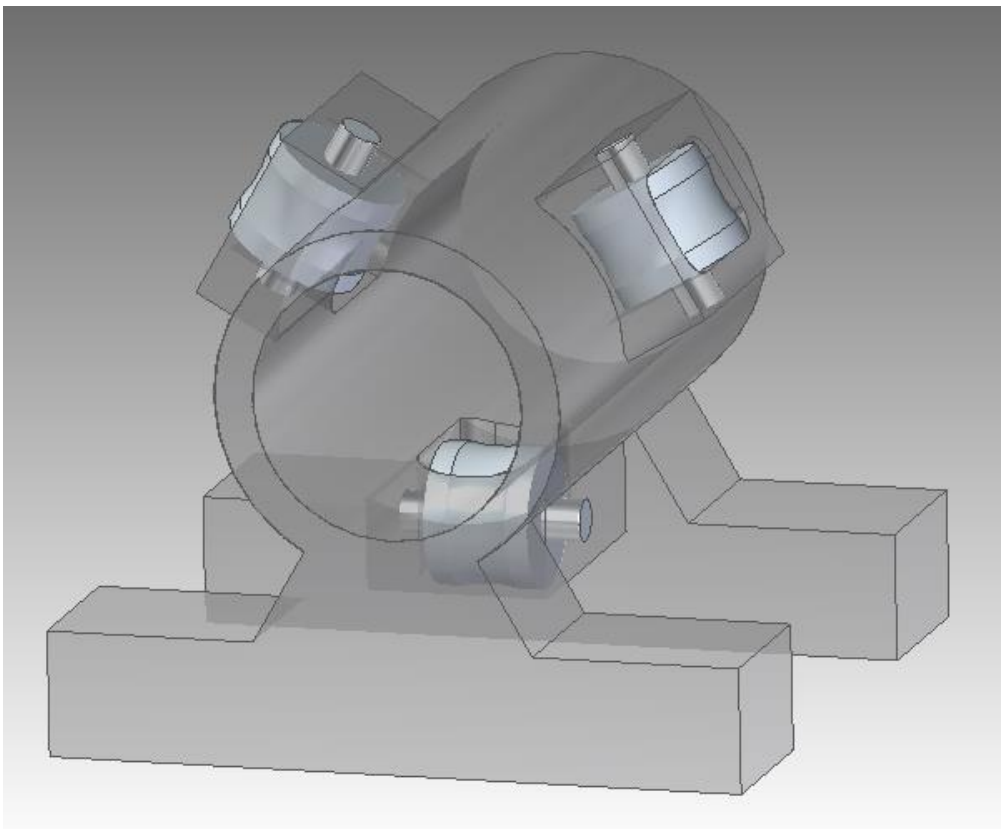


Figura 31: Buje de tubo guía.

### **2.6.2.2. Carro y montante eje horizontal**

El componente Carro y montante eje horizontal está compuesto por:

- Una bancada tipo cajón de eje horizontal
- Sistema de movimiento horizontal

La función de este componente es:

- Brindar la estructura soporte a la placa base de herramental.
- Ejercer el movimiento horizontal de la placa base de herramental.



En la figura siguiente (Figura 32) se observa la relación del Carro y montante eje horizontal (en celeste translucido) con respecto al Carro y montante de eje vertical.

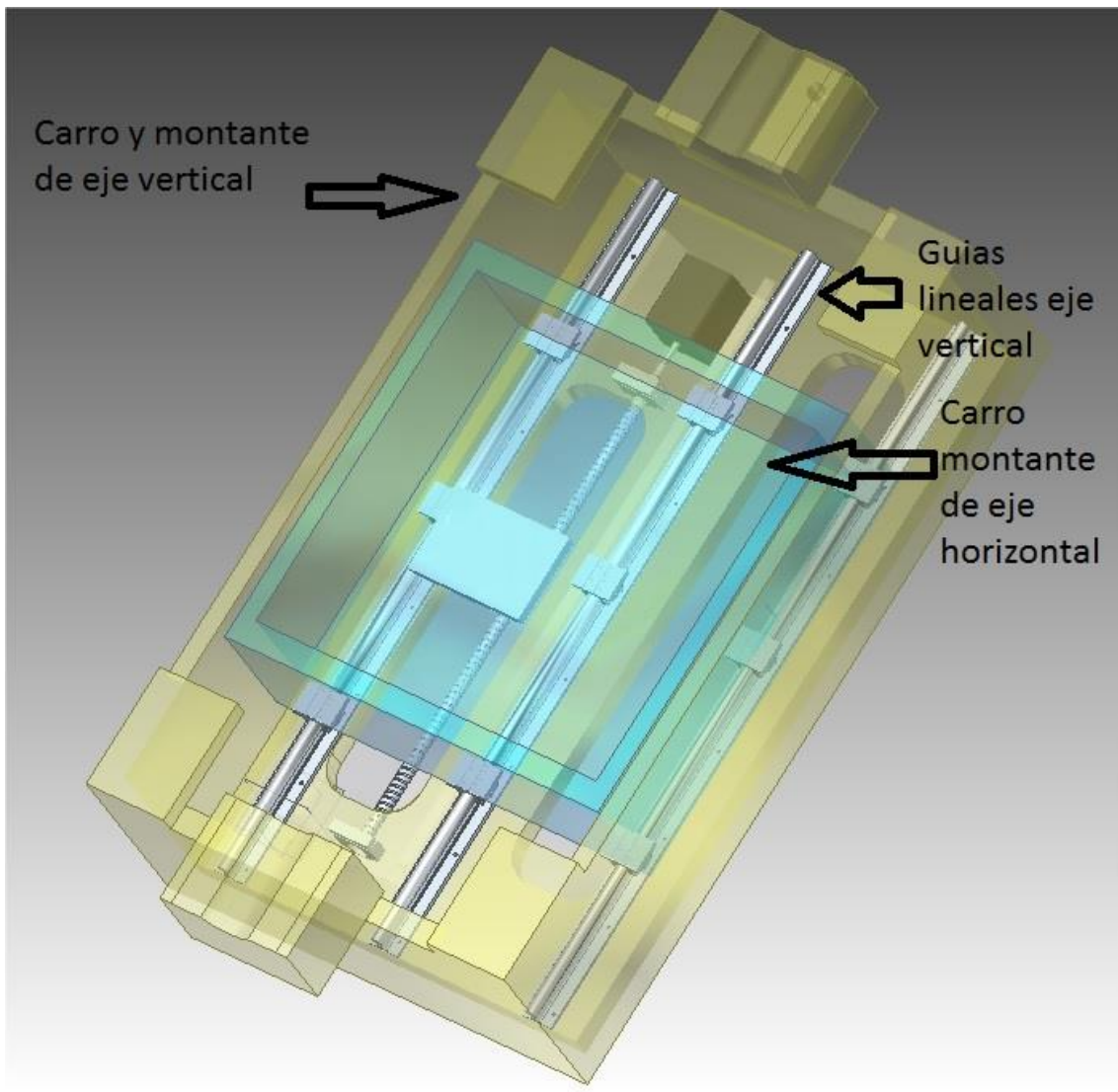


Figura 32: Carro y montante eje vertical

Se puede notar que este carro se mueve verticalmente y que es la base estructural para el movimiento horizontal de la placa base.

Se desarrollan en los puntos siguientes las funciones y composición de los 2 componentes principales.

#### **2.6.2.2.1. Bancada estructural**

La bancada estructural es una estructura similar a la utilizada y descrita en el punto 2.6.2.1.1.

La función de la misma es:

- Brindar soporte estructural al sistema de movimiento horizontal y la placa base de herramental.

En la Figura 33 se muestran las piezas que forman la bancada estructural y su vinculación con el sistema de movimiento del eje horizontal.

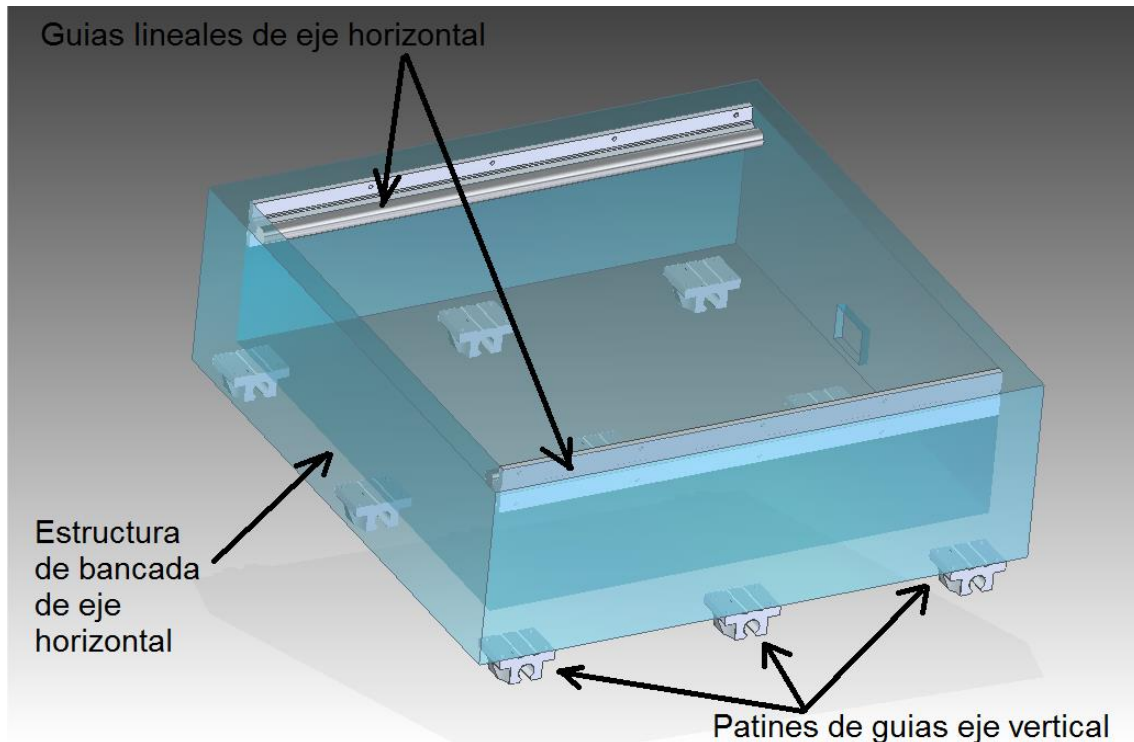


Figura 33: Bancada estructural de eje horizontal

La estructura es también del tipo cajón conformada por chapas de 18mm de acero inoxidable. En su parte posterior se colocarán patines de bolas recirculantes que deslicen contra las guías lineales de movimiento vertical. Por dentro del cajón se colocarán las guías lineales del sistema de movimiento horizontal de la placa base de herramienta.

Las placas de acero inoxidable, especialmente la placa inferior, será pulida y tendrá un acabado superficial con baja rugosidad (menor a  $1,2 \mu\text{m}$  en Ra) con el fin de que al terminar el trabajo de corte se puedan eliminar los residuos por medio de una limpieza por chorro de agua. La viruta y polvo del metal cortado constituye la principal fuente de radionucleidos activos que contaminan el equipo luego de la operación por lo que el acabado superficial es de importancia.

#### **2.6.2.2.2. Sistema de movimiento horizontal**

El sistema de movimiento tiene el mismo principio de funcionamiento que el descrito en el punto 2.6.2.1.2

La función del sistema es:

- Ejercer el movimiento en el eje horizontal, perpendicular al eje del canal refrigerante

El sistema está compuesto por un motor paso a paso, su unión mediante un acople flexible entre motor y tornillo, el tornillo de bolas recirculantes soportado por los rodamientos montados en soportes tipo Bk12 y Bf12 en sus extremos y

la tuerca de bolas recirculantes correspondiente. En el Anexo 4 se ven los soportes de rodamientos, el tipo de tornillo y la tuerca a ser utilizada.

En la Figura 34 se muestra el sistema de movimiento vinculado a la bancada estructural.

