

**“SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL EN  
TANQUES DE BORO”**

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

**Alumno:**

***Daniel Alonso***

**Director:**

***Julio Zalcmán***

***Noviembre de 2017***



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCION .....</b>	<b>4</b>
1.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA JDJ .....	4
1.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICION .....	5
1.3. TRANSFERENCIA DEL SISTEMA DE MEDICION .....	8
<b>CAPÍTULO 2 SENSOR INDUCTIVO DE POSICION LINEAL .....</b>	<b>9</b>
2.1 DESCRIPCION DE LA BOBINA TRANSDUCTORA .....	9
2.2 ENSAMBLADO DEL SENSOR .....	10
2.3 FABRICACION DE LA BOBINA TRASDUCTORA .....	13
<b>CAPÍTULO 3 MODULO CONVERSOR .....</b>	<b>17</b>
3.1. DESCRIPCION DEL MODULO CONVERSOR .....	17
3.2. DISEÑO DEL MODULO CONVERSOR .....	18
3.3. DESCRIPCION DEL DISEÑO Y FABRICACION DEL PCB.....	31
<b>CAPÍTULO 4 CALIFICACION DEL SISTEMA .....</b>	<b>35</b>
4.1. ENSAYOS APLICABLES AL SISTEMA .....	35
<b>CAPÍTULO 5 PRUEBAS FUNCIONALES .....</b>	<b>35</b>
5.1. PRUEBA EN BANCO .....	37
5.2. PRUEBA EN PLANTA.....	37
<b>CAPÍTULO 6 EVOLUCIONDEL SISTEMA .....</b>	<b>41</b>
6.1. LIMITACIONES DEL MODULO CONVERSOR.....	41
6.2. MEJORAS DEL MODULO CONVERSOR .....	41
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>

## RESUMEN

---

Al cabo de años de operación de una central nuclear surge la necesidad de reemplazar componentes, equipos y sistemas que han sufrido deterioro por el uso y no pueden ser reparados por falta de repuestos, por desaparición del fabricante o por obsolescencia.

Sin embargo, el reemplazo de los mismos por sistemas y equipos nuevos, de mejores prestaciones no siempre es posible, y en estos casos se debe realizar el diseño y fabricación de prototipos que cumplan la misma función, sean compatibles y después de ser calificados reemplacen a los originales.

Entre aquellos que se deben reemplazar por deterioro y falta de repuestos, se encuentran equipos electrónicos y sensores fundamentales en los sistemas ligados a la seguridad de la central.

El objetivo de este trabajo es describir el proceso de diseño, desarrollo y construcción de un prototipo medidor de nivel por variación de inductancia para la medición del nivel de los tanques de inyección de boro del sistema de apagado de emergencia en la Central Nuclear de Atucha II (CNAII).

El sistema de medición prototipo deberá servir como modelo para la producción del sistema que reemplazara al sistema que actualmente se encuentra instalado en la planta.

El sistema propuesto está compuesto por dos equipos, un sensor inductivo de posición lineal, y un módulo conversor de acondicionamiento de señal.

El sensor inductivo de posición lineal, consiste en una bobina con núcleo variable el que al modificar la posición y por ende inductancia, indica proporcionalmente el nivel de solución que se encuentra en el tanque.

El módulo conversor debe medir la variación de inductancia de la bobina y convertirla en una señal de corriente proporcional a la misma, para efectuar las acciones de control y seguridad que se requieran.

También se describe en este trabajo el proceso de calificación funcional del sistema propuesto.

Finalmente se describen los resultados que arrojan las pruebas realizadas en banco, así también como los ensayos funcionales realizados con el sistema instalado sobre la planta.

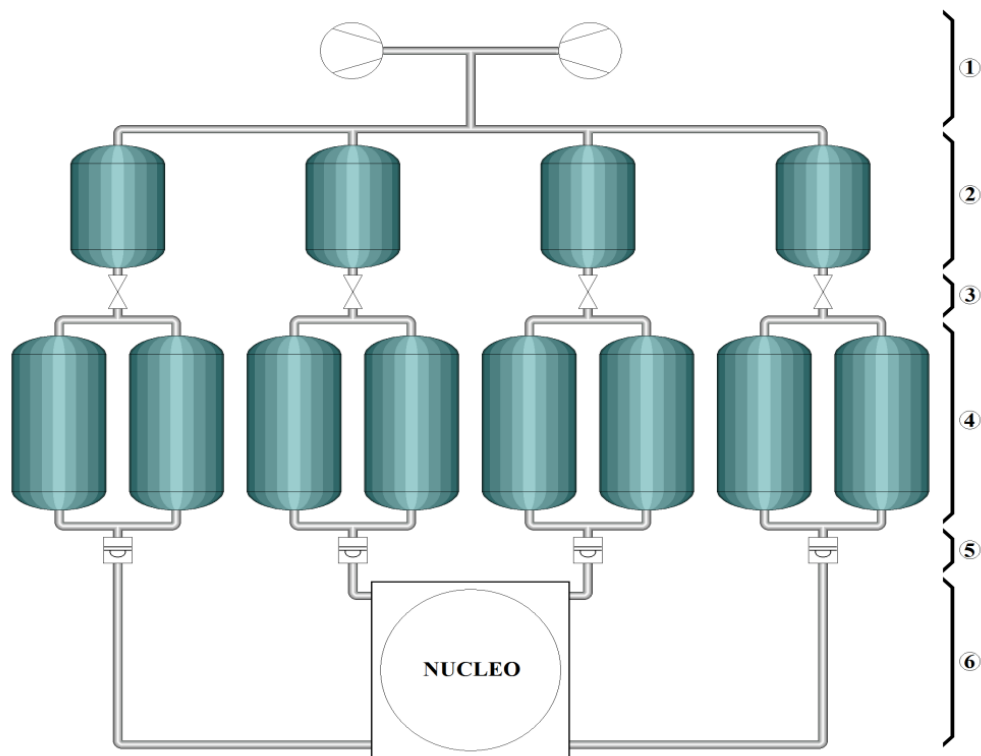
En la CNAII existen dos sistemas de corte y extinción del reactor. El sistema de accionamiento de barras de control, y el sistema de inyección rápida de boro. En esta sección se describe el marco introductorio al funcionamiento del sistema de extinción del reactor por medio de la inyección rápida de boro en el núcleo.

### 1.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA JDJ

El sistema de inyección rápida de boro o también sistema JDJ, funciona como backup del sistema de barras de control. El mismo consiste en cuatro ramas de inyección de ácido bórico.

Para lograr la extinción de la reacción en el núcleo, es necesario el accionamiento exitoso de dos de las cuatro ramas del sistema. Es decir, cada una de las ramas puede satisfacer la demanda en un 50%.

En la *Figura 1* se observa un diagrama esquemático del sistema JDJ.



**Figura 1: Sistema JDJ**

El sistema posee dos compresores de aire y un filtro (nivel 1 de la *Figura 1*).

El aire es inyectado desde los compresores en cuatro tanques a una presión de 220bar. Los tanques están contruidos en acero austenítico y tienen cada uno un volumen interno de 1m<sup>3</sup> (nivel 2 de la *Figura 1*).

Cada uno de los tanques de aire comprimido posee una válvula de apertura rápida las cuales permiten inyectar el aire comprimido en los tanques de solución borada (nivel 3 de la *Figura 1*).

Los ocho tanques de solución borada poseen cada uno un volumen de 0,175m<sup>3</sup> y están contruidos en acero austenítico. En su interior almacenan una solución al 4% de D3BO3 la cual puede ser inyectada en el núcleo extinguiendo la reacción en caso de una emergencia (nivel 4 de la *Figura 1*).

La medición de nivel de cada uno de estos tanques se realiza por medio de dos sensores inductivos de posición lineal. El objetivo de la instalación de dos sensores es lograr una redundancia en la medición realizada.

La solución borada es inyectada en el núcleo por medio de cuatro discos de ruptura. Estos discos son sistemas pasivos, los cuales se rompen y permiten el ingreso de la solución al núcleo en caso que la diferencia de presión sea mayor a 30atm (nivel 5 de la *Figura 1*).

La solución borada es inyectada en el centro del núcleo por medio de cuatro tuberías (nivel 6 de la *Figura 1*).

## **1.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MEDICION**

---

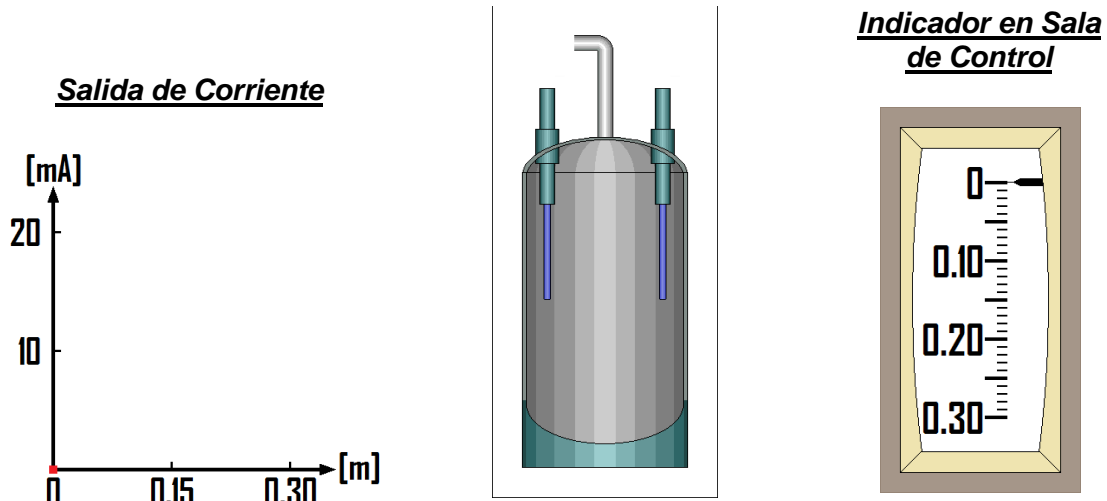
En esta sección se describe el funcionamiento del sistema utilizado para medir el nivel de solución borada alojada en los tanques de inyección de boro. Se plantean los distintos casos según el nivel de llenado del tanque.

### **Condición de tanque vacío**

En la *Figura 2* se grafica esquemáticamente la condición de tanque vacío. A la izquierda se grafica la salida de corriente correspondiente a la condición descrita.

En el centro se observa un corte del interior de uno de los tanques de solución borada. En la parte superior del tanque se observan los dos sensores inductivos los cuales se encuentran totalmente desplegados para la condición de tanque vacío. También se observa en la parte superior la tubería por la cual ingresa el aire comprimido.

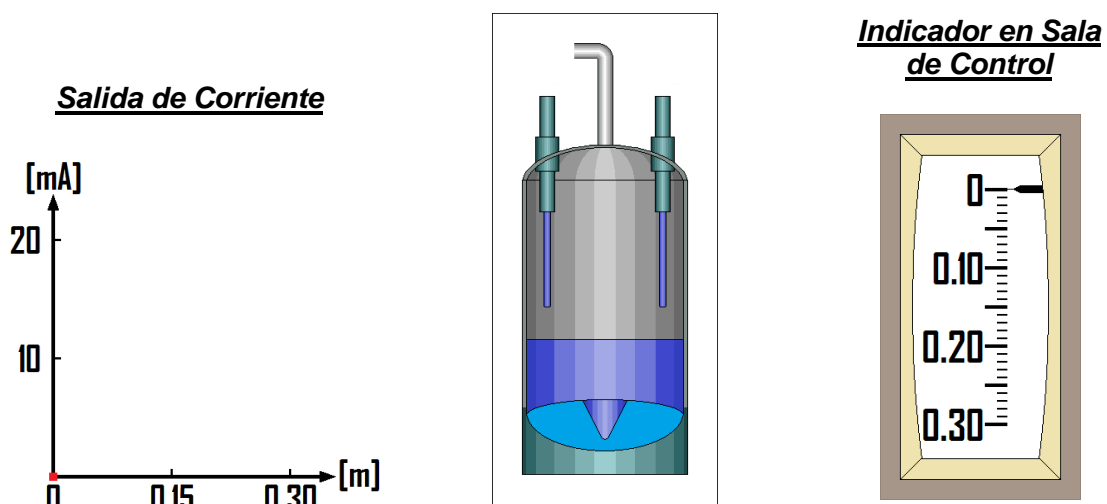
A la derecha se grafica el indicador por medio del cual se puede leer el nivel del tanque en sala de control.



**Figura 2: Tanque vacio**

**Llenado del tanque**

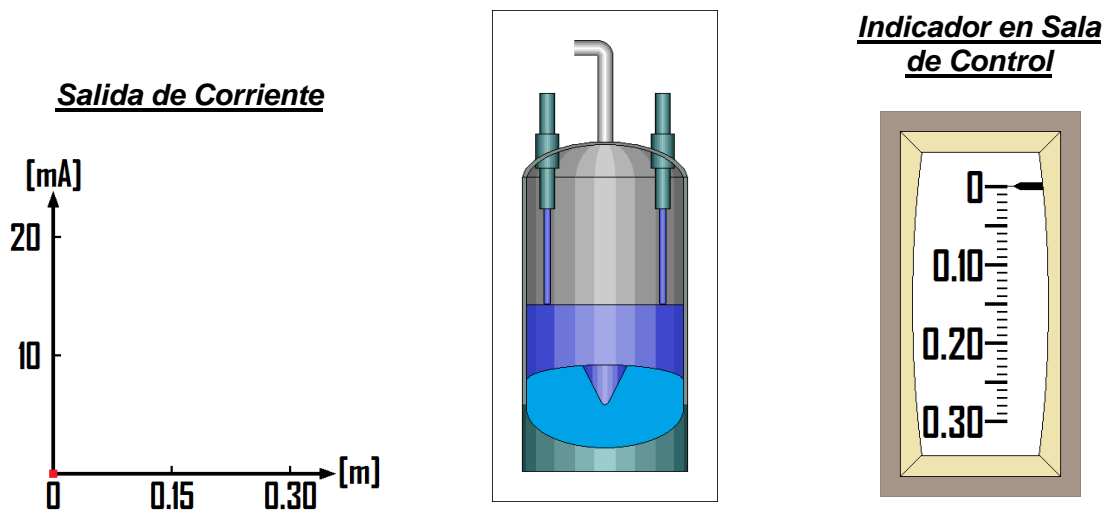
En la Figura 3 se grafica esquemáticamente el proceso de llenado del tanque. La solución borada es inyectada por la parte inferior del tanque, produciendo que el pistón se deslice hacia la parte superior del tanque. Mientras que el pistón no empuje hacia arriba los vástagos de los sensores la indicación de nivel y la salida del módulo será nula.