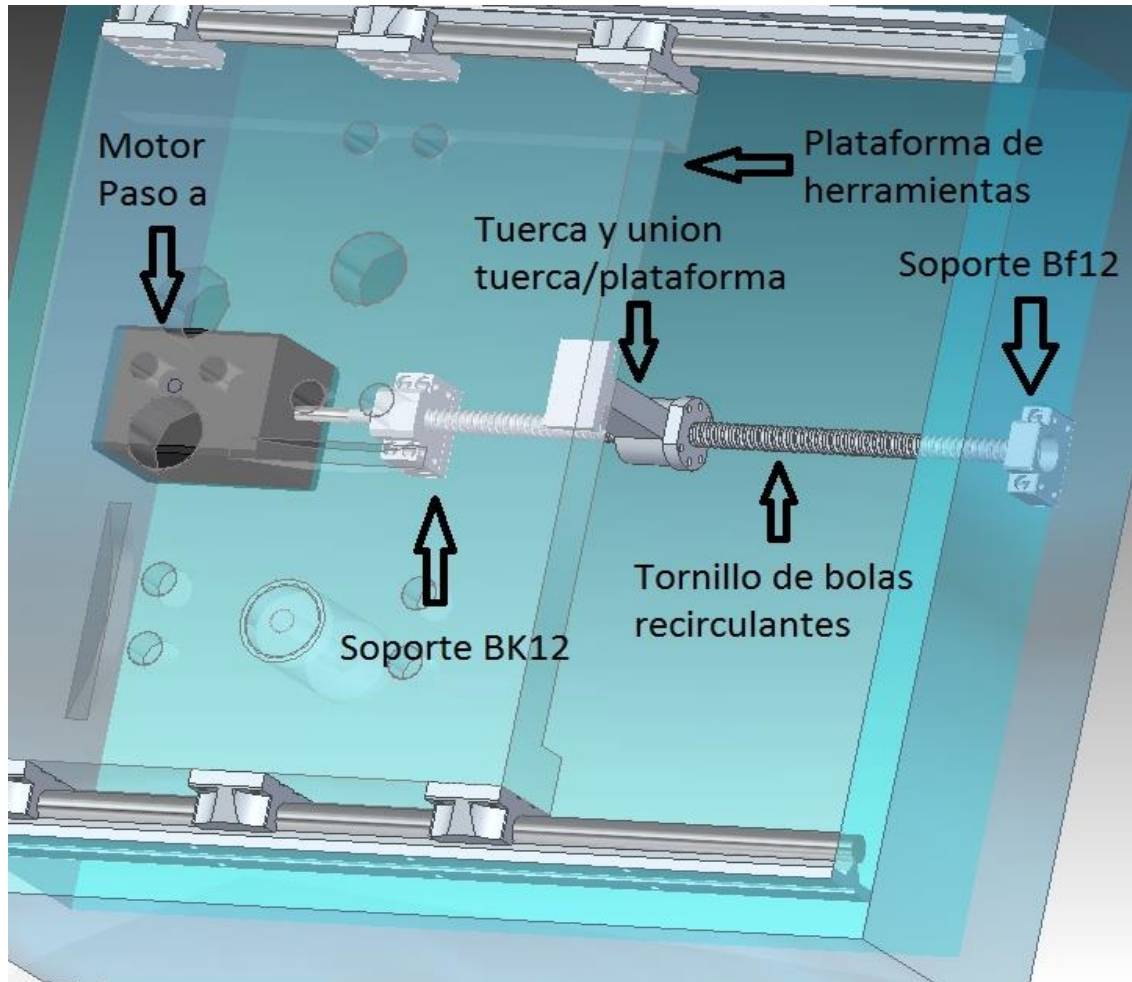


Figura 34: Bancada y sistema de movimiento horizontal.

Los soportes estarán fijados a la bancada, y por medio de una unión como se ve en la figura, el tornillo (movimiento rotatorio) y la tuerca le transmitirán el movimiento (lineal) a la placa base de herramental.

Los motores paso a paso que se utilizarán tendrán la capacidad de trabajar a 11mts de profundidad. Estos motores no son de uso convencional y constituyen una parte significativa del costo del equipo. Son motores que trabajan con presión interna. Para este caso se deberá tener el particular cuidado de que no liberen aire en el agua, al exterior de la carcasa, para no perder la visualización del corte por efecto del movimiento del agua en la zona (se usará una cámara con monitor próximo a la consola de comandos). Se prevé que la potencia de los motores será de 8,5Nm y de 200 pasos por vuelta (resolución de 1,8° por paso, lo que lleva a una resolución en distancia, en ambos ejes, con el tipo de tornillo previsto de 0,05mm).

### 2.6.2.3. Placa Base de Herramental

El componente Placa Base de Herramental está compuesto por:

- Una placa soporte con las herramientas de corte y unión.
- Sistema de movimiento en profundidad (accionamiento de cada herramental)

La función de este componente es:

- Ejecutar todos los mecanizados de muestras de canal: Mantener la unión de TA con TC y realizar el corte de las muestras.

En la figura siguiente ( Figura 35) se observa la relación de la Placa Base de Herramentales y los herramentales con respecto al Carro y montante de eje horizontal.

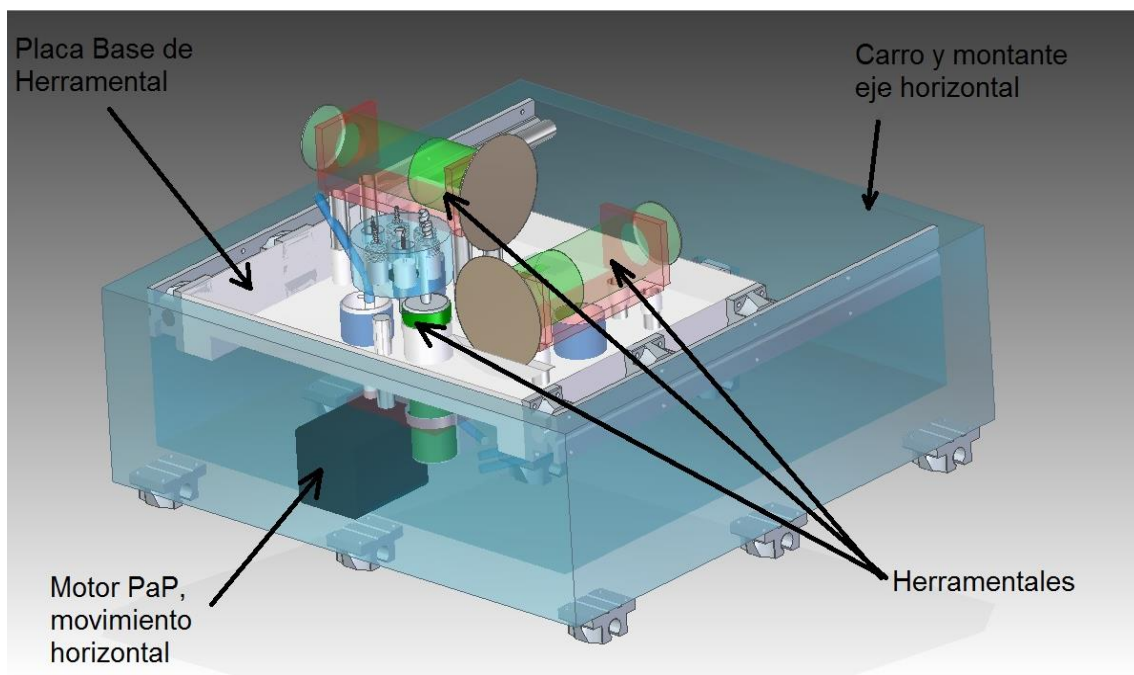


Figura 35: Vista general de Placa Base de herramental.

Y en la Figura 36 se observa solo a la placa base con los herramentales

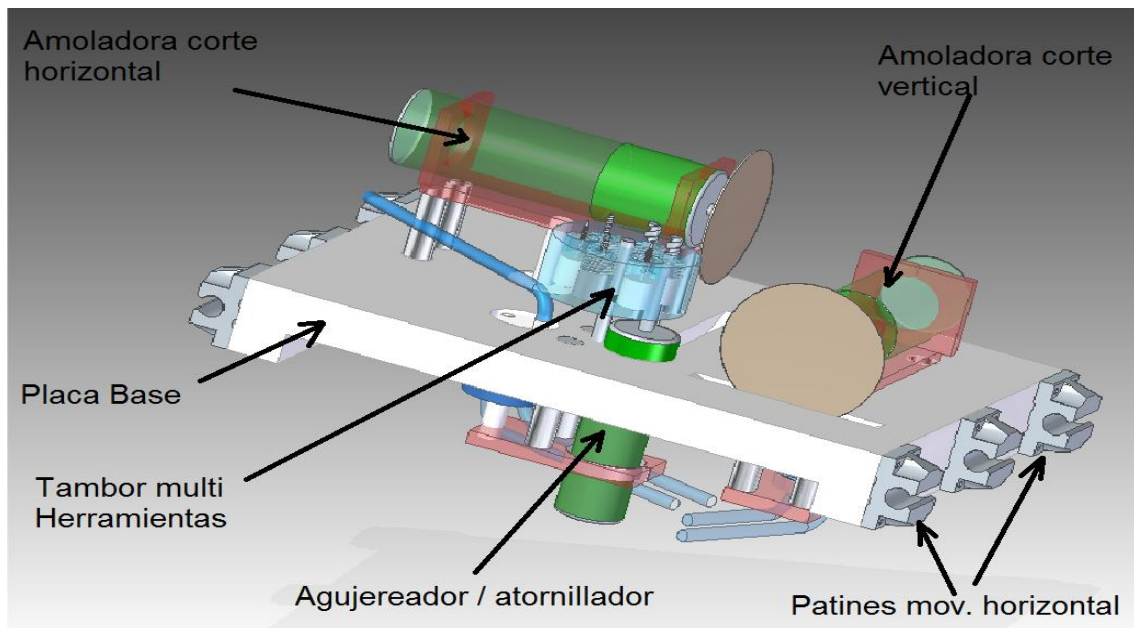


Figura 36: Placa Base de herramental y herramientas

La placa Base de Herramentales será mecanizada en acero inoxidable, también con una rugosidad baja (menor a  $1,2 \mu\text{m}$  en Ra). En los costados se le colocarán los patines que corren por las guías lineales del movimiento horizontal, atornillados y ajustados una vez colocados contra las guías.

La placa base será agujereada en los lugares correspondientes de los herramentales, y 6 de estos agujeros tendrán bujes de bronce. En el próximo punto (2.6.2.3.1) se describe a los herramentales y la forma de unión respecto a la placa base.

### 2.6.2.3.1. Herramentales

Los herramentales tienen la función de:

- Agujerear el canal refrigerante y unir foil (TA) con el tubo central por medio de tornillo.
- Cortar las muestras.
- Contener las muestras para su extracción de la pileta.

El trabajo realizado por el grupo de Herramentales se describe con mayor detalle en el punto 3.2, Operación de corte.

Este Sub componente está compuesto de:

- Amoladora de corte horizontal
- Amoladora de corte vertical
- Agujereador – atornillador con su tambor multi herramientas

Tanto las amoladoras como el agujereador serán motores neumáticos, de 12.000 rpm en vacío, en aire. Se busca con estas altas revoluciones evitar las vibraciones en el conjunto de corte y en el canal combustible. Ver Anexo 5 y Anexo 6

El **agujereador – atornillador** está compuesto por un motor neumático, un pistón de 50mm de recorrido, el soporte para el motor neumático y un tambor multi herramientas (ver Figura 37). El tambor multi herramientas es un mecanismo similar al tambor de un revolver: tendrá 6 agujeros donde se colocarán una herramienta en cada una de estas posiciones.

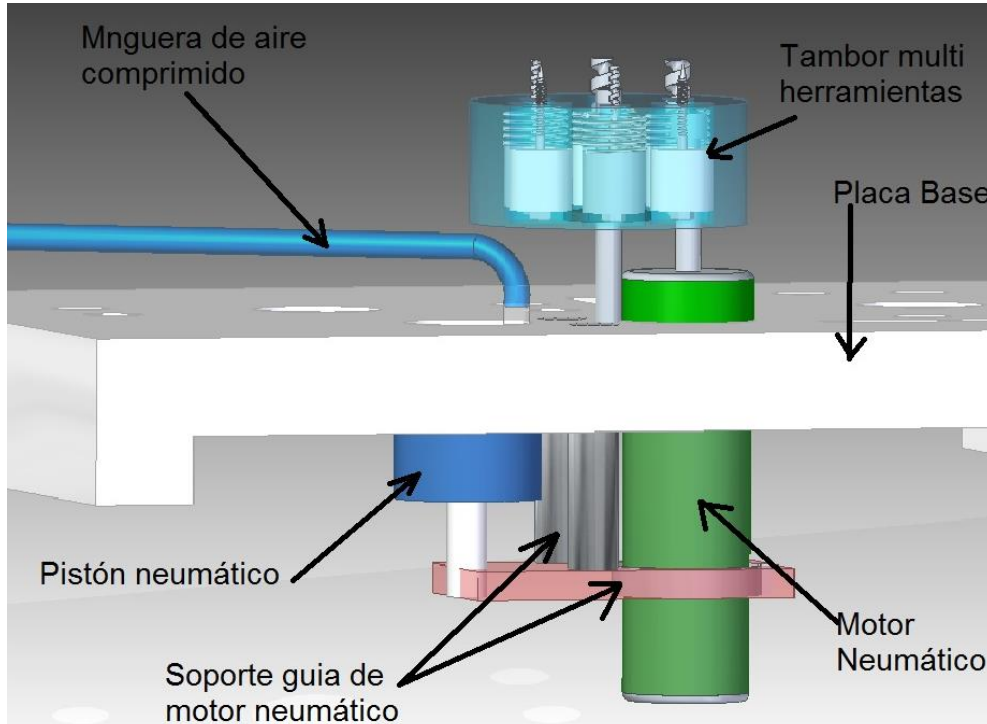


Figura 37: Agujereador – Atornillador en placa base

El motor neumático es como el de la Figura 38, el cual será adaptado tal que en el extremo del eje motor tenga soldada una llave tipo tubo hexagonal.