**Figura 3: Llenado del tanque**

**Condición límite de tanque vacío**

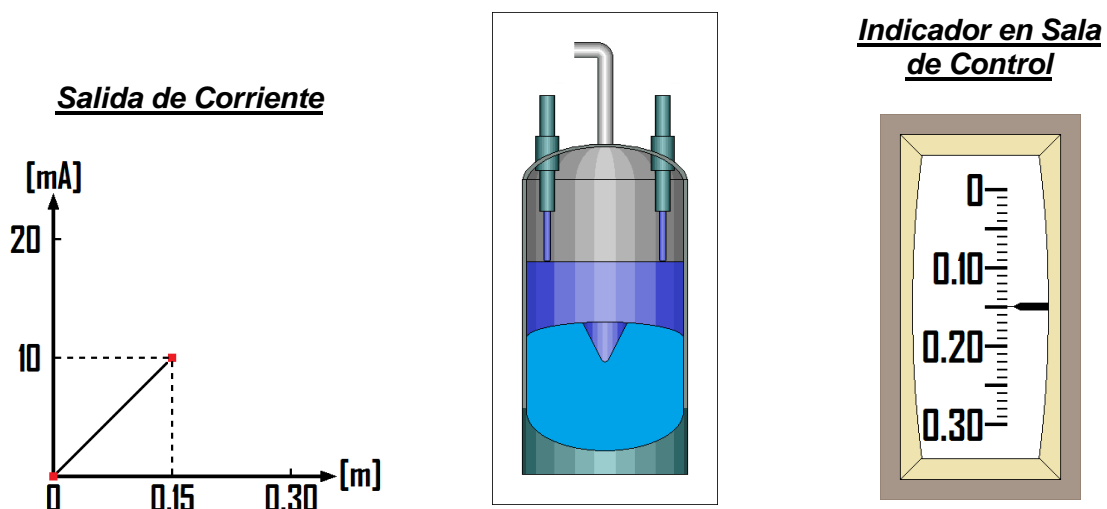
En la *Figura 4* se grafica esquemáticamente la condición límite para la cual la indicación de nivel y la salida del módulo conversor será nula. En esta condición el pistón se encuentra apoyando sobre los vástagos sin deslizarlos.



*Figura 4: Límite tanque vacío*

**Condición de tanque a medio llenar**

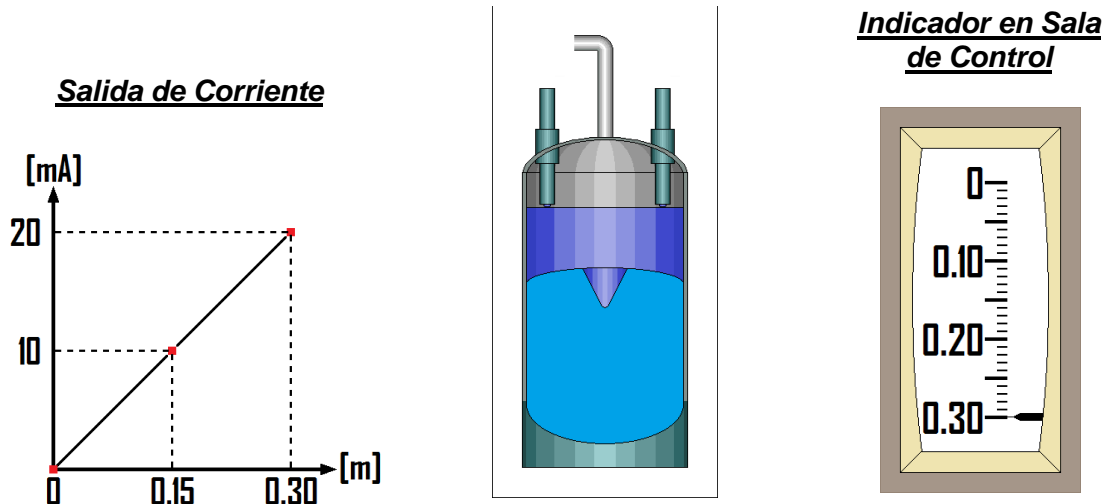
En la *Figura 5* se grafica esquemáticamente el caso en que el que el pistón desliza los vástagos al 50% de su recorrido. Este desplazamiento corresponde a una corriente de salida de 10mA y una indicación en la sala de control de 15cm.



*Figura 5: Tanque medio lleno*

### **Condición de Tanque Lleno**

En la *Figura 6* se grafica esquemáticamente la condición de tanque lleno. El pistón desliza los vástagos en toda su longitud dentro de los sensores, obteniéndose una corriente de 20mA a la salida del módulo conversor y una indicación en sala de control de 30cm.



***Figura 6: Tanque Lleno***

### **1.3. TRANSFERENCIA DEL SISTEMA DE MEDICION**

El sistema posee un rango de medición (o recorrido del vástago) de 0 a 300mm.

La salida del sistema consiste en un lazo de corriente, el cual posee un rango dinámico de 0 a 20mA. La transferencia de salida del sistema de medición de nivel es descrita por la siguiente ecuación:

$$I_{sal} = 20mA * \left( 1 - \frac{\text{Distancia de extracción del vástago [mm]}}{300mm} \right)$$

El error máximo de transferencia del conjunto sensor inductivo de posición lineal y del módulo conversor inductancia-corriente debe ser menor al  $\pm 2\%$  de plena escala (PE).

## Capítulo 2 SENSOR INDUCTIVO DE POSICION LINEAL

---

El sensor inductivo tiene como función medir el nivel de llenado en los tanques de solución borada de CNAII. Para ello, es necesario que el sensor sea capaz de convertir la altura de llenado del tanque en un valor de inductancia. En esta sección se explica detalladamente las especificaciones técnicas del sensor y los detalles constructivos del mismo.

El sensor posee un vástago (o varilla) de material ferromagnético que se desplaza dentro de la bobina transductora en función del nivel de la solución borada en el tanque, lo que se traduce en una variación de inductancia de la misma (conversión desplazamiento - inductancia). Esta variación de inductancia es luego procesada por el módulo conversor inductancia-corriente el cual entrega una corriente proporcional al nivel medido.

### 2.1 DESCRIPCION DE LA BOBINA TRANSDUCTORA

---

La inductancia de la bobina sin núcleo (con el vástago totalmente extraído) es de 250mHy, mientras que la inductancia cuando el vástago está totalmente inserto dentro de la bobina es de 4Hy.

El sensor inductivo funciona en un rango de temperatura ambiente que puede variar entre los 20°C a 70°C. Es por este motivo que la bobina posee asociada un sensor de temperatura el cual se utiliza para compensar las variaciones de inductancia que se generan por las variaciones térmicas.

Para la conexión entre el sensor inductivo y el módulo conversor se utiliza un cable del tipo par trenzado mallado de 20m. El conector del sensor inductivo (soporte mecánico) es el Hartig Modelo HAN 7D.

El sensor inductivo está diseñado para superar las pruebas térmicas, de vibración e impacto detallados en el IN-06Y-121.

## 2.2 ENSAMBLADO DEL SENSOR

---

En esta sección se describe esquemáticamente el ensamblado y montaje del sensor inductivo.

La primera pieza a montar para armar el sensor inductivo es el perno que permite el deslizamiento del vástago, este perno se grafica en la [\*Figura 7\*](#).

Sobre el perno va montado un resorte el cual permite que el vástago siempre deslice hacia fuera del sensor, este montaje se puede observar en la [\*Figura 8\*](#).

El vástago va montado sobre el perno y el resorte, como se grafica en la [\*Figura 9\*](#).

El vástago junto al armado del resorte y el perno van montados dentro de la envuelta de acero inoxidable. Esta misma permite que el vástago deslice dentro de ella, como se grafica en la [\*Figura 10\*](#).

Para que el vástago no deslice fuera de la envuelta es necesario colocar un tope en la boca de la envuelta tal como se grafica en la [\*Figura 11\*](#). En la [\*Figura 12\*](#) se grafica el tope con mayor detalle.

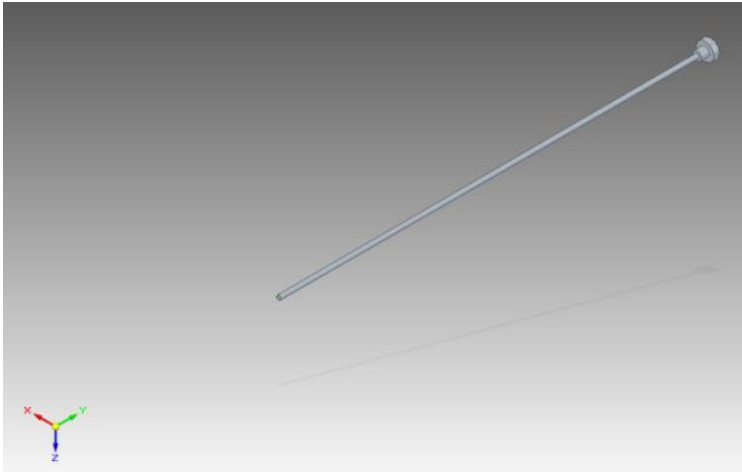
Los 11 cuerpos de la bobina van montados sobre la envuelta, tal como se grafica en la [\*Figura 13\*](#). La conexión a la bobina se realiza por la parte posterior de la envuelta.

La carcasa del sensor (o envuelta externa) está construida en acero inoxidable, esta permite la instalación del sensor en el tanque de solución borada. Se observa la carcasa y el montaje de la misma en la [\*Figura 14\*](#). La carcasa va montada sobre el orificio en la parte superior del tanque destinado a montar el sensor inductivo, soportando los 220bar de presión en su parte externa.

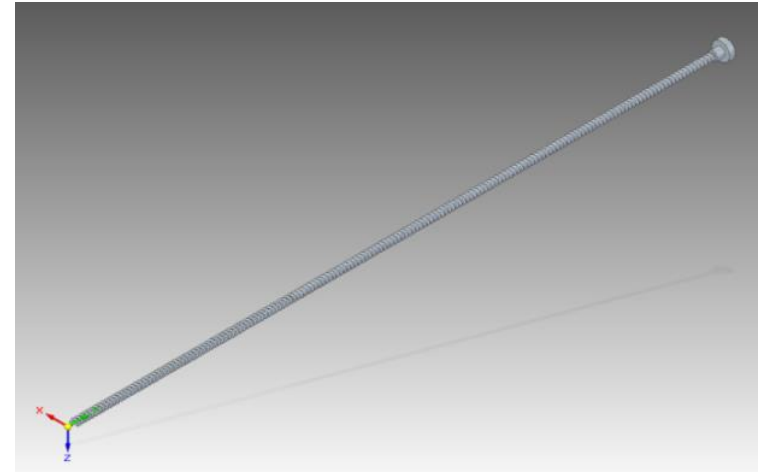
El material con el que está fabricado el vástago posee características ferromagnéticas, mientras que el perno, el resorte, el tope y la envuelta están fabricados en acero inoxidable. De esta manera, se logra que el valor de inductancia que presenta la bobina transductora solo dependa de la inserción del vástago dentro del sensor inductivo y no de la interacción de la bobina con los materiales estructurales del sensor.

La presión de aire en la parte superior tanque de almacenamiento de boro es de 220bar. El alojamiento que forma la envuelta y el tope del vástago se encuentra a esta presión, dado que el tope y el vástago no ajustan herméticamente, sino que tienen un juego que permite el deslizamiento del vástago.

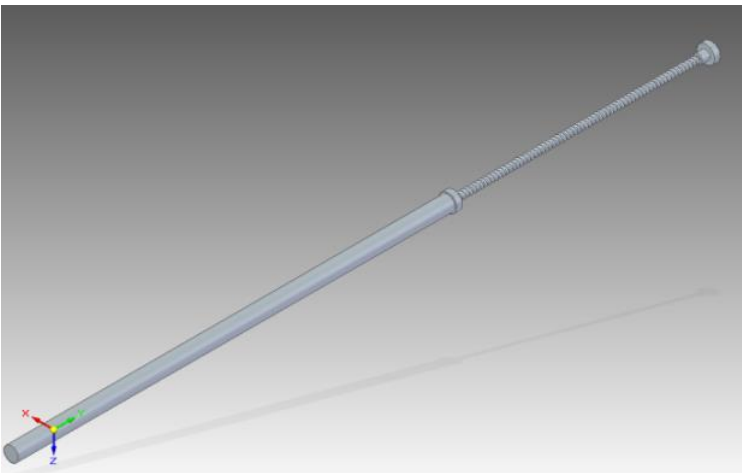
La bobina transductora va montada en el alojamiento formado por la carcasa y la envuelta. Este espacio se encuentra a presión ambiente, y es accesible por la parte superior del tanque.



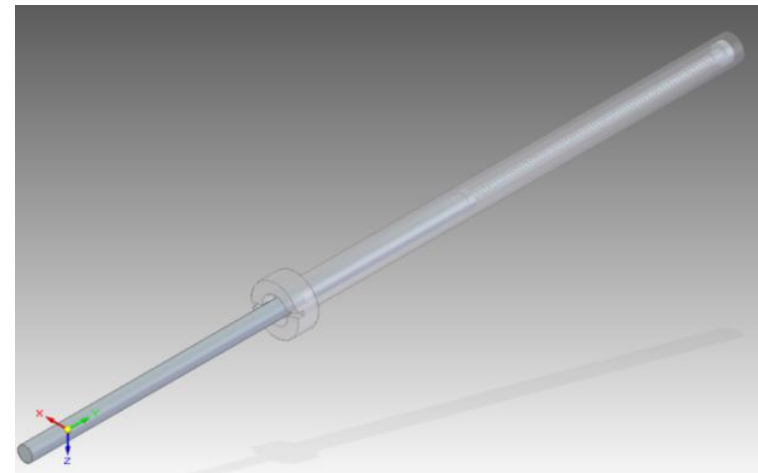
**Figura 7: Perno**



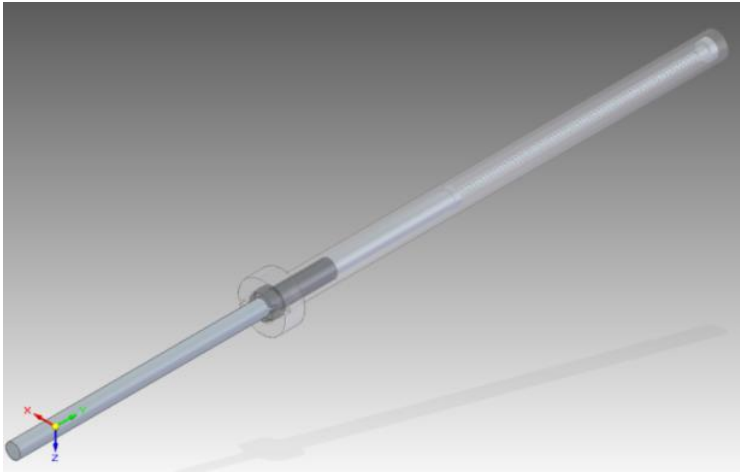
**Figura 8: Resorte**



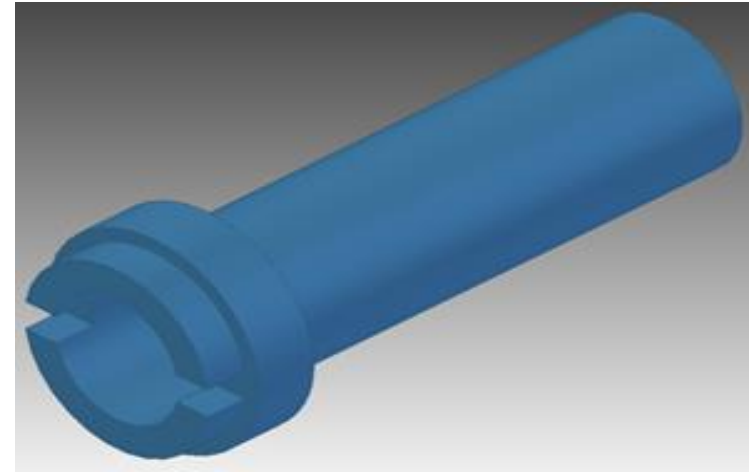
**Figura 9: vástago**



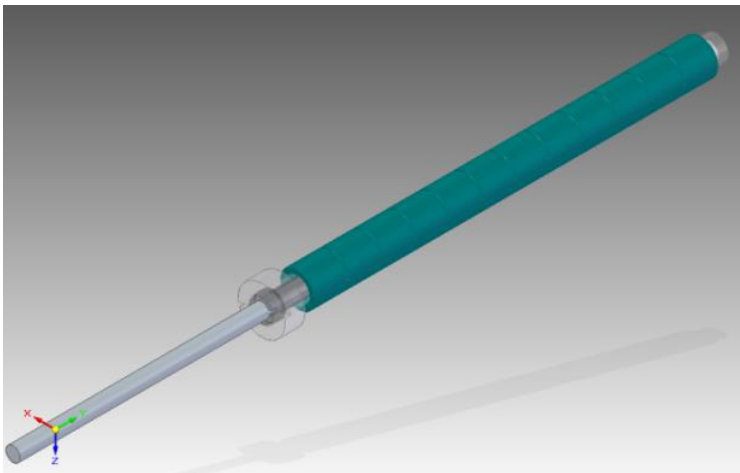
**Figura 10: Envuelta**



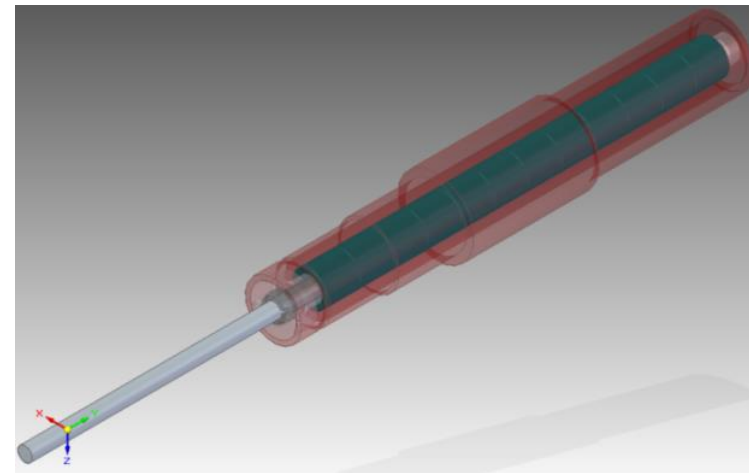
***Figura 11: Tope***



***Figura 12: Ampliación tope vástago***



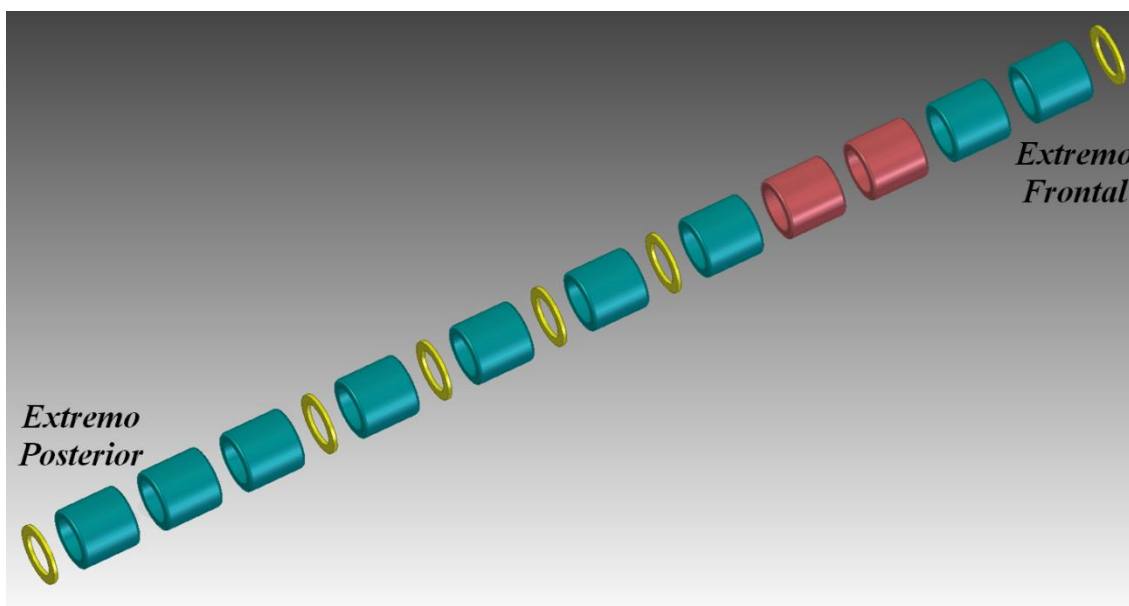
***Figura 13: Bobinas***



***Figura 14: Carcasa***

### 2.3 FABRICACION DE LA BOBINA TRASDUCTORA

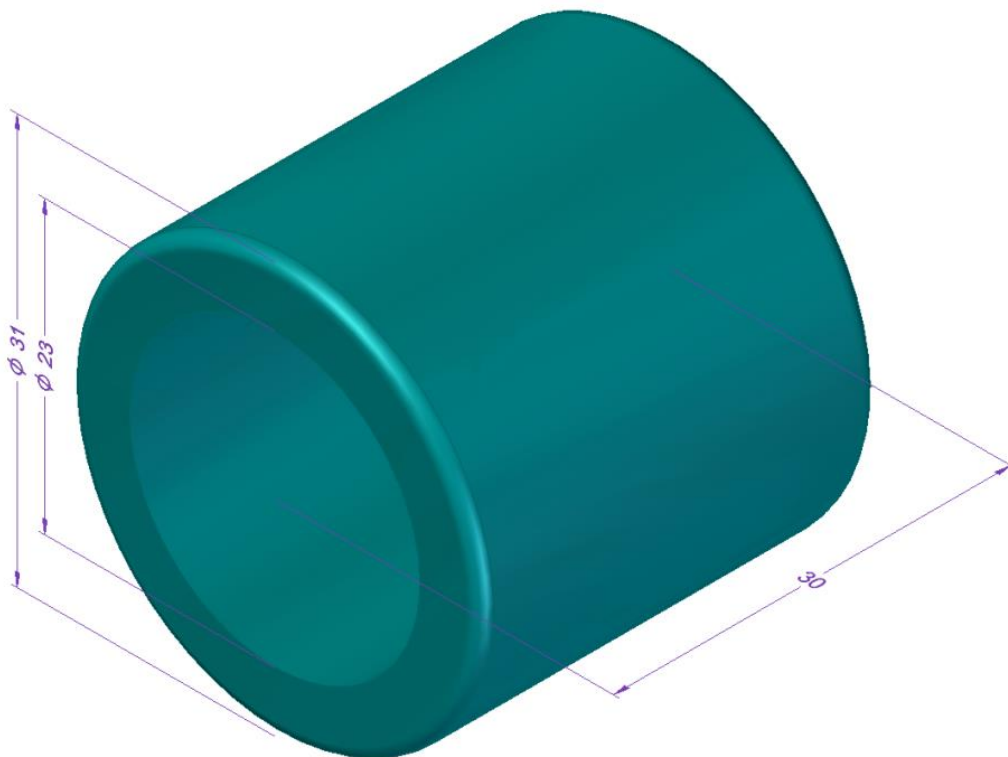
La bobina transductora está formada por 11 bobinas individuales, 2 de 19mH y 9 de 17mH. En la *Figura 15* se observa el montaje de las bobinas individuales. En rojo se destacan las dos bobinas de 19mH, mientras en verde se destacan las bobinas de 17mH. Se denomina extremo frontal de la bobina transductora, al extremo donde van montadas las bobinas individuales de 19mH, mientras que al extremo opuesto se lo denomina extremo posterior de la bobina transductora. Se observan también las posiciones en las que deben ser montadas las arandelas separadoras de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).



***Figura 15: Montaje de las bobinas individuales***

Cada bobina individual de 17mH posee 1200 vueltas de alambre, mientras que las de 19mH poseen 1400 vueltas. Ambas bobinas son autoportantes y están arrolladas con alambre de cobre esmaltado de 0.3mm de diámetro.

En la *Figura 16* se describen las dimensiones de una bobina individual. El radio externo de cada bobina individual es de 31mm, mientras que el interno es de 23mm. El largo de cada bobina individual es de 30mm.



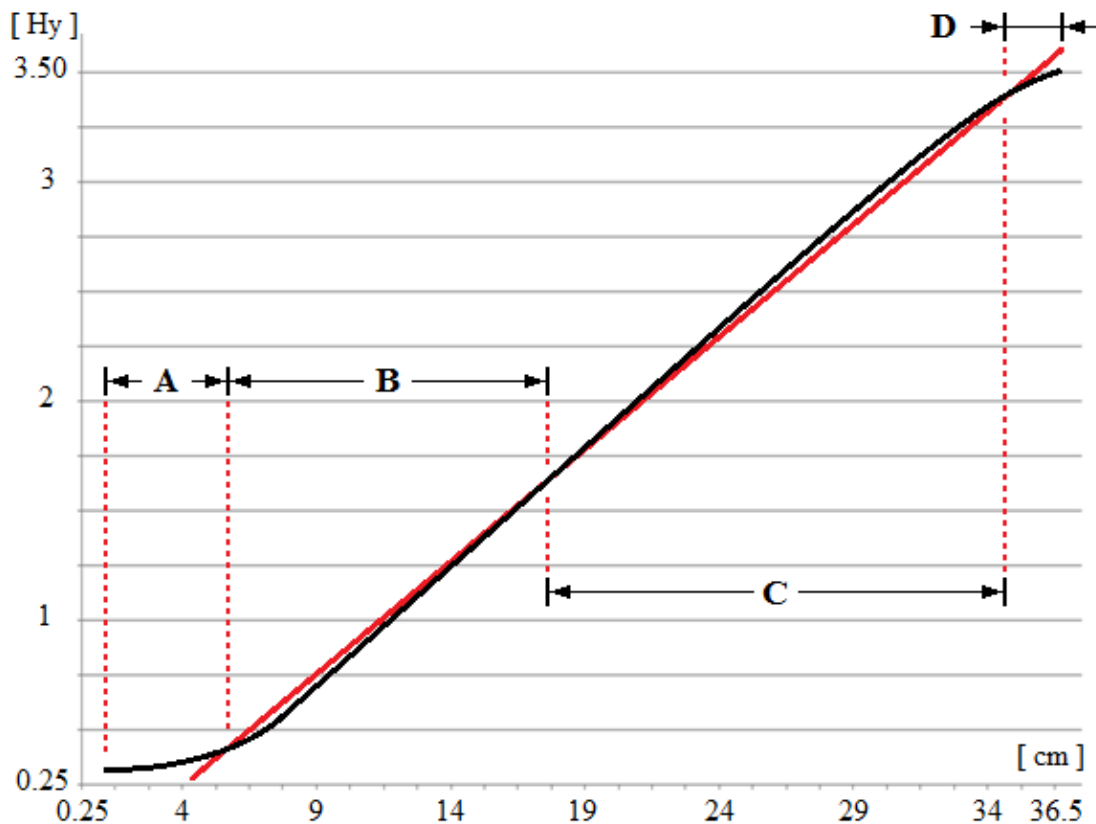
***Figura 16: Dimensiones bobina individual***

Se especifica el error de fabricación para el radio externo de las bobinas individuales en 1mm. Esta restricción se impone para que la bobina transductora pueda introducirse con facilidad dentro de la mecánica del sensor.

No se especifica el error de fabricación para el radio interno de las bobinas individuales, ya que el error producido en la fabricación para este radio es muy bajo, y el alojamiento donde va montada la bobina transductora posee un radio de 21.5mm.

Se especifica el error de fabricación para el largo de las bobinas individuales en 0.2mm. Esta restricción se impone para que el largo de la bobina transductora no supere el largo del recinto de alojamiento dentro de la mecánica del sensor, fijado en 350mm. En caso de que el largo de la bobina transductora supere los 350mm, esta impedirá que se monte la tapa que cierra la mecánica del sensor en el extremo posterior del mismo.

En la *Figura 17*, se grafica en negro la inductancia medida sobre la bobina transductora en función de la inserción del vástago dentro del sensor inductivo. Como se observa, la relación inductancia-posición del vástago no es lineal.



**Figura 17:** Respuesta de la bobina transductora en función de la inserción del vástago

En rojo se grafica la recta que mejor ajusta a los tramos B, C y D, tramos donde se presenta la mayor linealidad de la respuesta medida. Hay que notar que esta recta “no es la recta de tendencia de toda la curva”, sino solo de los tramos mencionados.

La alinealidad está presente en todos los tramos de la curva, y es producida por el efecto de borde debido a la extracción del vástago fuera de la bobina. Se observa que el efecto es mayor en el tramo A de la curva, y corresponde al caso en que el vástago es extraído en su totalidad fuera de la bobina.