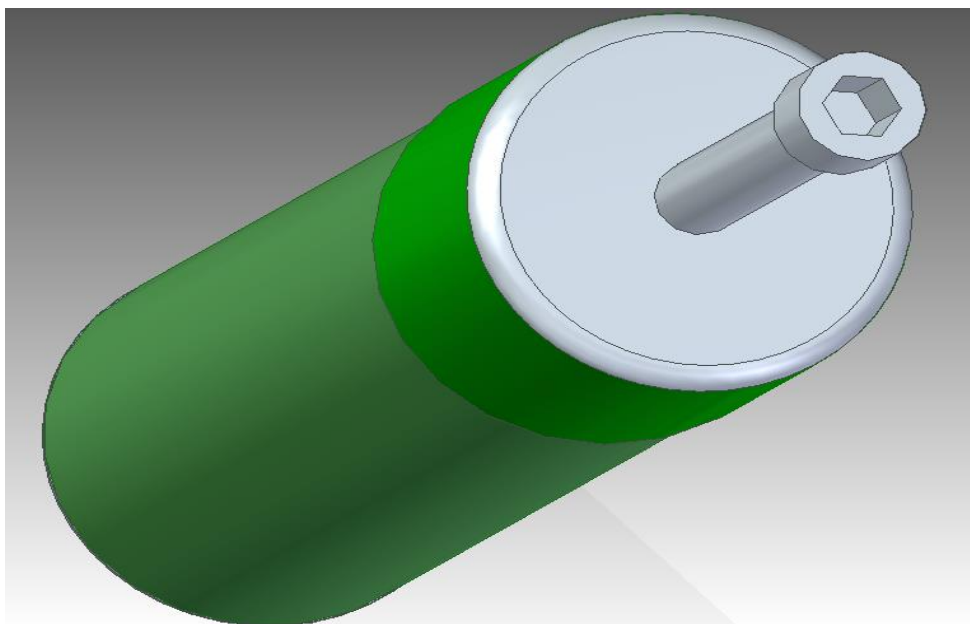


Figura 38: Atornillador – Agujereador modificado.

El tambor multi herramientas tendrá en sus posiciones (cilindros del tambor):

- 2 fresas de agujereado de Ø4mm (2 posiciones)
- 2 tornillos con buje de poliamida 6 (2 posiciones)
- 2 fresas de Ø14mm (2 posiciones)

Además tendrá un sistema de giro automatizado con un resorte de torsión y un mecanismo de traba tipo cricket.

En la Figura 39 y Figura 40 se observa la disposición de las herramientas y el resorte de torsión.

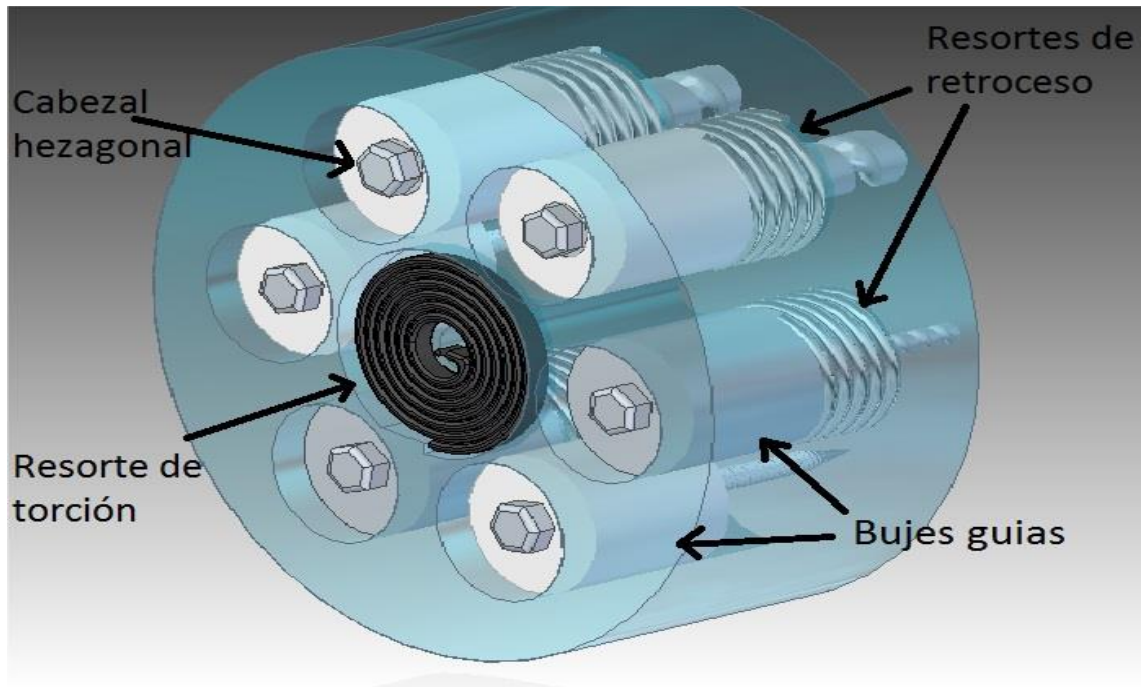


Figura 39: Tambor Multi herramientas. Vista posterior.

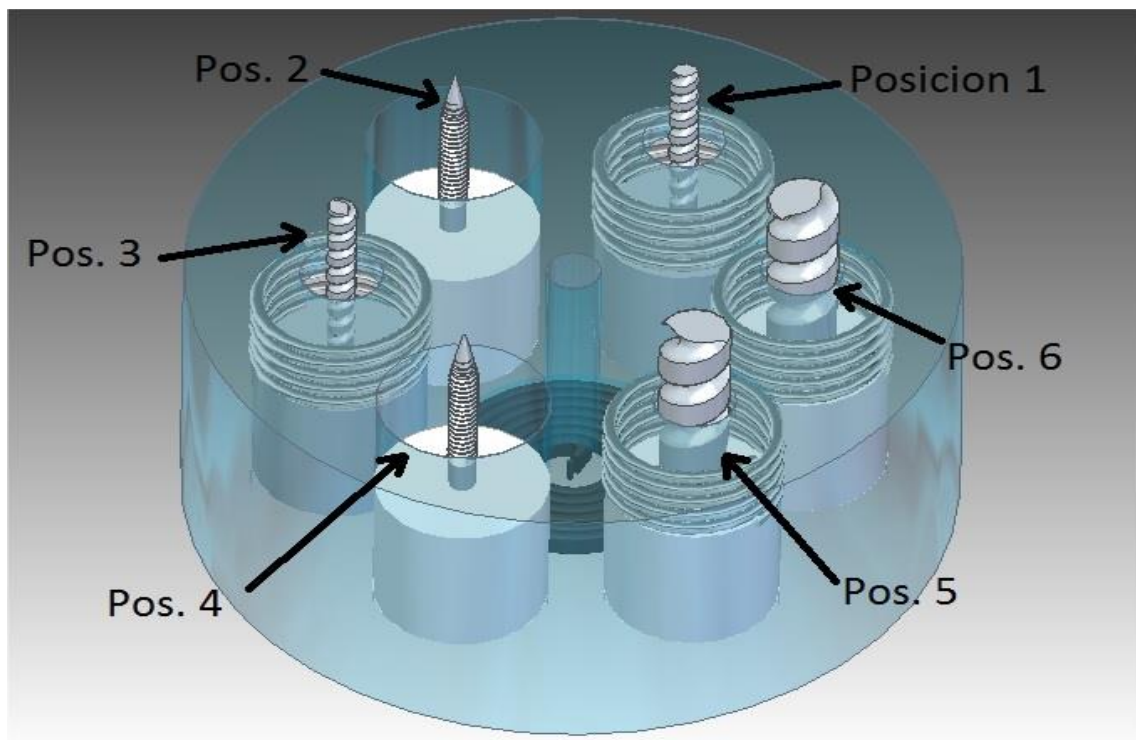


Figura 40: Tambor Multi herramientas. Vista de anverso.

El motor neumático será sostenido por un soporte guía de motor neumático el cual tendrá 2 ejes pulidos y con recubrimiento duro, un sistema de fijación para el motor y un acople para el pistón actuador.

La placa Base de herramientas hará de sostén del pistón (pistón enroscado a la placa base), y los agujeros con los bujes de bronce de guía para los ejes cromados del soporte guía de motor neumático.

El tambor multi herramientas será de aluminio Al6061. De las 6 posiciones, 2 serán abiertas en un extremo para utilizar con los tornillos y las otras 4 posiciones con las fresas tendrán un tope donde el resorte de retroceso de herramienta tenga su tope. Ver Figura 40.

En el punto 3.1. Instalación de dispositivo y procedimiento de corte, se explica el funcionamiento de este sistema.

Las **amoladoras neumáticas** serán dispuestas como en la Figura 41

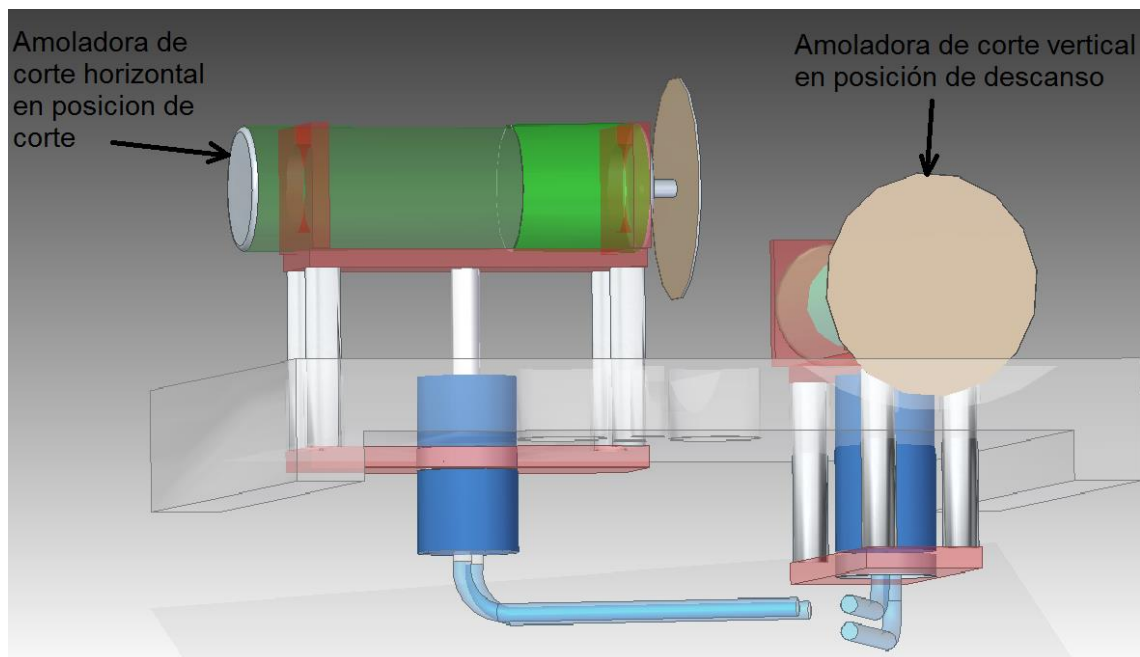


Figura 41: Disposición de amoladoras neumáticas.

Estas amoladoras serán similares a las utilizadas en campañas de corte anteriores, sin la reducción que se utilizaba lo cual permitirá llegar a las revoluciones deseadas (reguladas en el cuadro de válvulas de la plataforma de comandos según la presión de la línea de aire comprimido). En la Foto 2: Amoladora cortando un canal en campaña anterior se ve un ejemplo cortando un canal.



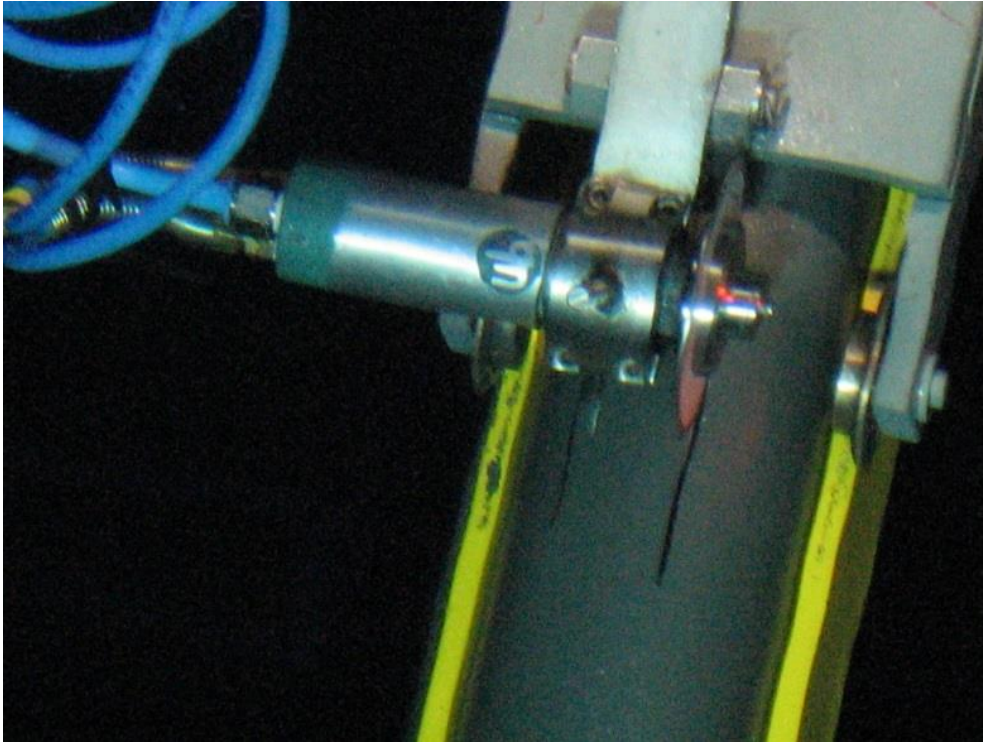


Foto 2: Amoladora cortando un canal en campaña anterior

La potencia de las amoladoras será de 1HP, para discos de 4,5" de diámetro y con un consumo de 360Ln/Min que serán provistos por el sistema de aire comprimido de la central nuclear Atucha 1. Además serán de 3 vías (la entrada de aire de giro en un sentido, la salida de aire, y la entrada de aire para giro contrasentido) con el fin de que no burbujee bajo agua para conservar la visibilidad durante la operación y que dispongan de contra marcha. Los discos de corte de las amoladoras serán diamantados de un diámetro no mayor a las 4" apto para cortar a hasta 8.000rpm, de 1mm de espesor.