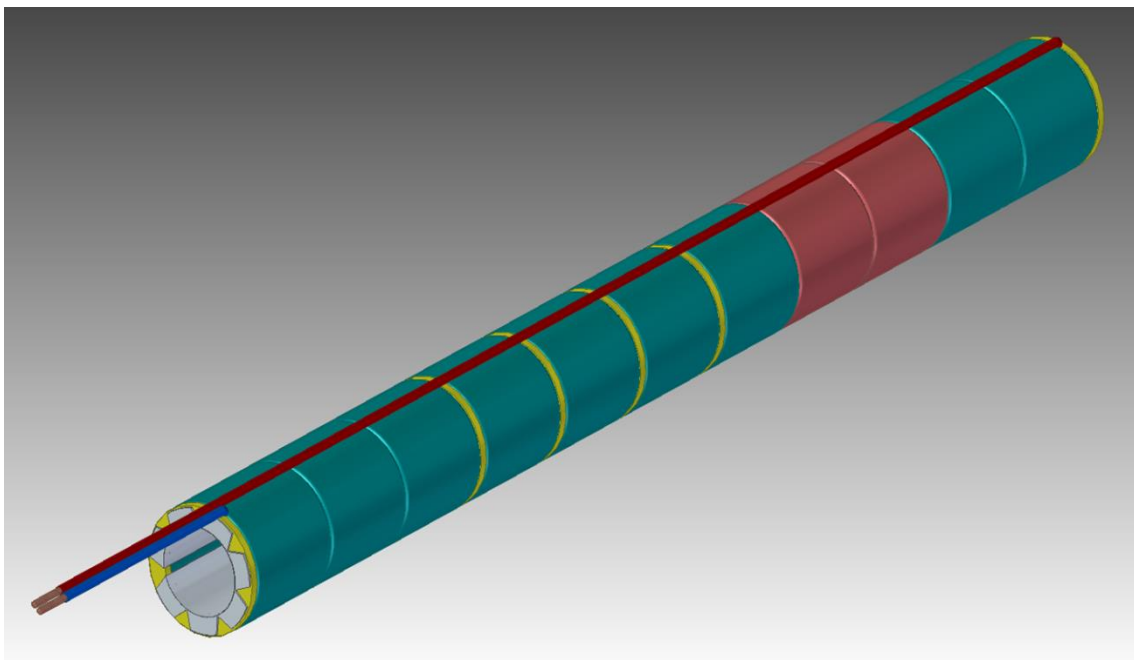
En el tramo B de la curva, se observa que la respuesta medida siempre arroja valores de inductancia por debajo de la recta esperada. El uso de las bobinas individuales de 19mH evita que el error relativo porcentual, para todos los puntos en el tramo B, se mantenga menor al 1% de PE.

En el tramo C de la curva, se observa que la respuesta medida siempre arroja valores de inductancia por encima de la recta esperada. El uso de las arandelas separadoras intercaladas entre las bobinas individuales, tal como se indica en la *Figura 15*, permite que el error relativo porcentual, para todos los puntos en el tramo C, se mantenga menor al 1% de PE.

La mayor alinealidad en la respuesta de la bobina transductora se presenta en el tramo A de la curva. Se observa que la respuesta medida siempre arroja valores de inductancia por encima de la recta esperada, siendo el error relativo porcentual en este tramo cercano al 4% de PE. Si bien el intercalado de las bobinas individuales de 19mH ayudan a atenuar este error, su efecto sobre la respuesta medida no alcanza para obtener un error relativo porcentual menor al 1% de PE. La alinealidad presente en este tramo es eliminada por el “*compensador de alinealidad*” del módulo conversor inductancia-corriente. En la sección 3.2 se describe brevemente el funcionamiento de este circuito.

En el tramo D de la curva, se observa que la respuesta medida siempre arroja valores de inductancia por debajo de la recta esperada. Para todos los puntos en el tramo D, se obtiene típicamente un error relativo porcentual menor al 1% de PE.

En la *Figura 18* se observa la disposición en la que se montan los cables en las puntas de la bobina transductora. Ambos cables deben salir por el extremo posterior de la bobina transductora. Se debe dejar un tramo de cable de unos 30cm que facilita el montaje de la bobina transductora en la mecánica del sensor inductivo. También se observa el montaje de la lámina de mylar interna de 0.2mm de espesor, con el detalle de la terminación en las puntas de la bobina transductora. Esta lámina permite mantener ensamblada de manera compacta la bobina transductora.



***Figura 18: Montaje de los cables de conexión y lámina de mylar***

## Capítulo 3 MODULO CONVERSOR

---

El módulo conversor inductancia-corriente tiene como función medir variación de inductancia sobre la bobina transductora y convertirla en una variación de corriente proporcional a la inductancia medida. En esta sección se describe detalladamente las especificaciones técnicas del módulo conversor inductancia-corriente. También se describe el proceso de diseño tanto del diagrama eléctrico, como del circuito impreso del módulo. Se analiza el modo de funcionamiento del módulo, se describe brevemente el procesamiento que realiza cada una de las etapas del mismo sobre la señal medida.

### 3.1. DESCRIPCION DEL MODULO CONVERSOR

---

El rango de medición de la entrada al módulo es de 250mHy a 4Hy, mientras que el rango de salida es de 0 a 20mA.

La linealidad del módulo, para todo el rango dinámico de medición, es menor al  $\pm 1\%$  de PE.

El módulo posee un “*compensador de alinealidad*” el cual permite corregir los errores introducidos por la alinealidad de la bobina transductora. De este modo, se puede obtener un error de linealidad de todo el sistema menor al 2% de PE.

El lazo de corriente a la salida del módulo permite una impedancia de carga máxima de 600 $\Omega$ .

El lazo de corriente a la salida del módulo es ajustable dependiendo de la posición, y el rango de desplazamiento del vástago.

La salida presenta un ripple menor a los 0,04mA.

La alimentación del módulo es de 24V, presentando la posibilidad de variar entre 20V a 30V de continua.

El módulo funciona en el rango de temperatura que va de 10°C a 60°C presentando un coeficiente máximo de variación térmica a la salida de 0.05%/°C.

El módulo posee especificaciones mecánicas compatibles con la norma EuroCard. También posee dos borneras las cuales permiten realizar todas las conexiones. De este modo se puede prescindir de las conexiones por medio del conector EuroCard, permitiendo el montaje del módulo por medio de cuatro tornillos en cualquier gabinete genérico.

El sensor inductivo está diseñado para superar las pruebas térmicas, eléctricas, y sísmicas según los valores recomendados en el IN-06Y-121.

### 3.2. DISEÑO DEL MODULO CONVERSIONOR

---

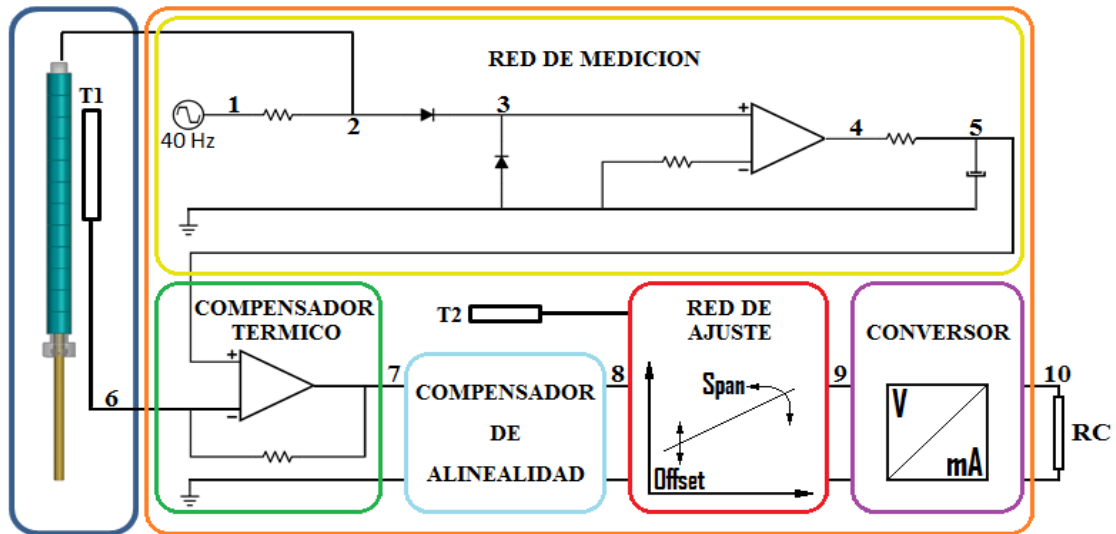
#### Criterios generales de diseño

Para el diseño de cualquier circuito de instrumentación nuclear, destinado a ser instalado en una central nuclear de potencia, se utilizan un conjunto de reglas y procedimientos de diseño que dan como un producto de alta confiabilidad. A continuación se describen brevemente alguna de las reglas utilizadas para el diseño del módulo conversor inductancia-corriente.

- Se utilizó electrónica convencional no programable.
- Se utilizó la menor cantidad de componentes posibles, de este modo se mantiene alta la confiabilidad del módulo.
- Se utilizó componentes de baja deriva térmica, de este modo se reducen los errores de medición que puedan ser producidos por las variaciones de temperatura.
- Se utilizó, en la medida de lo posible, la mayor cantidad de componentes de montaje superficial. Esto permite reducir el tiempo de fabricación del módulo. Por otro lado, los componentes de montaje superficial poseen menor masa y dimensión que los componentes de through hole equivalentes, de este modo, la utilización de componentes de montaje superficial hace más resistente el módulo a las vibraciones e impactos.
- Se utilizó los componentes con el menor costo posible. Esto se puede hacer siempre y cuando los componentes seleccionados cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.
- Se utilizó componentes con las adecuadas certificaciones eléctricas, y mecánicas, esto facilita superar las pruebas de certificación impuestas al módulo.
- Se cumplió con los requisitos especificados por la norma IRAM-ISO 9001:2015, para todo el proceso de diseño, desarrollo y fabricación del módulo conversor inductancia-corriente.

**Descripción del funcionamiento**

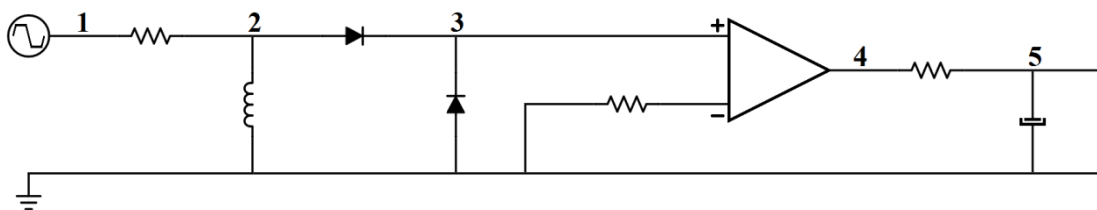
En la *Figura 19* se grafica esquemáticamente el diagrama en bloque del sistema de medición. En azul se grafica el sensor inductivo, y en naranja se grafica el diagrama en bloque del módulo conversor inductancia-corriente.



**Figura 19:** Diagrama en bloque del sistema

**Red de medición**

En la *Figura 20* se grafica esquemáticamente la red de medición utilizada para transformar el valor de inductancia, medido sobre la bobina transductora, en un valor de tensión continua proporcional a la inductancia medida.



**Figura 20:** Red de Medición

La primera etapa del circuito consiste en un oscilador de onda cuadrada de 5V de amplitud y 40Hz de frecuencia. En la [Figura 21](#) se grafica la señal generada por el oscilador, la cual se puede medir en el punto 1 de la red de medición ([Figura 20](#)).

La bobina transductora se conecta en el punto 2 de la red de medición ([Figura 20](#)). Sobre este punto también es inyectada la señal del oscilador de onda cuadrada. La señal resultante en el punto de conexión se grafica en color verde en la [Figura 22](#). Se observa que la señal resultante presenta dos semiciclos, uno positivo y otro negativo.

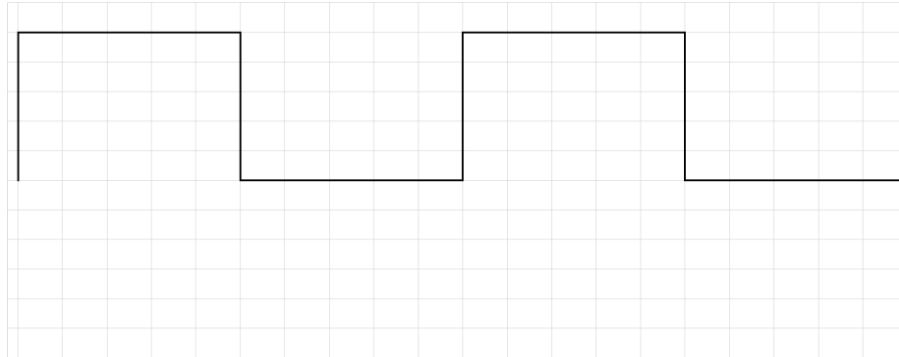
A fin de recortar el semiciclo negativo de la señal resultante sobre el inductor, se coloca un diodo en configuración de rectificador de media onda. Se grafica en la [Figura 23](#) la respuesta obtenida colocando solo este primer diodo. Se puede observar que se elimina el semiciclo negativo de la señal, pero persiste un pico de señal muy delgado que es deseable suprimir. Para ello se coloca un segundo diodo, entre el punto de tierra y señal, el cual logra eliminar casi en su totalidad este pico negativo remanente. Se grafica en la [Figura 24](#) la señal resultante la cual corresponde a la medida sobre el punto 3 de la red de medición ([Figura 20](#)). La señal se ve atenuada en su semiciclo negativo, solo persistiendo un pequeño pulso negativo del orden de unos cientos de milivoltios, el cual se puede considerar despreciable.

La señal obtenida luego de la red de diodos se hace pasar por un comparador, el cual posee un nivel discriminador determinado. La señal resultante de la comparación es la que se puede medir sobre el punto 4 de la red de medición ([Figura 20](#)).

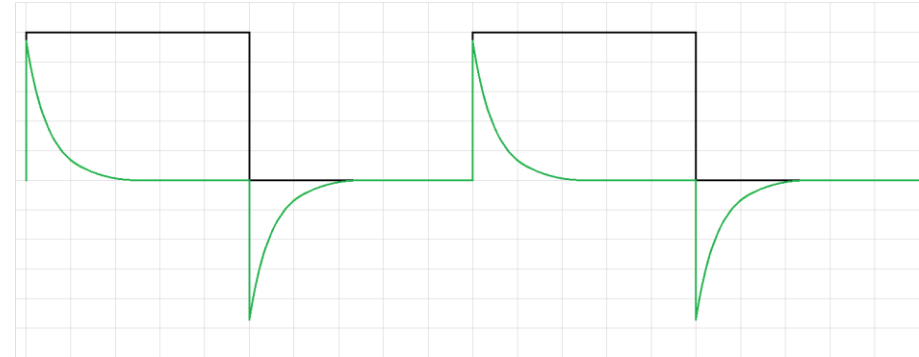
En la [Figura 25](#), [Figura 27](#) y en la [Figura 29](#) se grafica en rojo la señal resultante a la salida del comparador, correspondiente al caso en que el vástago esté totalmente extraído, el vástago este inserto al 50% y el caso en que el vástago esté totalmente inserto dentro de la bobina transductora. Se observa que el ancho del pulso resultante varía en función de la distancia de inserción del vástago dentro de la bobina transductora.

Por último se hace pasar la señal a la salida del comparador por un filtro pasa bajo formado por una resistencia y un capacitor. Este filtro sirve para convertir los pulsos obtenidos a la salida del comparador en una tensión de continua proporcional a la distancia de inserción del vástago dentro de la bobina. La señal resultante, promediada con el filtro pasa bajos, se puede medir sobre el punto 5 de la red de medición ([Figura 20](#)).