Se prevé realizar pruebas de corte en un Mockup. El diseño de este Mockup está mas allá del alcance de este trabajo.

En la Figura 42 se muestra una de las 2 amoladoras con su bastidor soporte y su pistón de accionamiento.

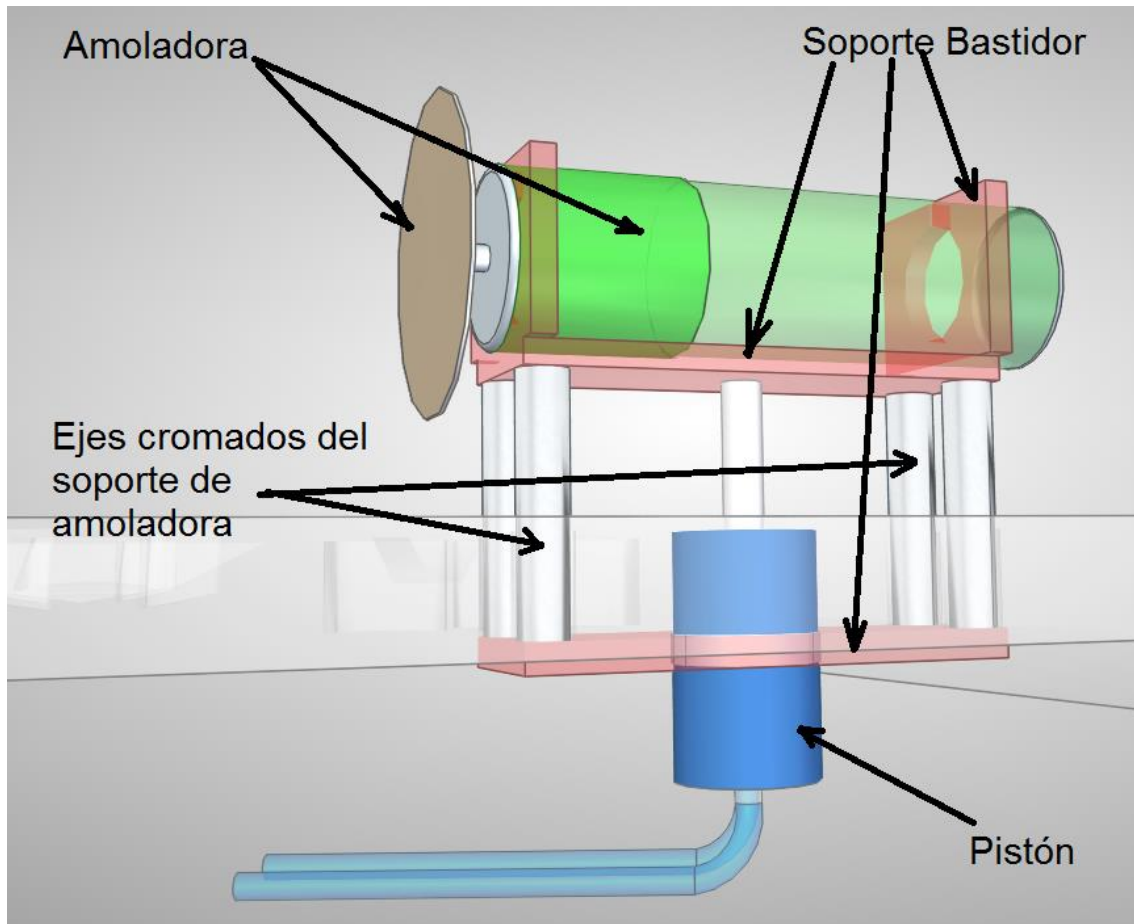


Figura 42: Vinculación amoladora a Placa Base

### 2.6.2.3.2. Sistema de movimiento

El sistema de movimiento de las herramientas tiene la función de:

- Mover las herramientas a su posiciones de corte o de reposo

El sistema de movimiento está compuesto por los soportes (bastidores) de las herramientas con sus ejes cromados, los pistones de accionamiento y las mangueras de alimentación de aire comprimido.

Como se vio en las imágenes anteriores, el bastidor soporta a la herramienta y hace de guía a través de la placa Base de Herramientas utilizando a los ejes cromados. El pistón esta fijo a la placa Base y empuja el soporte bastidor.

### 2.6.3. Sistema guía de izado

El sistema Guia de izado cumple al función de:

- Mantener al Grupo Carro de corte contenido y alineado durante su desplazamiento vertical.

Está compuesto de tubos guías y separadores estructurales.

#### 2.6.3.1. Tubos guías y separadores estructurales

La función de este sub componente es la explicada en el punto anterior.

Son tubos de 4,5mts de largo unidos en los extremos.  
Se muestra una imagen del subcomponente en relación a los demás componentes del dispositivo (ver Figura 45)

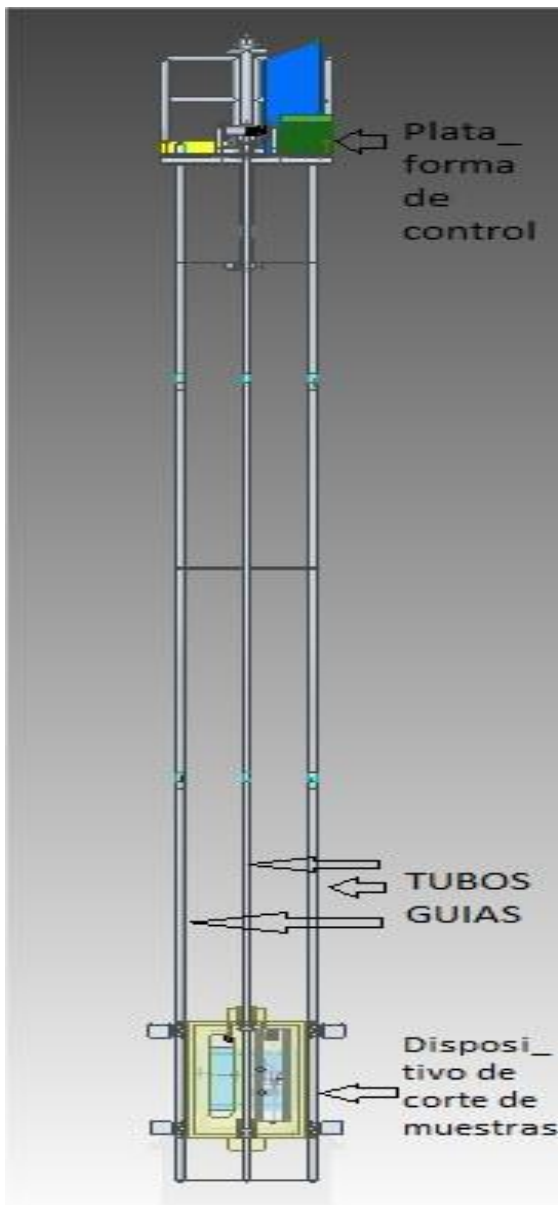


Figura 43: Vinculacion Tubos guias con dispositivos.

Los tubos serán de 2" de diámetro de acero inoxidable, con uniones roscadas, con las placas de separación que darán rigidez al subcomponente.

### **3. Capítulo 3: Instalación de dispositivo y Operación de corte**

#### **3.1. Zona propuesta de trabajo**

Con las condiciones previstas, ya que el canal se encuentra decayendo su actividad en el edificio de piletas bajo agua y por el blindaje necesario para los operarios (1,4mts de agua) la zona propuesta para realizar el trabajo de extracción de muestras es en el edificio de Piletas 2, que se encuentra a continuación del edificio de Piletas 1.

Ver Grafico 9 del edificio de piletas 2

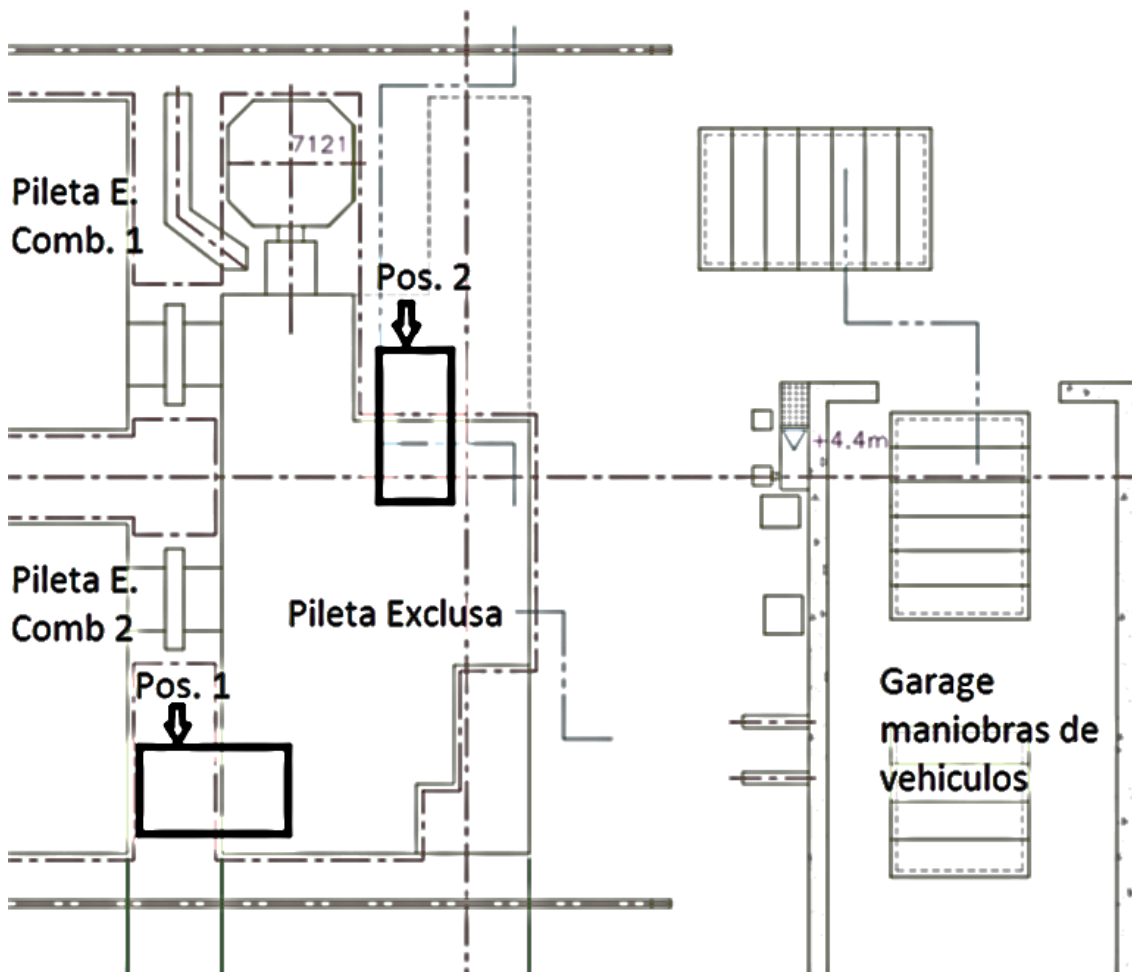


Grafico 9: Plano de zonas propuestas de trabajo

Se propone realizar el trabajo tanto en la posición 1 o 2 según disponga el operador de la central nuclear.

En una visita en conjunto con el responsable por parte del operador de la central, se relevaron las posiciones en piletas para detectar posibles interferencias.

En las Foto 3 y Foto 4 se muestra la zona libre en la posición 1.