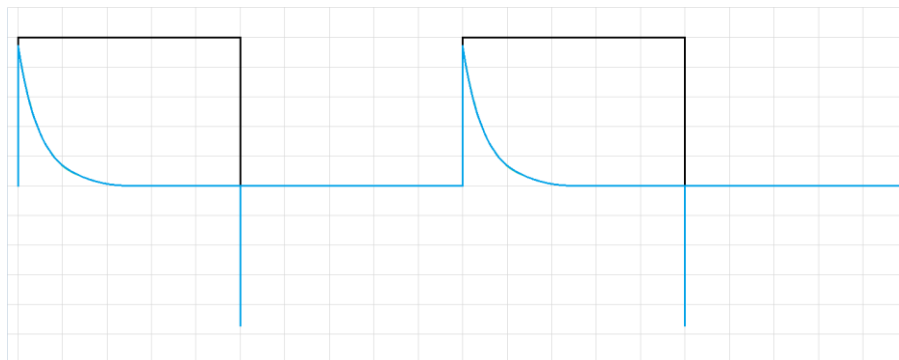
En la [Figura 26](#), [Figura 28](#), y en la [Figura 30](#) se grafica la señal resultante a la salida del filtro promediador, correspondiente al caso en que el vástago esté totalmente extraído, el vástago este inserto al 50% y el caso en que el vástago esté totalmente inserto dentro de la bobina transductora. Se observa que el valor de tensión continua resultante, varía en función de la distancia de inserción del vástago dentro de la bobina transductora.



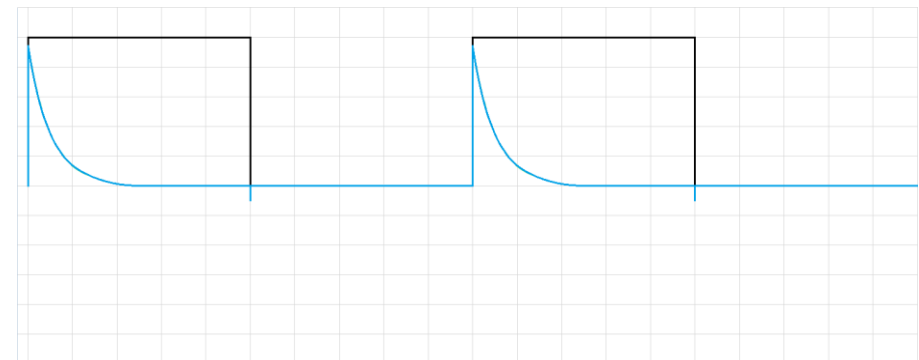
***Figura 21: Señal de entrada red de medición***



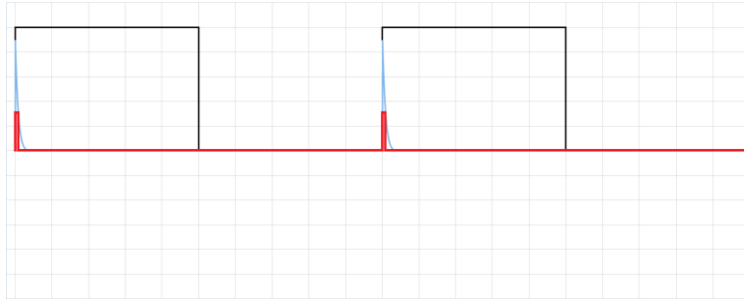
***Figura 22: Respuesta del inductor***



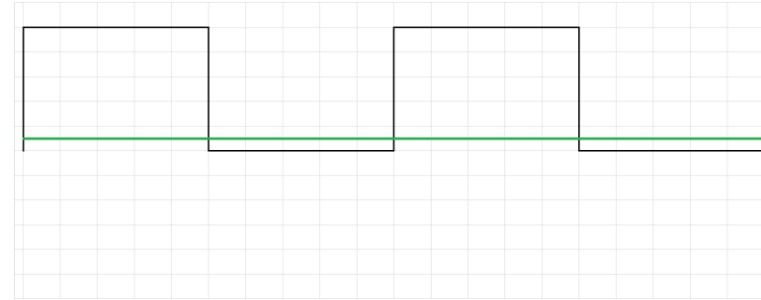
***Figura 23: Rectificación de la señal medida***



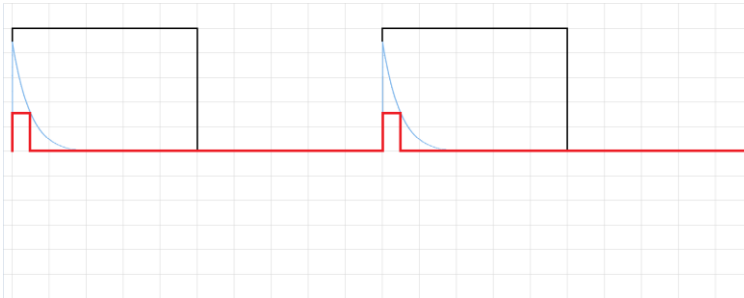
***Figura 24: Recorte del pulso negativo***



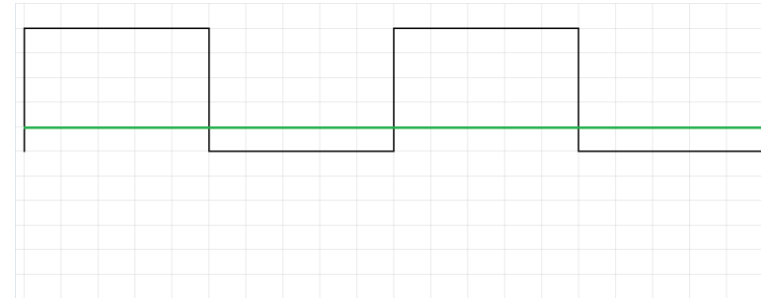
***Figura 25: Disparo vástago totalmente extraído***



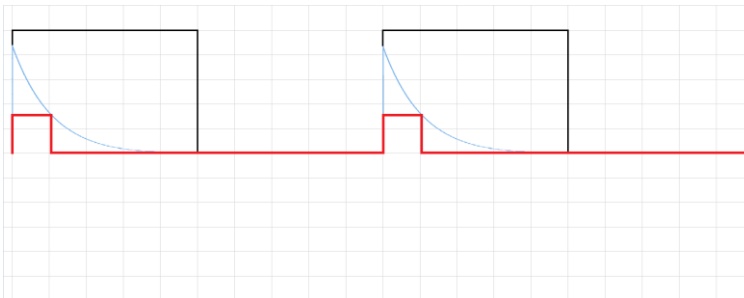
***Figura 26: Valor medio a vástago totalmente extraído***



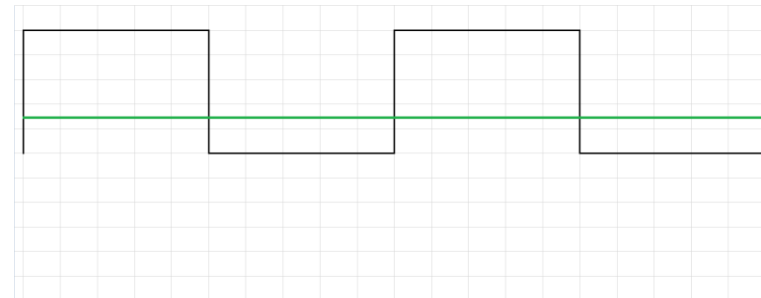
***Figura 27: Disparo vástago inserto al 50%***



***Figura 28: Valor medio a vástago inserto al 50%***



***Figura 29: Disparo vástago totalmente inserto***



***Figura 30: Valor medio a vástago totalmente inserto***

### **Red de compensación térmica**

La red de compensación térmica consiste en un circuito diseñado para compensar el error que pueda ser introducido al variar la temperatura sobre el sensor inductivo.

En la *Figura 19*, se grafica esquemáticamente en color verde la red de compensación de error por deriva térmica sobre la bobina transductora. En azul se grafica el recinto donde se instala el sensor inductivo, es decir la planta, donde se especifica que la temperatura T1 puede variar entre 20°C y 70°C.

En la *Figura 31*, se grafica en azul la inductancia medida sobre la bobina transductora en función de la inserción del vástago dentro del sensor inductivo, con el sensor inductivo sometido a temperatura ambiente. En rojo se grafica la deriva que tendría la medición de inductancia sobre la bobina transductora al elevarse la temperatura del sensor inductivo.

Se observa que al aumentar la inserción del vástago dentro de la bobina transductora, se acentúa la deriva del valor de inductancia por aumento de la temperatura. Del mismo modo, al extraer el vástago fuera de la bobina transductora, se observa una disminución en la deriva de la inductancia por aumento de la temperatura.

La red de compensación térmica consiste en un amplificador que varía su ganancia en función de valor que presente la resistencia variable con la temperatura montada dentro del sensor inductivo. La transferencia de la red de compensación está descrita por la siguiente ecuación:

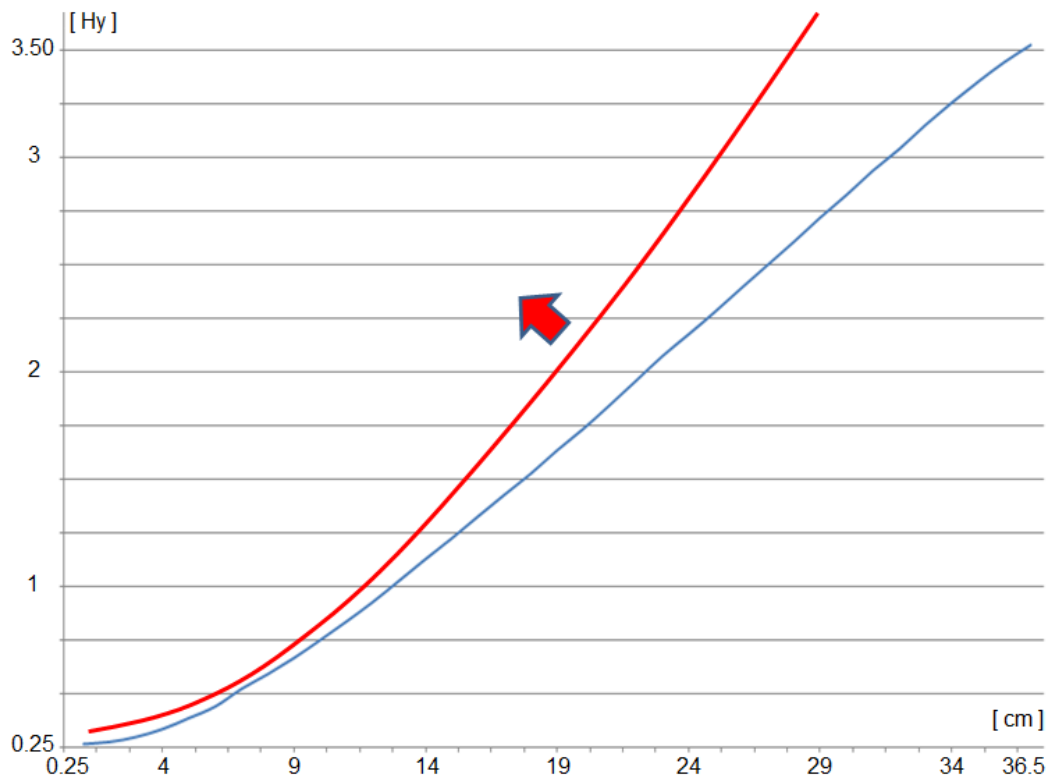
$$V_{OUT} = V_{IN} * \left(1 + \frac{R_F}{R_{TEMP}}\right)$$

La tensión  $V_{IN}$  corresponde a la entrada de la red de compensación y es la tensión provista por la salida de la red de medición.

La resistencia  $R_F$  es de valor fijo, mientras que la resistencia  $R_{TEMP}$  varía en función de la temperatura dentro del sensor inductivo. Se utiliza como resistencia variable con la temperatura un PTC (Positive Temperature Coefficient).

El cociente entre  $R_F$  y  $R_{TEMP}$  disminuye a medida que la temperatura aumenta, esta disminución de ganancia en la transferencia logra compensar el aumento que presenta la tensión  $V_{IN}$  debido a la deriva térmica.

Se selecciona cuidadosamente el valor de  $R_F$ , ya que a temperatura ambiente la ganancia de toda la etapa debe ser unitaria.



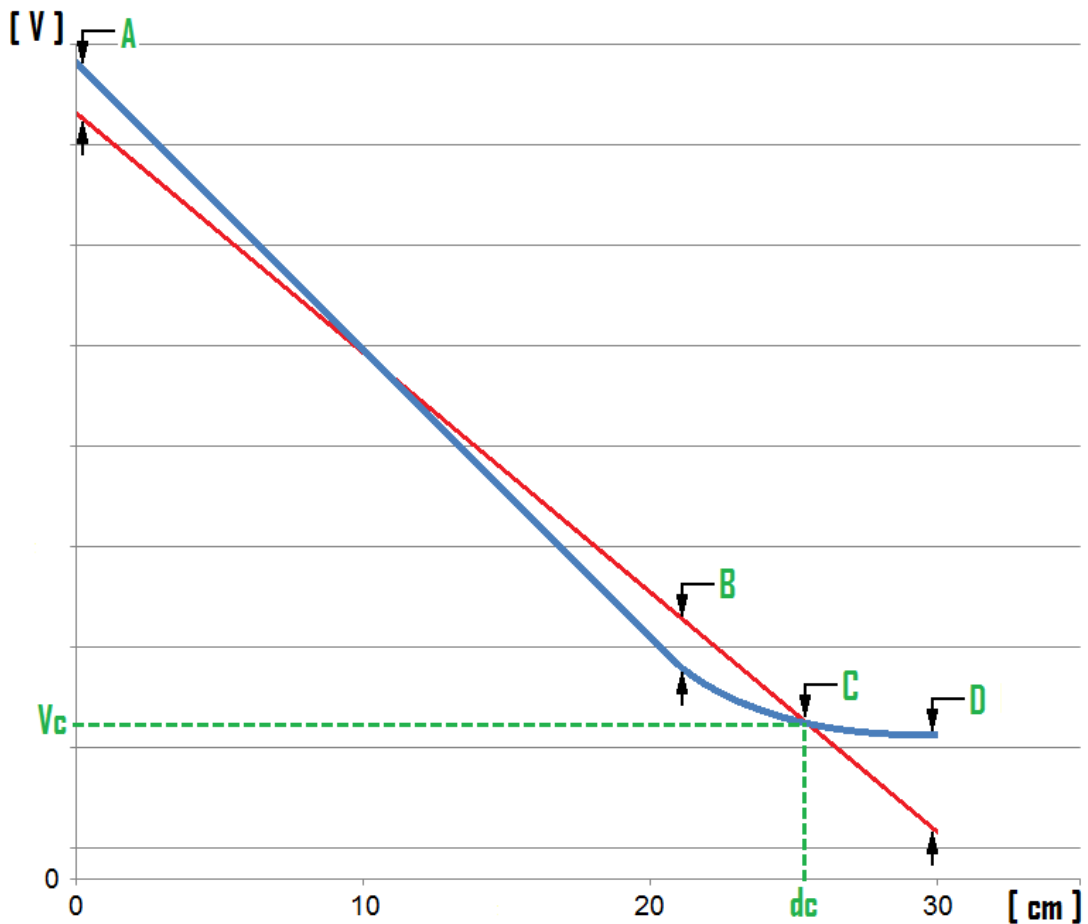
**Figura 31:** Deriva térmica bobina transductora en función de la inserción del vástago

### **Red de compensación de alinealidad**

En la *Figura 19*, se destaca en color celeste la red de compensación de alinealidad. Esta red consiste en un circuito diseñado para corregir el error introducido por la respuesta no lineal del sensor inductivo.