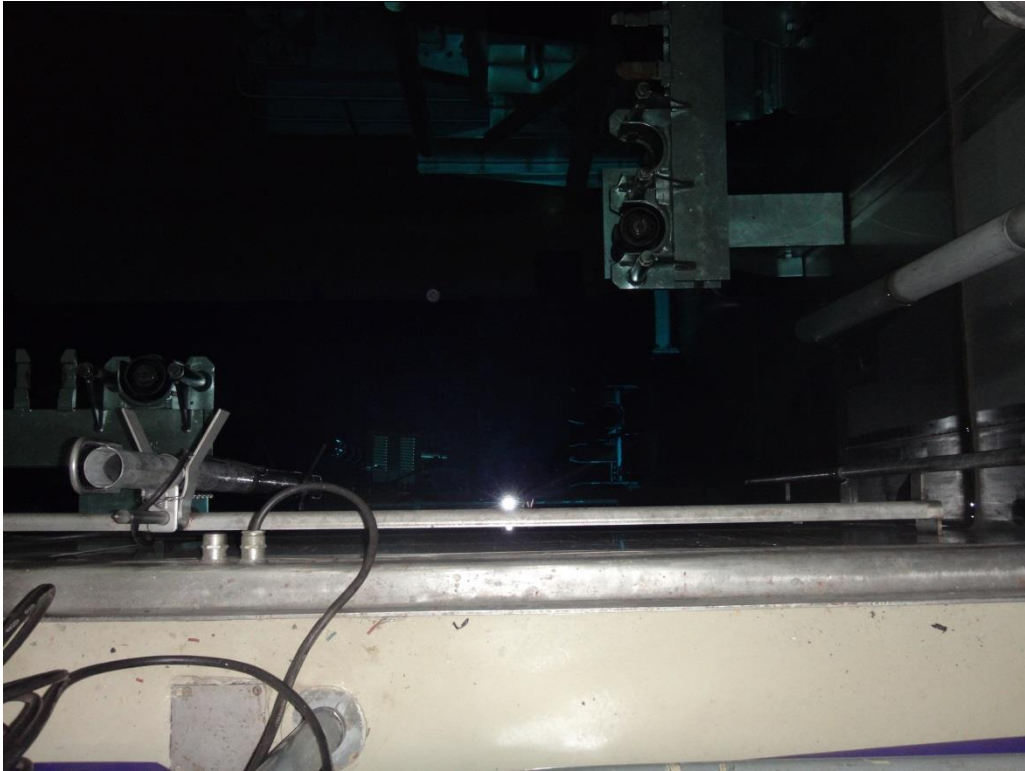


Foto 3: Foto de zona 1 en piletas de maniobras.



Foto 4: Foto de zona 1 en piletas de maniobras, vista lateral.

Desde la posición 1, se saco la Foto 5 de la posición 2, que muestra una plataforma con su respectiva baranda con el espacio debajo de la misma libre en vertical.

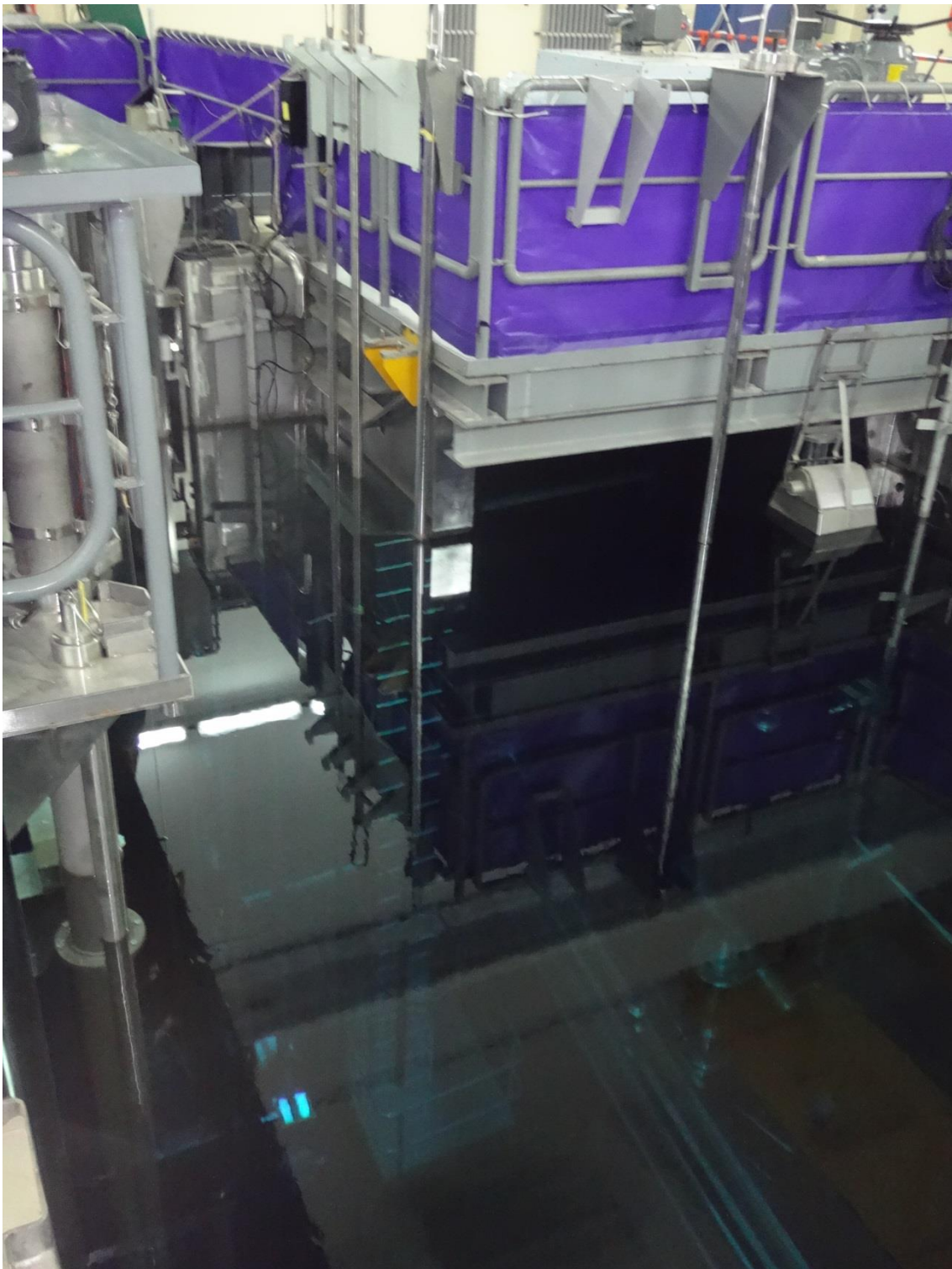


Foto 5: Foto de zona 2 en piletas de maniobras

### ***3.2. Instalación de dispositivo y procedimiento de corte***

Todo el dispositivo será construido en el Centro Atómico Constituyentes. Las tareas de mecanizado serán en caso de ser necesario, tercerizados. Con el fin de reducir costos, todas las partes deben ser posibles de transportar en un vehículo propiedad de CNEA, esto da como límite de longitud de las partes un máximo de 4,5mts de largo. En la central nuclear se introducirán las partes del dispositivo por el “garaje” de ingreso de combustibles nuevos en el edificio de piletas 2. Con el puente grúa auxiliar del edificio se moverán las partes pesadas (carros móviles y de herramientas, plataforma y tubos guías) hasta el borde de la pileta donde se ensamblaran las partes quedando el dispositivo en posición horizontal a un costado de la pileta. Con el puente grúa se izara y colocará en la pileta y luego de anclar la plataforma al borde de la pileta, se liberará el puente grúa.

### **Procedimiento de corte:**

Una vez montado y anclado todo el dispositivo en el borde de Piletas 2, conectados todos los servicios requeridos (aire comprimido y electricidad) la operación de corte consta de los siguientes pasos:

- Se busca con el puente grúa del edificio de piletas 2 al canal refrigerante con el uso de la herramienta de bolas expandibles que típicamente utilizan para este fin en la central nuclear Atucha I.
- Se lleva el canal hasta la estación de cambio de herramental donde se desconecta la herramienta de bolas expandibles y se coloca la herramienta de sujeción de canal vista en la Figura 22
- Con el puente grúa se vuelve a tomar el canal refrigerante y se lo lleva a la plataforma de control. Este movimiento debe ser muy cuidadoso y lento para no golpear el canal con el dispositivo de corte.
- Se coloca el canal en la cuna de la crapodina. Se cierra la cuna con el fin de impedir el movimiento libre del canal.
- Se bajan los carros móviles con la plataforma de herramientas, utilizando el malacate, el cual tiene marcado el cable de acero para poder saber en que posición se realiza en corte en altura.
- Se llega hasta la posición inferior de corte (posiblemente 11 mt de profundidad desde el pelo de agua).
- Se accionan los brazos palanca manteniendo firmemente al canal contra el dispositivo (contra la bancada y sus cunas)

### **Corte de la muestra:**

- Se mueve la plataforma de herramientas hasta la posición del primer agujero y acciona la broca de 4mm empujada por el agujereador / atornillador.
- Se retrae el agujereador y gira el tambor una posición. Acciona nuevamente el agujereador / atornillador y atornilla un tornillo con su buje.
- Se repiten los 2 pasos anteriores en la segunda posición del segundo agujero y tornillo.
- Ahora se mueve la plataforma de herramientas para hacer secuencialmente los 4 agujeros de 14mm de diámetro en las aristas de la ventana de corte.

- Una vez fijos los tornillos, por lo tanto el TC al TA, y hechos los agujeros de las esquinas, se lleva la placa base de herramientas hasta la posición del primer corte vertical.
- Se acciona el pistón de la amoladora vertical controlando desde la plataforma la presión del aire y por lo tanto las rpm de corte y la presión de avance. Se realiza el primer corte vertical entre 2 de los agujeros de 14mm
- Se repite los pasos anteriores para hacer el segundo corte vertical luego de moverse la placa de herramientas en forma horizontal los 60mm correspondientes.
- Se posiciona el carro con la amoladora de corte horizontal en la posición inferior, haciendo el primer corte. Para el segundo corte horizontal se mueve la plataforma en su carro hasta la posición correspondiente (300mm arriba). Antes de realizar este último corte se debe tensar los cables de acero que vinculan a los tornillos con sus bujes de unión entre TC y TA con el carro con el fin de que la muestra a extraer no caiga al interior del tubo central.
- Con la muestra ya libre y colgando del Grupo carro de corte, se eleva hasta una profundidad tal que la muestra pueda ser manipulada mediante una telepinza. En la Figura 44 se muestra al grupo carro de corte en su posición de altura máxima.
- Con la telepinza se llevará la muestra hasta el contenedor que se describe en el punto 4.
- Todos los pasos anteriores se repetirán para el corte y extracción de cada muestra.

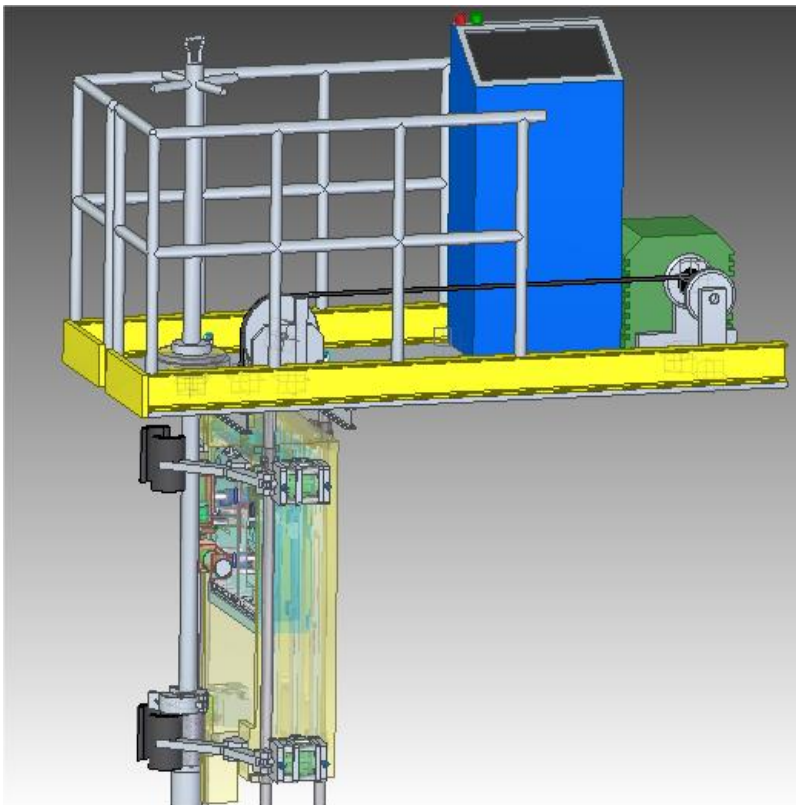


Figura 44: Vista de Grupo de Carro de corte totalmente izado.



### **3.3. Desmantelamiento y descontaminación**

Se deberá desmantelar y limpiar todo el dispositivo al punto de que no sean necesarias medidas de protección en su almacenamiento. Para poder lograr este objetivo:

- Se removerá el canal cortado a la percha correspondiente
- Se izará hasta la posición superior al Grupo carro de corte, como se muestra en la Figura 44: Vista de Grupo de Carro de corte totalmente izado. y se lo trabará en esa posición por medio de pernos. Con el uso de chorros de agua se lo limpiará hasta que los oficiales de radioprotección lo liberen para ser extraído fuera de zona controlada
- Se desconectarán las mangueras de aire comprimido y los cables eléctricos y de señal. Se desmontará la consola de control y se la pondrá a resguardo.
- Se desmontará la herramienta de sujeción de canal.
- Se eslingará la Estructura soporte desde la plataforma estructural.
- Se izará lentamente, con el uso del puente grúa, a la estructura soporte hasta que quede a la altura del piso de pileta el Grupo Carro de corte.
- Se desvinculará al Grupo Carro de corte de los tubos guías.
- Se seguirá izando lentamente, mientras se limpia la estructura con chorro de agua, hasta extraer todo el dispositivo fuera de la pileta de maniobras.
- Al dispositivo entero se lo recostará en el piso al costado del borde de pileta de maniobra y se lo desmantelará.

Según los criterios de radioprotección convencionales, se liberarán las partes componentes si no superan los  $0,4\text{Bq}/\text{Cm}^2$

Se desea que el dispositivo sea guardado en el mismo predio de la Central Nuclear Atucha I-II, por lo cual se trasladarán las piezas componentes hasta ese destino con el uso medios de transportes internos de la central.

## **4. Capítulo 4: Transporte a celdas calientes**

Una vez extraídas las muestras del canal refrigerante, debemos transportarlas a Celdas Calientes, en el predio del Centro Atómico Ezeiza, donde se realizan los ensayos previamente vistos.

Para poder seleccionar el tipo de transporte, bulto y etiquetado debemos hacer unos cálculos y mediciones.

El transporte de todo material radioactivo en la república Argentina está reglado por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) bajo la norma AR 10.16.1\_R3, (según expediente de la ARN, SRC 7363/15)

Se entiende como material radioactivo a todo aquel que contenga radionúclidos en los cuales tanto la concentración de actividad como la actividad total de la remesa (bulto o carga) excedan los valores de en la Tabla 3 en el párrafo 407 (descripto en Ref.8)

Se entiende por bulto al producto completo de la operación de embalaje, contenedor y contenido. Existen 8 tipos de bultos (exceptuado, Industrial Tipo 1, 2 y 3, bulto tipo A, tipo B U y M, y tipo C). Debemos en este punto determinar

el tipo de bulto a ser utilizado en este procedimiento y el índice de transporte (IT)

Calculamos la actividad de las muestras asumiendo que son 75Ci de (Nb-95 + Zr-95) en toda la columna térmica.

Se espera transportar de a 3 muestras de 60mm x 300mm a la vez (TA +TC)

Cálculo de Actividad de las muestras y tipo de Bulto:

La tres muestras, con las dimensiones previstas, dado que se ha supuesto que la actividad esté homogéneamente distribuida a lo largo de la columna térmica, y asumimos que la actividad es emitida por elZr-95 y el Nb-95, se tiene que:

Para el Nb- 95:

$$A_m = A_T \times S_m / S_T$$

$$A_m = 40 \text{ Ci} \times (3 \times 30 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}) / (\pi \times 11 \text{ cm} \times 606,4)$$

$$A_m = 1,03 \text{ Ci} = 3,81 \times 10^{10} \text{ Bq}; 0,0381 \text{ TBq}$$

Para el Zr- 95:

$$A_m = A_T \times S_m / S_T$$

$$A_m = 35 \text{ Ci} \times (3 \times 30 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}) / (\pi \times 11 \text{ cm} \times 606,4)$$

$$A_m = 0,902 \text{ Ci} = 3,3374 \times 10^{10} \text{ Bq}; 0,033374 \text{ TBq}$$

Donde:

$A_m$ : Actividad de las muestras (Ci)

$S_m$ : Superficie de las muestras (cm<sup>2</sup>)

$A_T$ : Actividad total (Ci)

$S_T$ : Superficie total (cm<sup>2</sup>)

Con estos valores se establece que no es un material de baja actividad específica (BAE)

Tabla 3

Radionucleido	A1 (TBq)	A2 (TBq)	Concentracion de actividad para material exento (Bq/g)	Limite de actividad para remesa exenta (Bq)
Nb95	1 x10 <sup>0</sup>	1 x10 <sup>0</sup>	10	1x10 <sup>6</sup>
Zr95	2 x10 <sup>0</sup>	8x10 <sup>-1</sup>	10	1x10 <sup>6</sup>

Siendo:

A1: valor de la actividad de los materiales radiactivos en forma especial, MRFE, (Por materiales radiactivos en forma especial se entienden o bien a un material radiactivo sólido no dispersable o bien a una cápsula sellada que contenga materiales radiactivos).

A2: valor de la actividad de los materiales radiactivos que no son en forma especial.

Se considera que el material es MRFE por estar los isotopos activos embebidos en la matriz del Circonio y no son fácilmente dispersables.

Como se trata de una mezcla de raionucleidos, se aplica la siguiente condición al contenido radiactivo de un bulto tipo A :

El limite de Bulto tipo A para la mezcla es:

$$\sum \frac{B(i)}{A1(i)} \leq 1$$

Siendo B(i) la actividad del radionucleido i, y A1(i) el valor de A1 que sale de la Tabla 3

En nuestro caso es:

$$0,054787 = \frac{0,0381TBq}{1} + \frac{0,033374TBq}{2} \leq 1$$

Como la ecuación anterior el valor es menor que la unidad, podría tratarse de un bulto tipo A o un bulto exceptuado, por esta razón se compara con el límite para bultos exceptuados de la Tabla 4,

Límite bulto tipo exceptuado para la mezcla:

$$\sum \frac{B(i)}{A1(i)} \leq 10^{-3}$$

Tabla 4

Tipo de bulto	Limite de contenido radiactivo	
	Materiales radiactivos en forma especial (MRFE)	Materiales radiactivos en otras formas
EXCEPTUADO	$10^{-3} A_1$ (sólidos y gases)	$10^{-3} A_2$ (sólidos y gases) $10^{-4} A_2$ (líquidos) $2 \cdot 10^{-2} A_2$ (tritio gaseoso)
TIPOA	$A_1$	$A_2$

No se cumple, por lo cual el tipo de bulto es **Tipo A.**

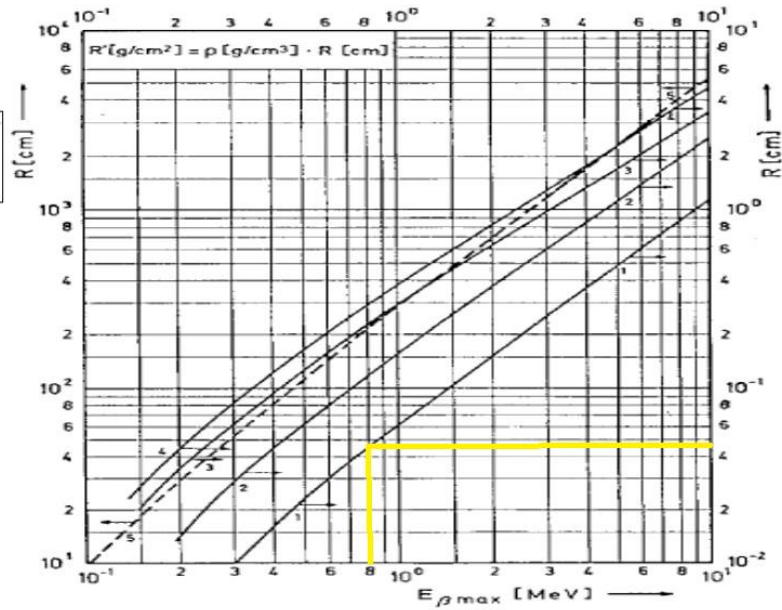
#### Cálculo del Índice de Transporte:

Ahora deberíamos saber la **tasa de dosis a 1mt** de distancia del bulto para poder calcular el índice de transporte por lo tanto debo calcular el blindaje, con 4mm de acero inoxidable y 100mm de plomo de pared:

Para las emisiones  $\beta$ , con los 4 mm de acero inoxidable alcanza para frenar toda partícula  $\beta$  ya que el alcance máximo en Hierro es de 0,4mm que además evita la radiación de frenado (Bremsstrahlung  $\rightarrow$  generación de rayos X dentro del plomo debido a los 2 fotones de aniquilación generados por la actividad  $\beta$ )

Alcance de partículas  $\beta$  en distintos materiales

- 1- Hierro ( $\rho= 7,87$ )
- 2- Vidrio pyrex ( $\rho= 2,6$ )
- 3- PVC ( $\rho= 1,38$ )
- 4- Plexiglas ( $\rho= 2,6$ )
- 5- Aire ( $\rho= 0,0013$ )



Para las emisiones  $\gamma$  se utiliza la fórmula de blindaje multicapa con el efecto de Build Up (que considera fotones dispersados en el material y que llegan al punto de interés, ya que no es un haz colimado)

$$\frac{\dot{H}}{\dot{H}_0} = e^{-\sum \mu_i x_i} \times B_i$$

Siendo  $\dot{H}$  la tasa de dosis en el punto de interés,  $\dot{H}_0$  la tasa de dosis sin blindaje,  $\mu_i$  los coeficientes de atenuación lineal de cada material,  $x_i$  el espesor de cada material y  $B_i$  el factor de acumulación Build Up de cada material.

Con el bulto de transporte que tiene una recámara para depositar el material radiactivo de 124mm de diámetro (se considera a la muestras pegadas a la pared del recinto) y 4mm de pared de acero inoxidable más 100mm de plomo, la dosis a un metro desde la pared exterior del bulto es:

$$\dot{H}_{blindado} = \frac{0,43 \frac{Rm^2}{hCi} * 1,94Ci}{1,14m^2} \times e^{-0,5219 \frac{1}{cm} \times 0,4cm} \times 1,21 \times e^{-0,948 \frac{1}{cm} \times 10cm} \times 3,06$$

$$114 \frac{R}{Gy}$$

$$\dot{H}_{blindado} = 0,0014867mSv/h$$

Siendo  $B_{(plomo)}$  (para 0,8Mev y  $\mu_r= 9,48$ ) igual a 3,06 y  $B_{(Acero)}$  (para 0,8Mev y  $\mu_r= 0,208$ ) igual a 1,21.

El índice de transporte (IT) se obtiene multiplicando por 100 el nivel máximo de radiación a 1mt redondeado a la primera cifra decimal superior:

$$\dot{H}_{blindado} = \dot{H}_{blindado} \times 100$$

$$IT = \frac{0,0014867 \text{ mSv}}{h} \times 100 \cong 0,2$$

Con este IT la categoría, según Tabla 5, **II-Amarilla** como la de Figura 45

Tabla 5

CUADRO 9. CATEGORÍAS DE LOS BULTOS Y SOBREENVASES

Condiciones		
<i>IT</i>	<i>Nivel de radiación</i> máximo en cualquier punto de la superficie externa	Categoría
0 <sup>a</sup>	Hasta 0,005 mSv/h	I-BLANCA
Mayor que 0 pero no mayor que 1 <sup>a</sup>	Mayor que 0,005 mSv/h pero no mayor que 0,5 mSv/h	II-AMARILLA
Mayor que 1 pero no mayor que 10	Mayor que 0,5 mSv/h pero no mayor que 2 mSv/h	III-AMARILLA
Mayor que 10	Mayor que 2 mSv/h pero no mayor que 10 mSv/h	III-AMARILLA <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Si el *IT* medido no es mayor que 0,05, el valor citado puede ser cero en conformidad con el apartado c) del párr. 521.

<sup>b</sup> Deberá transportarse también bajo *uso exclusivo*.



Figura 45: Etiquetado de transporte ejemplo. Dimensiones. Tipo A.

El cálculo anterior es aproximado, y la ARN exige que, antes de ser liberada la remesa, se mida la tasa de dosis real del bulto y luego recién ahí se tramite el permiso para el transporte con su identificación adecuada.

El responsable por el transporte de las muestras desde el predio de la central nuclear Atucha unidad I al edificio de las Celdas Calientes en el Centro Atómico Ezeiza será el solicitante de la licencia de transporte ante la ARN.

El bulto de blindaje será similar al de la Figura 46.

**Blindaje de Plomo, de espesor: 10cm  
Revestido en Chapa de acero inox. 304L  
de 4mm de espesor**

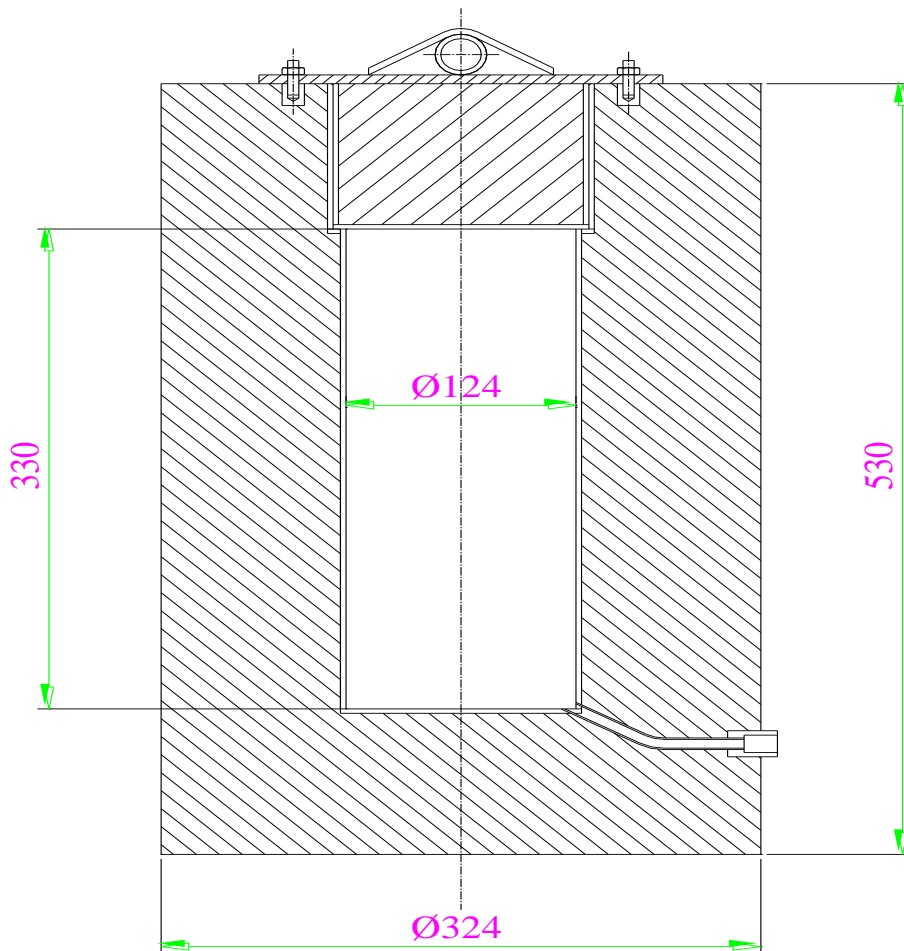


Figura 46: Bulto de transporte de materiales radioactivos. Esquema.