En la *Figura 32*, se grafica en azul la señal de entrada de la red, la cual varía en función de la extracción del vástago dentro del sensor inductivo. En rojo se grafica la recta por medio de la cual se ajusta el compensador de alinealidad. La recta pasa por debajo de la curva en el punto A (0cm de extracción del vástago) con un error relativo porcentual menor al 1%.

Fijado este primer punto A, se traza la recta de manera que el punto B de intersección se ubique lo más a la derecha posible, siempre y cuando, la diferencia entre la recta y la curva se mantenga con un error relativo porcentual menor al 1% para todos los valores de extracción del vástago a la izquierda del punto B. Como se observa, a la derecha del punto B, la recta pasa por debajo de la curva, alcanzándose en este tramo (30cm de extracción del vástago) el mayor error por alinealidad.



**Figura 32:** Recta de ajuste del compensador de alinealidad

En la Figura 33 se grafica esquemáticamente la red de compensación de alinealidad.

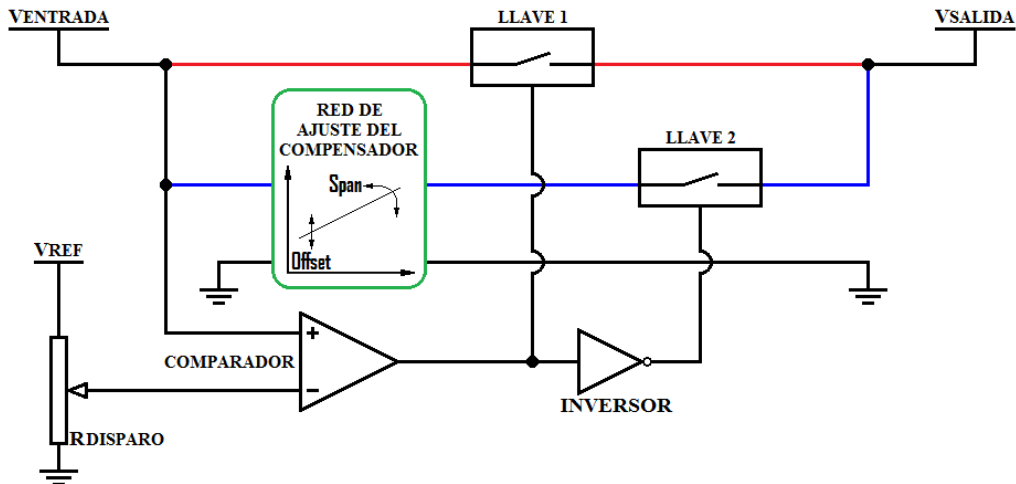
La señal de entrada puede tomar dos caminos posibles dentro de la red de compensación, el rojo o el azul.

Para distancias de extracción del vástago menores a  $d_b$ , el compensador de alinealidad funciona como un bypass, es decir, que la LLAVE 1 se mantiene cerrada y la señal pasa a través del camino rojo.

Para distancias de extracción del vástago mayores a  $d_b$ , el compensador de alinealidad funciona ajustando su salida por Span y Offset, es decir, que la LLAVE 2 se mantiene cerrada y la señal pasa a través del camino azul.

En ningún caso la LLAVE 1 y la LLAVE 2 pueden permanecer cerradas al mismo tiempo. Para lograr esto, se intercala un circuito inversor en la entrada de la señal de control de la LLAVE 2, el cual niega la señal de control de la LLAVE 1.

Por otro lado, se debe variar la  $R_{DISPARO}$  para lograr que la conmutación entre el bypass y el ajuste de Span y Offset ocurra exactamente a la distancia  $d_b$ .



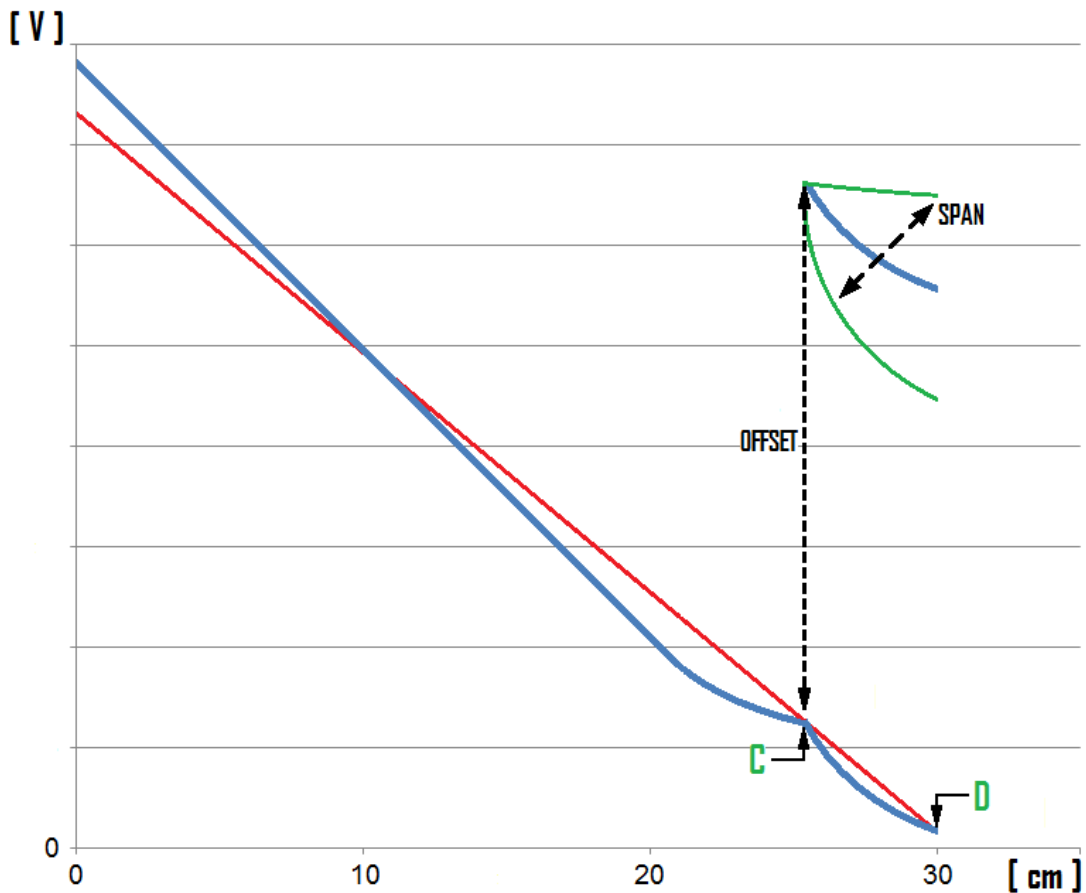
**Figura 33:** Red de compensación de alinealidad

Para corregir la alinealidad producida en el tramo B-C, se utilizan los ajustes de Span y Offset de la red de ajuste del compensador de alinealidad. De este modo, ajustando estos dos controles se logra que en el punto B, y en el punto C, la curva y la recta coincidan en tensión.

Para todos los valores de tensión comprendidos en el tramo B-C, la recta pasa por encima de la curva, presentando un error relativo porcentual menor al 1%.

En la *Figura 34*, se observa la manera en la que los ajustes de Span y Offset del compensador de alinealidad afectan la curva de salidas para valores de extracción del vástago mayores a la distancia  $d_b$ .

También se observa la respuesta de salida del compensador de alinealidad para todos los valores de extracción del vástago. Esta salida se desvía de la recta trazada en valores de tensión siempre menores al 1% del error relativo porcentual.



**Figura 34:** Ajuste del compensador de alinealidad

### Red de ajuste

En la *Figura 19*, se grafica esquemáticamente en rojo la red de ajuste. Se requiere el intercalado de esta red de ajuste en el circuito debido a que la red de conversión tensión-corriente posee una transferencia fija. La red de ajuste, consiste en un circuito diseñado para ajustar en Span y Offset la señal disponible en su entrada.

El montaje del módulo conversor inductancia-corriente se realiza utilizando un gabinete o caja metálica, la cual se encuentra sometida a la temperatura  $T_2$ . Se especifica que esta temperatura puede variar entre los  $10^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$ .

La salida del módulo conversor variará en función de esta temperatura, es por este motivo que es necesario que la red de ajuste también compense las variaciones producidas por la deriva térmica sobre el módulo conversor.

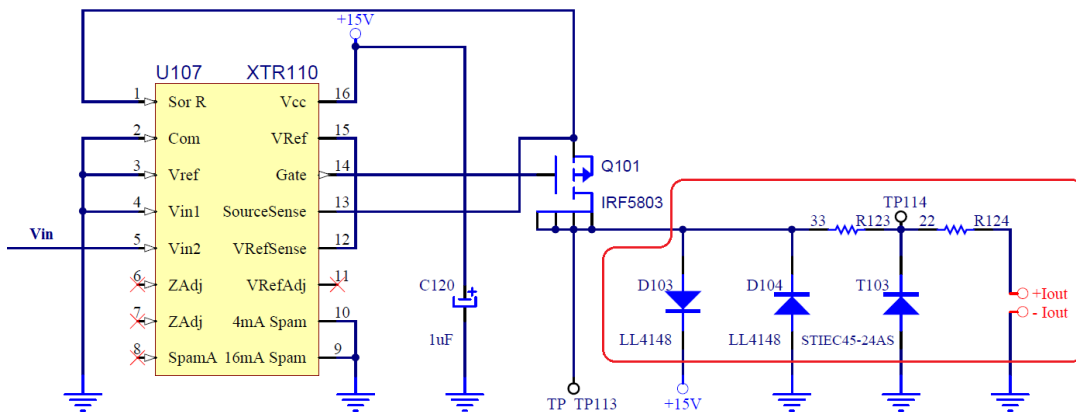
### Red de conversión tensión-corriente

La red de conversión tensión-corriente, consiste en un circuito diseñado para generar una señal de corriente en su salida proporcional a la señal de tensión presente en su entrada. En la *Figura 19*, se grafica esquemáticamente en violeta la red de conversión tensión-corriente. La siguiente ecuación describe la transferencia de toda la etapa:

$$I_{out} = \frac{20mA}{5V} * V_{in}$$

En la *Figura 35*, se grafica el diagrama eléctrico de la red de conversión tensión-corriente. El circuito integrado U107 XTR110 es que realiza la conversión tensión-corriente, mientras que el transistor Q101 es el que acciona la corriente a la salida de la etapa. En rojo se destaca la red de protección del lazo de corriente, la cual está diseñada para superar las normas descriptas en la sección 4.1.

El lazo de salida de esta etapa de conversión admite ser cargado con una impedancia máxima de 600Ω.



**Figura 35: Red de conversión a corriente**

### Fuente

En la *Figura 36* se observa el diagrama eléctrico de la fuente de alimentación del módulo conversor inductancia-corriente.

Los requisitos mínimos de diseño de la fuente de alimentación son los siguientes:

- +Vin: Tensión de alimentación de 24V de continua.
- Salida de  $\pm 15V$  de continua.
- Salida de +5V de continua.

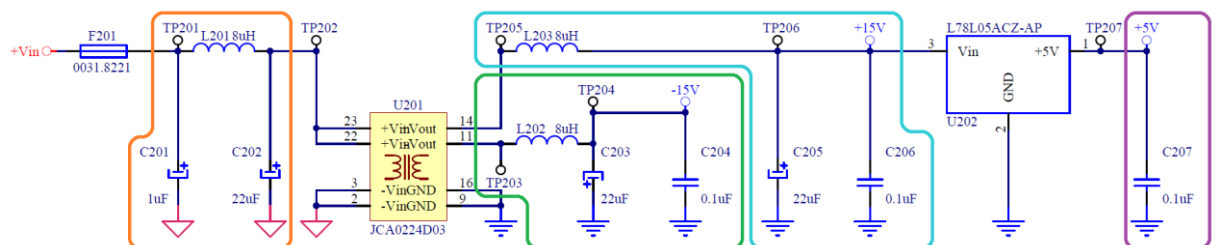
A fin de proteger los cables en caso de un cortocircuito, se coloca a la entrada de la fuente de alimentación el fusible F201.

El circuito U201 JCA0224D03 consiste en una fuente switching que requiere una alimentación de 24V de continua y provee a la salida las tensiones de  $\pm 15V$  de continua. El U201 provee aislación entre su entrada y la salida de 1500V de continua. También posee un alto grado de calificación frente a disturbios eléctricos.

En naranja se destaca el filtro de entrada del tipo  $\pi$ , diseñado para atenuar el ruido que la fuente U201 devuelve a la línea de alimentación.

En verde se destaca el filtro de salida para la alimentación de -15V. En celeste se destaca el filtro de salida para la alimentación de +15V. Estos filtros están diseñados para atenuar el ruido de alta frecuencia que genera el U201 en su salida.

El circuito U202 L78L05ACZ-AP consiste en un regulador lineal con salida de 5V de tensión continua. En violeta se destaca el filtro diseñado para atenuar el ruido a la salida del regulador U202.

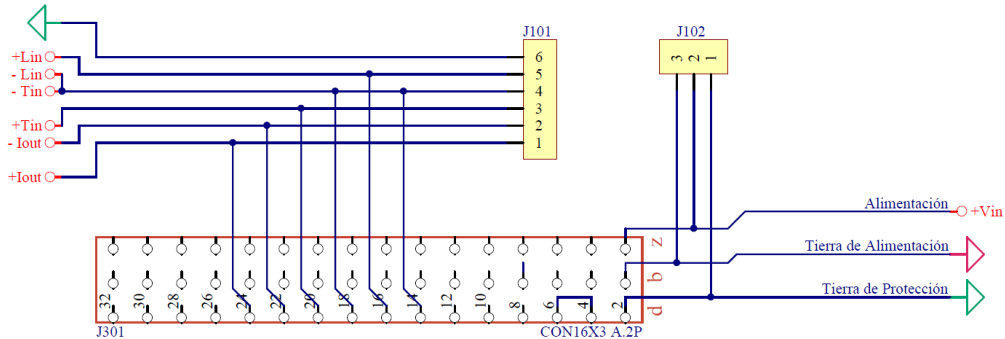


**Figura 36: Diagrama eléctrico fuente de alimentación**

## Conectores

En la Figura 37 se observa el diagrama de conexiones del módulo conversor inductancia-corriente. El módulo presenta dos formas posibles de conexión. Se pueden realizar las conexiones por medio de un conector EuroCard, en caso de montar el módulo en un rack, o por medio de una bornera, en caso de montar el módulo en un gabinete genérico.