## 5. Capítulo 5: Calculo de costos:

Para la realización de este proyecto se consultaron presupuestos para evaluar el costo aproximado de los principales componentes y se estimó el costo de mecanizado de las diferentes partes. No se pretende en este trabajo realizar un costeo detallado de la ingeniería, construcción y montaje de la instalación, pero si tener una idea aproximada de la inversión requerida.

Grupo funcional	Componente	Sub componente	Item	Cotización (\$)
Estructura soporte y control	Plataforma soporte	Vigas y piso soporte	Insumos	7600
			Confeccionado (pintura incluida)	16000
		Barandas	Insumos	6400
			Confeccionado	12300
		Sistema Malacate	Malacate	15000
			Insumos	9200
			Mecanizado	7000
		Herramental de Sujeción Canal	Insumos (Rodamiento + metales)	11000
			Confeccionado	16000
		Consola de comandos	Control motores Paso a paso	Electrónica (Drivers, fuentes, etc)
	Consola y conexiones (eléctricas convencionales)			24000
	Control de componentes Neumáticos		Sistema de electro válvulas	42000
			Cuadro y mangueras	30450

Grupo funcional	Componente	Sub componente	Item	Cotización (\$)	
Grupo Carro de corte	Carro y montante eje vertical	Bancada y sujeción	Insumos, metales.	12700	
			Mecanizado	22000	
			Pistones	32000	
			Anclajes	8000	
		sistema de movimiento	Sist. Movimiento lineal	15500	
			Motor Paso a paso	92000	
		Carro y montante eje horizontal	Bancada	Insumos, metales.	8800
				Mecanizado	12000
	sistema de movimiento		Sist. Movimiento lineal	10200	
			Motor Paso a paso	92000	
	Placa base de herramental	Herramientales	Insumos, metales.	16000	
			Mecanizado	37000	
			Motores neumáticos	15600	
		Sistema de movimiento	Pistones	18000	
Ejes y bujes			3500		
Sistema guía de izado	Tubos guías y separadores estructurales	Insumos, metales.	16000		
		Mecanizado	8000		
Traslado y Ensamblado del conjunto				150000	
Total				820250	

El total presupuestado para el proyecto, sin contar las horas de ingeniería insumidas en el diseño es de **\$820.250**

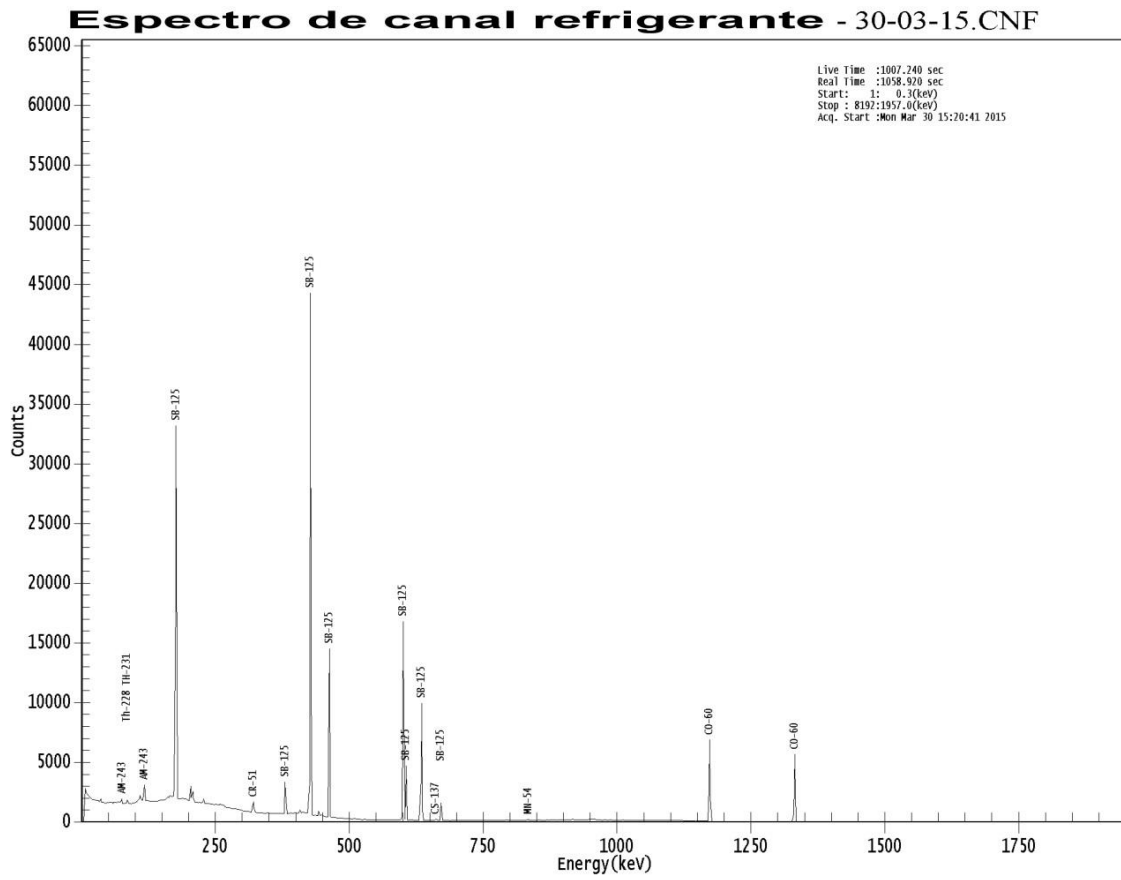


## REFERENCIAS

- 1) NA-S.A., Manual de operaciones – CNAI, capítulo 3.4 “Canales de refrigeración (incluidos orificios de restricción)”, Rev. 4, 2006
- 2) Zr-Alloys, the Nuclear Material for Water Reactor Fuel. A Survey and Update with Focus on Fuel for Pressurized Water Reactor Systems 7th International Conference on WWER Fuel Performance, Modelling and Experimental Support, Albena, Bulgaria, 17 – 21 September 2007
- 3) IT- GMAT- 22-14, Propiedades Mecánicas post-irradiación del canal de la columna térmica G-12 de las CNA-I
- 4) Control en servicio de Canales Refrigerantes (CR) de Nuevo diseño. J. Frediani, G. Ruggirello.
- 5) Programa de inspección en Servicio de los internos del Reactor de la Central Nuclear Atucha I, Programa ISI, J. Frediani, G Moliterno, O. Pennacchietti., 2006, N.A.S.A.
- 6) Perfil radiométrico del Canal refrigerante SP 02, Inf: Téc. N°: PECyC 03/2008 Rev.: 0, g. Ruggirello y G. Tomasi
- 7) Karlsruhe Nuclide Chart, W. Seelmann-Eggebert, G. Pfennig, H. Münzel. Edición 4, 1974.
- 8) Transporte de materiales radiactivos, AR 10.16.1., revisión 3, Autoridad Regulatoria Nuclear

## 6. ANEXOS:

### 6.1. Anexo 1



## 6.2. Anexo 2

Interference Corrected Activity Report 08/04/2015 04:36:17 PM

Page 1

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* N U C L I D E I D E N T I F I C A T I O N R E P O R T \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Sample Title: Solucion 1 de U-90 de la planta de fisio  
 Nuclide Library Used: C:\GENIE2K\CAMFILES\Stdlib8.NLB

..... IDENTIFIED NUCLIDES

.....

Nuclide Name	Id Confidence	Energy (keV)	Yield (%)	Activity (uCi/ )	Activity Uncertainty		
CR-51	0.407	320.08*	9.83	9.74432E+003	9.18136E+002		
MN-54	0.939	834.83*	99.97	1.38120E-001	2.60812E-002		
CO-60	0.935	1173.22* 1332.49*	100.00 100.00	5.92915E+000 5.89800E+000	1.47253E-001 1.48661E-001		
SB-125	0.969	176.33*	6.89	4.61007E+001	2.36839E+000		
		380.43*	1.50	4.29308E+001	2.25276E+000		
		427.89*	29.33	4.26293E+001	1.66564E+000		
		463.38*	10.35	4.19329E+001	1.67120E+000		
		600.56*	17.80	3.95447E+001	1.54597E+000		
		606.64*	5.02	3.96144E+001	1.57424E+000		
		635.90*	11.32	3.89238E+001	1.50781E+000		
CS-137	0.948	661.65*	85.12	4.79767E-002	1.40656E-002		
		Th-228	0.582	84.37*	1.22	3.31800E+000	1.15488E+000
				131.61	0.13		
		215.98	0.25				
TH-231	0.486	26.64	18.70				
		84.21*	8.00	3.56804E-001	1.24192E-001		
		89.95	1.25				
AM-243	0.931	74.67*	60.00	5.01119E-002	6.08710E-003		
		86.79	0.31				
		117.60*	0.50	1.85341E+001	3.85149E+000		
		142.18	0.11				

\* = Energy line found in the spectrum.  
 @ = Energy line not used for Weighted Mean Activity  
 Energy Tolerance : 1.000 keV  
 Nuclide confidence index threshold = 0.20  
 Errors quoted at 1.000 sigma

Interference Corrected Activity Report 08/04/2015 04:36:17 PM Page 2

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* I N T E R F E R E N C E C O R R E C T E D R E P O R T \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Nuclide Name	Nuclide Id Confidence	Wt mean Activity (uCi/ )	Wt mean Activity Uncertainty
CR-51	0.407	9.744317E+003	9.181358E+002
MN-54	0.939	1.381200E-001	2.608124E-002
CO-60	0.935	5.913720E+000	1.046178E-001
SB-125	0.969	4.069756E+001	6.155319E-001
CS-137	0.948	4.797672E-002	1.406560E-002
? Th-228	0.582	3.317999E+000	1.154884E+000
? TH-231	0.486	3.568045E-001	1.241917E-001
AM-243	0.931	5.015809E-002	6.087088E-003

? = nuclide is part of an undetermined solution  
 X = nuclide rejected by the interference analysis  
 @ = nuclide contains energy lines not used in Weighted Mean Activity  
 Errors quoted at 1.000 sigma

\*\*\*\*\* U N I D E N T I F I E D P E A K S \*\*\*\*\*

Peak Locate Performed on: 08/04/2015 04:35:03 PM

Peak Locate From Channel: 1

Peak Locate To Channel: 8192

Peak No.	Energy (keV)	Peak Size in Counts per Second	Peak CPS % Uncertainty	Peak Type	Tol. Nuclide
F 1	35.78	1.0675E+000	47.40		
F 4	109.54	1.7323E+000	5.94	Tol.	U-235
M 6	172.74	3.9061E+000	3.41		
M 8	204.14	5.4641E+000	2.10		
m 9	208.08	3.9416E+000	2.70		
F 10	227.85	2.0646E+000	5.22	Tol.	TE-132 CS-138 PA-234
F 13	407.79	1.4630E+000	5.17		
F 15	443.18	2.5581E+000	12.93	Tol.	EU-152
F 22	795.23	2.7453E-001	47.57	Tol.	CS-134 AC-228

M = First peak in a multiplet region

m = Other peak in a multiplet region

F = Fitted singlet

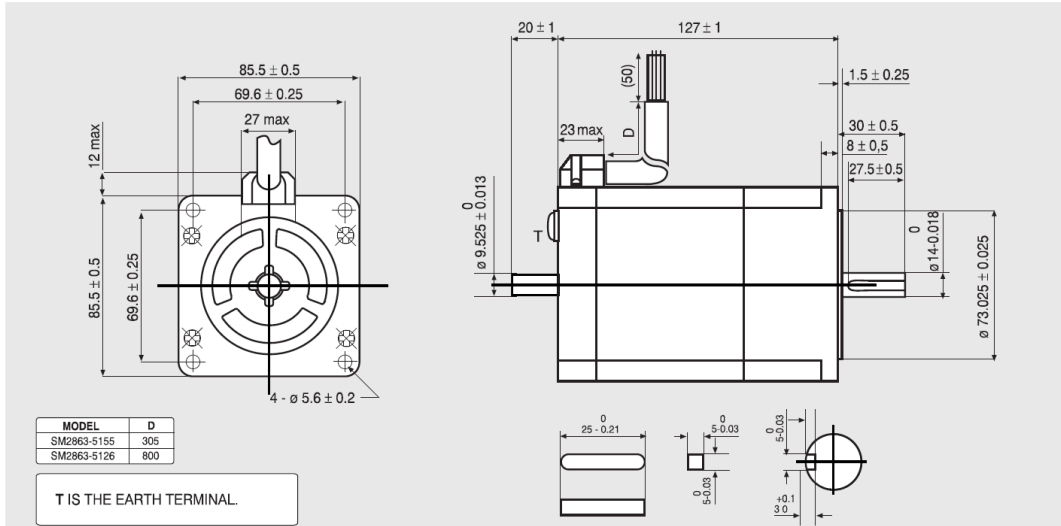
Errors quoted at 1.000 sigma

### 6.3. Anexo 3

**SANYODENKI  
SANMOTION**

**SM 2863-5155**

VARITEL INGENIERIA ELECTRONICA S.A.