La conexión entre el módulo conversor inductancia-corriente y el sensor inductivo se realizará utilizando un cable mallado de dos hilos de 20metros o más.



**Figura 37: Conectores módulo conversor inductancia-corriente**

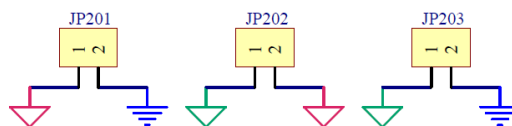
## **Puentes**

En la Figura 38 se observan los puentes disponibles en el módulo conversor inductancia-corriente.

Se debe montar el JP201 en caso de no requerir aislación entre la alimentación de entrada y el circuito de salida del módulo.

Se debe montar el JP202 en caso de requerir que la tierra de protección sea la misma que la de alimentación de entrada.

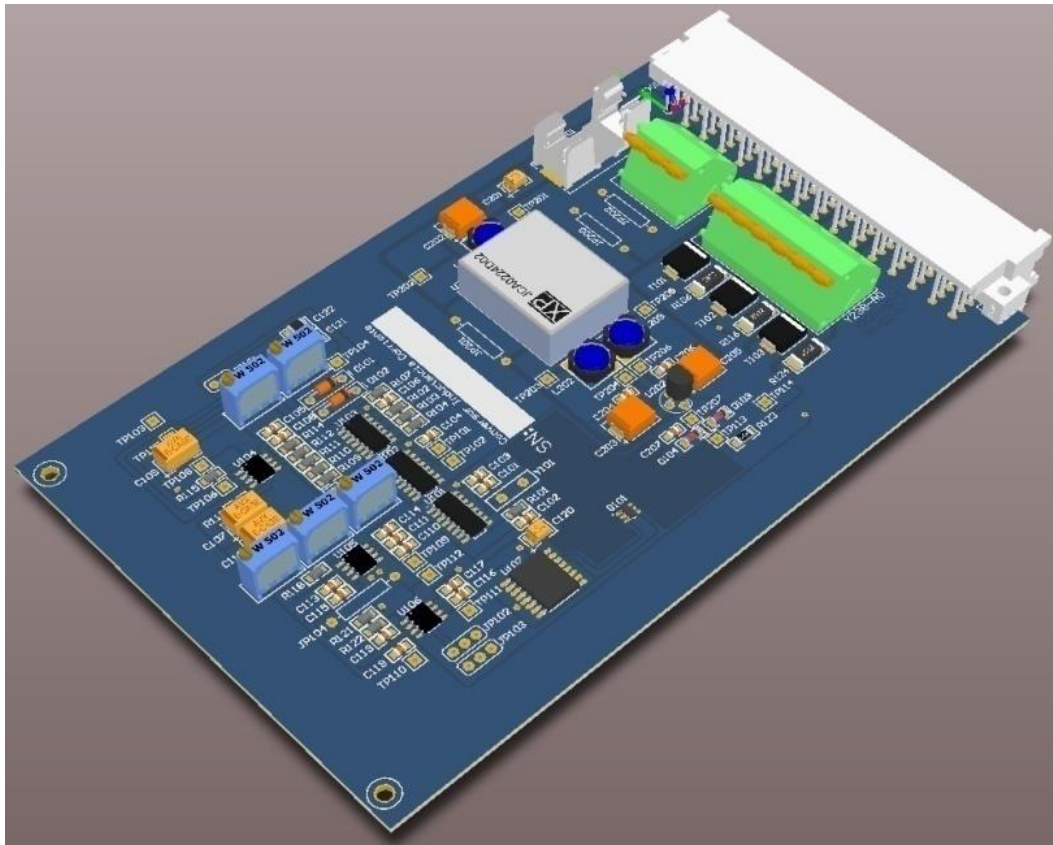
Se debe montar el JP203 en caso de requerir aislación entre la alimentación de entrada y el circuito de salida del módulo, y además se requiera que el gabinete de montaje se conecte a la tierra del circuito de salida del módulo.



**Figura 38: Puentes módulo conversor inductancia-corriente**

### 3.3. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL PCB

En esta sección se describen brevemente los criterios utilizados para el diseño y fabricación del circuito impreso del módulo convertor inductancia-corriente. En la *Figura 39* se observa el montaje final de los componentes sobre el circuito impreso.



**Figura 39:** Circuito impreso del módulo convertor inductancia-corriente

#### **Fusible**

En la *Figura 40* se observa el montaje del porta fusible. El porta fusible se ubica de manera que la conexión a la bornera y el conector EuroCard sea lo más corta posible. De este modo, en caso de ocurrir un corto circuito, las pistas sometidas al aumento de corriente se ubican en el borde del circuito impreso y ocupando la menor superficie posible.

### **Fuente aislada**

En la *Figura 41* se destaca en naranja el espacio destinado a servir de aislación entre la entrada de la fuente de alimentación y la salida. En esta zona se evita montar componentes a fin de mantener alta la aislación entre una etapa y otra.

### **Red de protección**

En la *Figura 40* se destaca en celeste la red de protección. Esta se ubica lo mas cerca posible de la bornera de conexión y del conector EuroCard. De este manera se logra evitar la progresión de cualquier descarga que pudiera ingresar por los cables de conexión dentro del módulo.

### **Simetría**

En la *Figura 40* se destaca en verde la ubicación de los componentes de la etapa de salida de la fuente de alimentación, donde se puede observar la simetría que guardan. Esta simetría facilita el seguimiento de las señales en el circuito, por ejemplo, si se sabe que en el TP206 se miden +15V de continua respecto de tierra, entonces, en el TP204 se deben poder medir -15V de continua correspondientes a la salida de la fuente aislada.

### **Area de disipación**

El transistor Q101 requiere un area de disipación unos pocos centímetros cuadrados. Dado que en este caso, no hay problemas de espacio, se eligió ocupar superficie de disipación solo del lado top del circuito impreso, evitando insertar vías y superficie de disipación en el lado bottom del circuito impreso. En la *Figura 41* se observa en rojo el área de disipación asociada al transistor Q101.

### **Capacitores con polaridad, diodos y circuitos integrados**

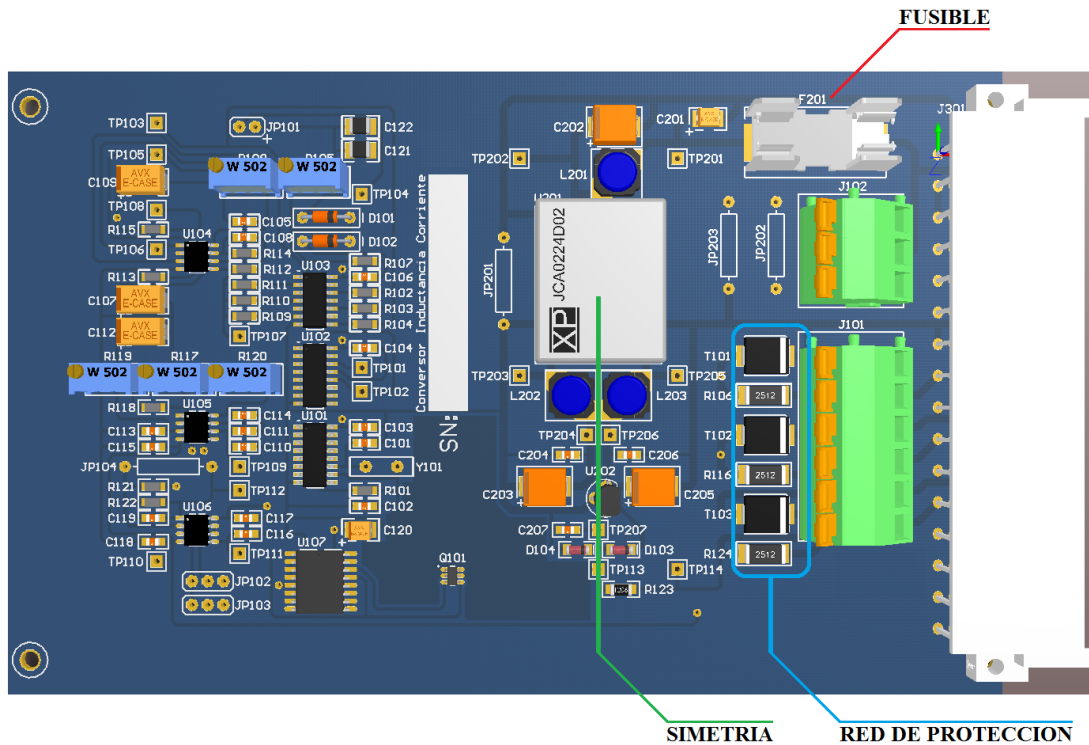
Como se observa en la *Figura 40*, todos los capacitores con polaridad se orientan en la misma dirección, con el terminal positivo a la izquierda. Del mismo modo, todos los diodos se orientan con el terminal de cátodo a la derecha y los circuitos integrados con el pin 1 hacia arriba. Esto facilita el montaje y minimiza errores, sobre todo si el montaje se realiza de forma manual.

### **Capacitores sin polaridad y resistencias**

Como se observa en la *Figura 40*, todos los capacitores sin polaridad y las resistencias se ubican de manera horizontal. Las resistencias en particular son montadas con los códigos en la misma dirección a fin de facilitar su lectura una vez montado el equipo.

### **Máscara de componentes**

Como se observa en la *Figura 40*, las leyendas con los nombres de los circuitos integrados, el fusible, y los conectores se ubican en la parte superior de los mismos. Para el resto de todos los componentes, las leyendas se ubican a la izquierda o la derecha de los mismos. Esto facilita el montaje en caso de que se realice de forma manual.



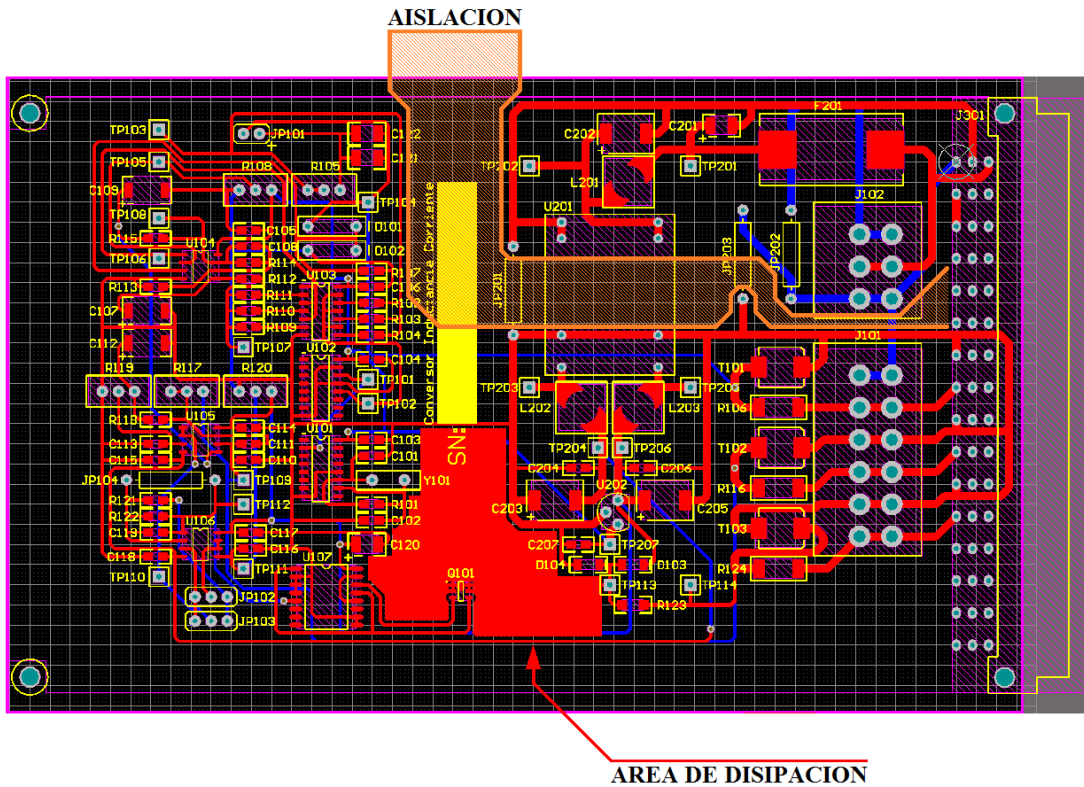
**Figura 40:** Montaje de los componentes módulo conversor inductancia-corriente

**Presets**

Todos los presets se montan de manera que al realizar el ajuste, el parámetro ajustado aumente su valor con el giro hacia la derecha, y disminuya con el giro hacia la izquierda.

**Número de serie**

Como se observa en la *Figura 40*, todos los circuito impresos poseen un area destinada a registrar el número de serie de fabricación.



**Figura 41:** Trazado del circuito impreso módulo conversor inductancia-corriente

## Capítulo 4 CALIFICACION DEL SISTEMA

---

El sistema de medición de nivel de los tanques de inyección de boro forma parte de uno de los sistemas de seguridad de la CNAII. Es por este motivo, que tanto el sensor inductivo, como el módulo conversor inductancia-corriente, requieren la calificación recomendada para todo módulo de instrumentación nuclear de seguridad al momento de ser instalado en la planta.

No se procedió a la calificación del sistema de medición cuyo diseño y fabricación se describe en este informe dado que este es un modelo prototipo. No obstante, tanto el sensor inductivo como el módulo conversor, fueron diseñados para superar las pruebas de calificación.

Como se explica en la sección capítulo 6, se diseñará una nueva versión mejorada del módulo conversor inductancia-corriente, basada en la experiencia del diseño y fabricación del módulo prototipo.

Esta nueva versión evolucionada del sistema sí será calificada, dado que se prevé la instalación de 16 pares sensor-módulo en la planta.

### 4.1. ENSAYOS APLICABLES AL SISTEMA

---

En esta sección se describen los ensayos recomendados para la calificación del sistema.

Se pondrá un énfasis especial en la calificación mecánica del sensor inductivo. Esto se debe a que el sensor inductivo va montado sobre la planta, con lo cual está sometido a exigencias mecánicas mayores respecto del módulo conversor. Por otro lado, el sensor que está actualmente instalado en la planta, posee una calificación no acorde con la normativa actualmente vigente.

Para el caso del módulo conversor, el énfasis estará puesto en las pruebas de EMI. El módulo conversor posee una conexión al sensor inductivo de unos 20 metros o mayor. Esta conexión se realiza a través de la planta hasta el tanque de inyección de boro. Es por este motivo, que no se puede desestimar la prueba de inmunidad a transitorios rápidos / ráfagas eléctricas (IEC 61000-4-4) para los cables de señal.