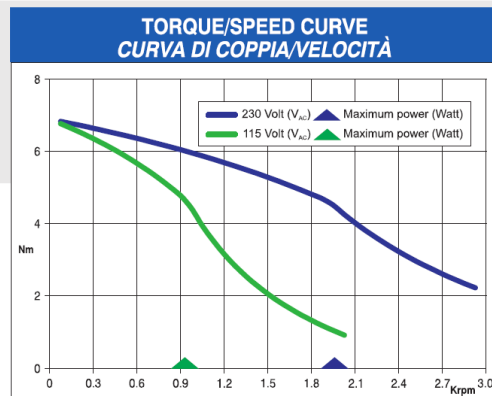


VARITEL INGENIERIA ELECTRONICA S.A.

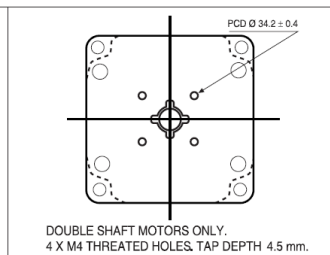
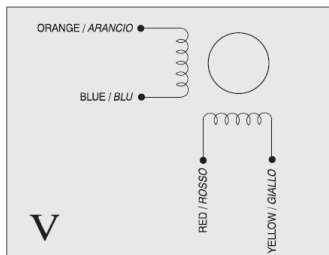
Dimensions in mm.

FEATURES CARATTERISTICHE	
MODEL MODELLO	SM2863 - 5155 (SM2863 - 5126)
BASIC STEP ANGLE	1.8° ± 0.09°
BIPOLAR PARALLEL CURRENT (Amp)	4
RESISTANCE (Ohm)	1
INDUCTANCE (mH)	7.9
BIPOLAR HOLDING TORQUE (Ncm)	920
ROTOR INERTIA (Kgm <sup>2</sup> x 10 <sup>-7</sup> )	4500
THEORETICAL ACCELERATION (rad x sec. <sup>-2</sup> )	20500
BACK E.M.F. (V/Krpm)	241
MASS (Kg)	4
INTERNATIONAL STANDARDS	UL, CSA, CE, RoHS
INSULATION VOLTAGE (V)	250 Vac (350 Vdc)
PROTECTION DEGREE - INSULATION CLASS	IP43 - F
LEADS CODE	V

Codes between brackets refer to double shaft models.  
Le sigle fra parentesi si riferiscono ai modelli bialbero.



VARITEL INGENIERIA ELECTRONICA S.A.

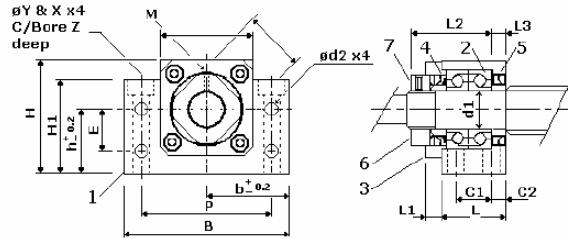


info@varitel.com - www.varitel.com - Tel. (54) 11-4243-1171 / Fax: (54) 11-4292-7545  
Manuel Baliña 456, Lomas de Zamora (B1832CCJ) Buenos Aires, Argentina.

## 6.4. Anexo 4

### Support Unit BK

Fixed Side – Rectangular Type

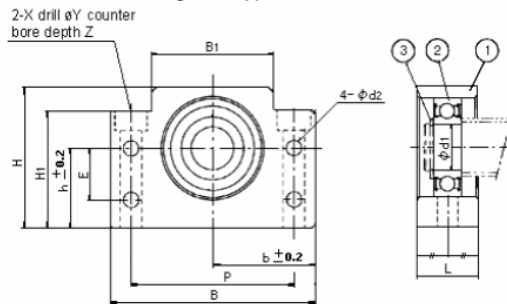


Part No	Part Name	Qty
1	Housing	1
2	Bearing	1 set
3	Holding lid	1
4	Collar	2
5	Seal	2
6	Lock nut	1 set
7	Setscrew	1

Model No.	Bearing	d1	L	L1	L2	L3	B	H	b	h	B1	H1	E	P	C1	C2	d2	X	Y	Z	M	T
BK10	7000A	10	25	5	29	5	60	39	30	22	34	33	15	46	13	6	5.5	6.6	11	5	M3	16
BK12	7001A	12	25	5	29	5	60	43	30	25	35	33	18	46	13	6	5.5	6.6	11	6.5	M3	19
BK15	7002A	15	27	6	32	6	70	48	35	28	40	38	18	54	15	6	5.5	6.6	11	6.5	M3	22
BK17	7203A	17	35	9	44	7	86	64	43	39	50	55	28	68	19	8	6.6	9	14	8.5	M4	24
BK20	7004A	20	35	8	43	8	88	60	44	34	52	50	22	70	19	8	6.6	9	14	8.5	M4	30
BK25	7205B	25	42	12	54	9	106	80	53	48	64	70	33	85	22	10	9	11	17.5	11	M5	35
BK30	7206B	30	45	14	61	9	128	89	64	51	76	78	33	102	23	11	11	14	20	13	M6	40
BK35	7207B	35	50	14	67	12	140	96	70	52	88	79	35	114	26	12	11	14	20	13	M8	50
BK40	7208B	40	61	18	76	15	160	110	80	60	100	90	37	130	33	14	14	18	26	18	M8	50

### Support Unit BF

Supported Side – Rectangular Type



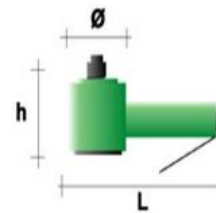
Model No.	d1	L	B	H	b	h	B1	H1	E	P	d2	X	Y	Z	Bearing	Snap ring
BF10	8	20	60	39	30	22	34	32.5	15	46	5.5	6.6	11	5	608ZZ	S 08
BF12	10	20	60	43	30	25	35	32.5	18	46	5.5	6.6	11	6.5	6000ZZ	S 10
BF15	15	20	70	48	35	28	40	38	18	54	5.5	6.6	11	6.5	6002ZZ	S 15
BF17	17	23	86	64	43	39	50	55	28	68	6.6	9	14	8.5	6203ZZ	S 17
BF20	20	26	88	60	44	34	52	50	22	70	6.6	9	14	8.5	6004ZZ	S 20
BF25	25	30	106	80	53	48	64	70	33	85	9	11	17.5	11	6205ZZ	S 25
BF30	30	32	128	89	64	51	76	78	33	102	11	14	20	13	6206ZZ	S 30
BF35	35	32	140	96	70	52	88	79	35	114	11	14	20	13	6207ZZ	S 35
BF40	40	37	160	110	80	60	100	90	37	130	14	18	26	17.5	6208ZZ	S 40

Part No	Part Name	Qty
1	Housing	1
2	Bearing	1 set
3	Snap ring	1

## 6.5. Anexo 5

# ∴ AMOLADORAS FRONTALES para discos de 3" - 5"

MODELO	VELOCIDAD rpm	L x $\phi$ mm	CONSUMO Ln/min	POTENCIA H.P.	CONEXION B.S.P.	MANG. $\phi$ INT. pulg. x mts.	PESO Kg.	CAP. DISCO	TIPO	• VISTA EXPLOTADA
TYP MODEL MODELO	DREHZAH. SPEED ROTAÇÕES	ABMESSUNG L x $\phi$ L x $\phi$	LUFT VERBRAUCH AIR CONS. CONS. de AR	LEISTUNG POWER. POTÊNCIA	ANSCHLUSS CONNECTION. CONEX. AR	SCHLAUCH TUBE MANGUEIRA	GEWICHT WEIGHT PESO	SCHNEIDS. ABM. CAPACITY CAPACIDADE	VORBILD TYPE TIPO	
PAN- 4	* 12.000	200/70	360	1.00	1/4	3/8 x 5	1.80	4"	frontal	
PAN- 4 1/2	* 12.000	200/70	360	1.00	1/4	3/8 x 5	1.80	4 1/2"	frontal	• ver imagen
PAN- 4 1/2W	12.000	200/70	360	1.00	1/4	3/8 x 5	1.80	4 1/2"	frontal	
PAN- 5	* 12.000	200/70	360	1.00	1/4	3/8 x 5	1.80	5"	frontal	
PAN- 75	* 16.000	180/50	260	0.50	1/4	3/8 x 5	0.90	3"	frontal	
PAN- 100	* 12.000	200/60	300	0.75	1/4	3/8 x 5	1.40	4"	frontal	
PAN- 115	* 12.000	200/60	300	0.75	1/4	3/8 x 5	1.40	4 1/2"	frontal	
PAN- 125	* 11.000	160/70	300/350	1.50	1/2	1/2 x 5	2.00	5"	frontal	
PAN-125S	* 11.000	160/70	300/350	1.50	1/2	1/2 x 5	2.00	5"	frontal	

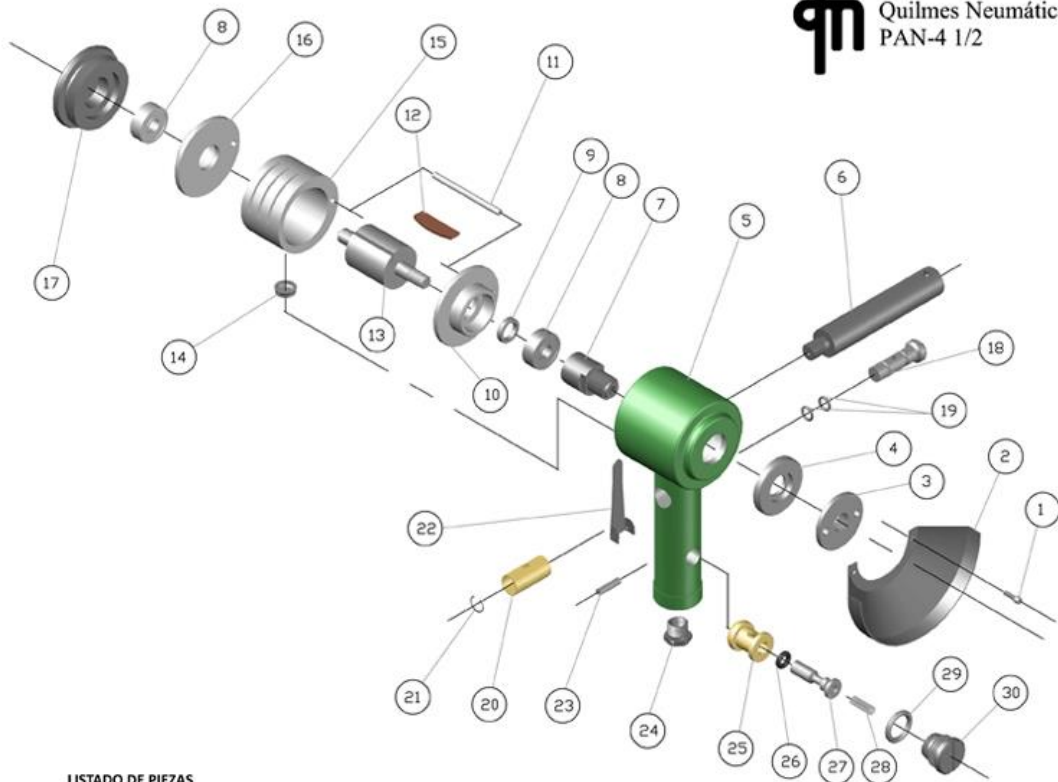


(\* ) modelos disponibles en stock / asif lager  
available directly from stock / estoque disponivel

• SILENCIADOR EXTERNO ROTATIVO

## 6.6. Anexo 6

**qm** Quilmes Neumática  
PAN-4 1/2



**LISTADO DE PIEZAS**  
Modelo : PAN-200A

Pos.	Cantidad	Denominación	Código	Pos.	Cantidad	Denominación	Código
1	2	Tornillo 5/32" x 3/8"	000400	16	1	Tapa trasera	012508/1
2	1	Cubre disco	000402	17	1	Tapa del motor	012507/1
3	1	Brida delantera	005001/1	18	1	Regulador de admisión	012524
4	1	Brida trasera	005002	19	1	Anillo "O" 2-012	012104
5	1	Cuerpo principal	012504/1	20	1	Buje	012522
6	1	Empuñadura lateral	000412	21	1	Anillo Seeger	012521
7	1	Eje disco 5/8"	00415.158	22	1	Gatillo	030012
8	2	Rodamiento 6001 ZZ	000859	23	1	Perno del gatillo	030004
9	1	Separador	000407	24	1	Conexión	000434
10	1	Tapa delantera	012511/1	25	1	Buje de admisión	030005/1
11	1	Perno del cilindro	012003	26	1	Anillo "O" 2-009	030007
12	4	Paleta	012020/1	27	1	Vástago de admisión	030006
13	1	Rotor	012506/1	28	1	Resorte	003028
14	1	Cuveta	000401	29	1	Anillo "O" 2-012	004121
15	1	Cilindro	012510/1	30	1	Tapón	008009/1
				31	1	Llave de pernos 3/4	023027/1