A continuación se mencionan los ensayos propuestos para la calificación del sistema:

### **Ensayos ambientales**

- Pruebas operativas
  - Ciclado térmico (IEC 60068-2-14)
  - Calor húmedo constante (IEC 60068-2-78)
  - Estabilidad de funcionamiento (Requerido por NA-SA)
- Pruebas no operativas
  - Calor y humedad (IEC 60068-2-3)
  - Frio seco (IEC 60068-2-1)

### **Ensayos mecánicos**

- Pruebas operativas
  - Sísmicos (IEC 60068-2-6, IEC 60068-3-3)
  - Estrés operacional (IEC 60068-2-6)
  - Oscilaciones operacionales (IEC 60068-2-6)
- Pruebas no operativas
  - Impacto (60068-2-27)

### **Ensayos de EMI (IEC 62003, IEC 61000-4)**

Prueba de inmunidad a campos electromagnéticos radiados de alta frecuencia (IEC 61000-4-3 / IEC 61000-4-20)

Prueba de inmunidad a disturbios conducidos inducidos por campos de radiofrecuencia corriente/tensión (61000-4-6)

Prueba de inmunidad a transitorios rápidos/ráfagas eléctricas (IEC 61000-4-4)

Prueba de inmunidad a descargas electrostáticas (IEC 61000-4-2)

Prueba de inmunidad a ondas de choque de corriente / tensión (IEC 61000-4-5)

## Capítulo 5 PRUEBAS FUNCIONALES

---

En esta sección se describen brevemente las pruebas funcionales realizadas sobre el prototipo del sistema de medición de nivel (módulo conversor inductancia-corriente y el sensor inductivo).

### 5.1. PRUEBA EN BANCO

---

Se ejecutó el “*Protocolo de Ajuste y Ensayo de Funcionamiento*” sobre el prototipo del módulo conversor inductancia-corriente y el sensor inductivo. Para ello se montó la bobina transductora dentro de la mecánica del sistema sensor JDJ30CL001 provista en la CNAII. De este modo se minimizan los errores que se pudieran producir durante la calibración por causa de la interacción de la bobina con la mecánica del sistema.

### 5.2. PRUEBA EN PLANTA

---

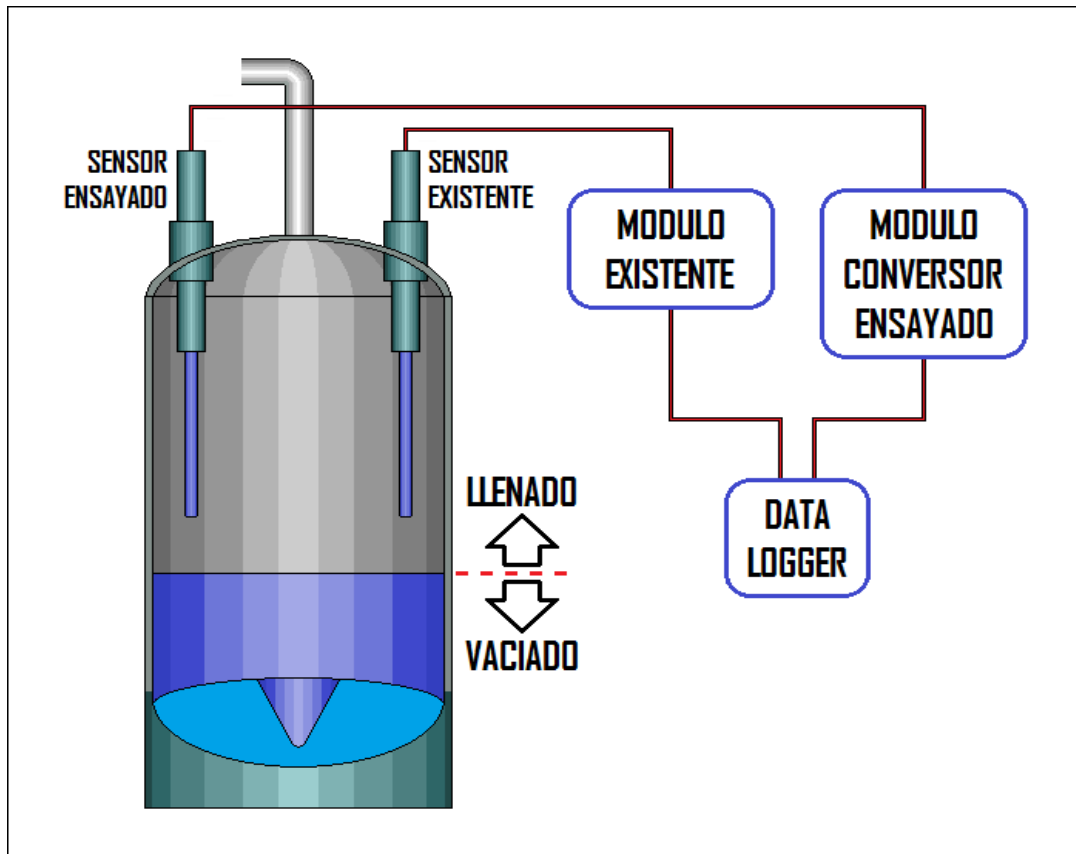
Una vez calibrado y verificado en banco el correcto funcionamiento del sistema prototipo de medición de nivel, se llevó a cabo una prueba instalando el sistema sobre la planta funcionando. El objetivo de esta prueba fue verificar que la salida del sistema prototipo arroja resultados comparables con los que se registran a la salida del sistema existente en la planta.

En la *Figura 42* se observa el montaje del sensor inductivo prototipo sobre uno de los 8 tanques de inyección de boro. A este sensor se lo denomina “*sensor ensayado*”. Este se conecta al módulo conversor-inductancia corriente prototipo por medio de cable mallado de 20 metros de largo.

A la derecha del sensor ensayado se observa el montaje del “*sensor existente*”. Este sensor esta conecta a la instrumentación de la planta. Ambos forman parte del sistema con el que actualmente se mide el nivel en los tanques de inyección de boro de la central.

Dado que el sistema prototipo, no poseía calificación al momento de realizarse la prueba sobre la planta, se conectó la salida del mismo a un equipo adquirente de datos y no a los circuitos de la planta. En ningún caso se permite que un sistema no calificado se conecte a los circuitos del reactor, de este modo, se evita que un mal funcionamiento en un módulo que posee una calificación parcial pueda provocar alguna perturbación sobre la planta.

El equipo adquisidor de datos también registró la salida generada por el sistema existente durante la prueba en planta.

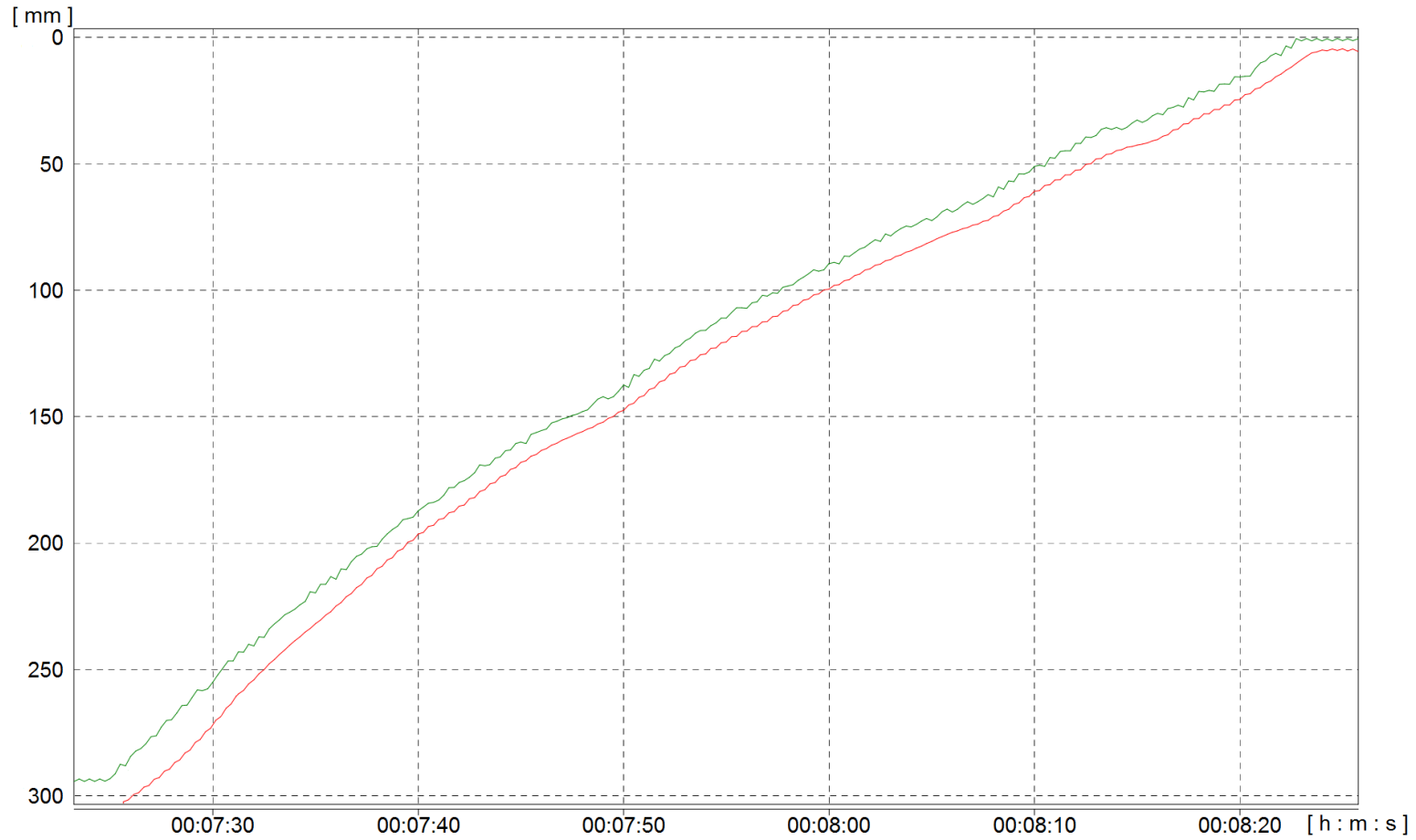


**Figura 42:** Esquema de la prueba en planta

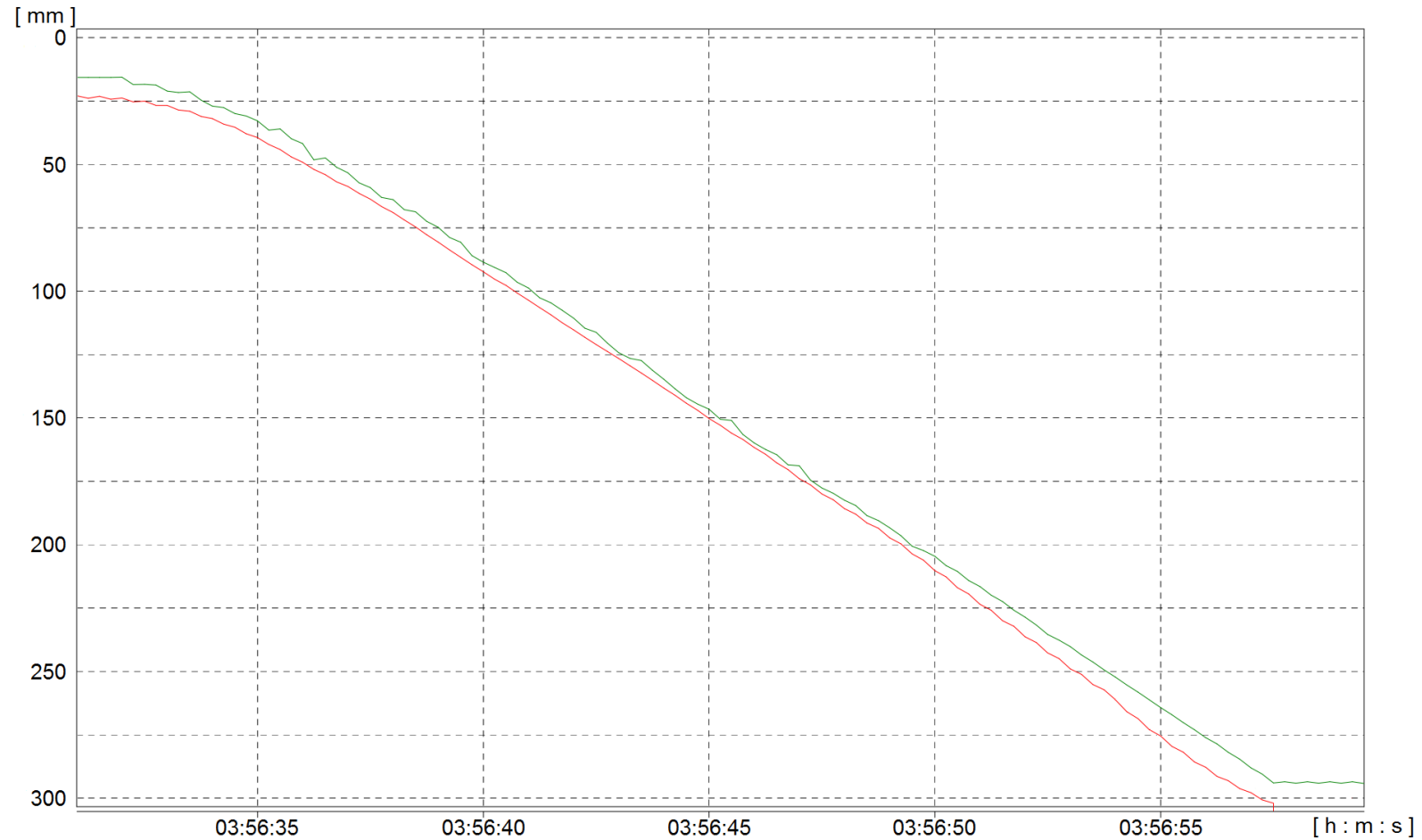
En la Figura 43 se observa la secuencia de llenado del tanque. En rojo se grafica la salida del sistema ensayado (módulo conversor inductancia-corriente y el sensor inductivo), mientras que en verde se grafica la salida del sistema existente instalado en la planta.

En la Figura 44 se observa la secuencia de vaciado del tanque. En rojo se grafica la salida del sistema ensayado (módulo conversor inductancia-corriente y el sensor inductivo), mientras que en verde se grafica la salida del sistema existente instalado en planta.

En la Figura 43 y Figura 44 se observa que la salida del sistema existente instalado en la planta posee saltos discretos, característicos de la naturaleza digital del sistema. Estos saltos no se observan para el caso del sistema de medición de nivel prototipo, obteniéndose una señal más suave y sin saltos discretos.



**Figura 43:** Secuencia de llenado del tanque



**Figura 44:** Secuencia de vaciado del tanque

## Capítulo 6 EVOLUCION DEL SISTEMA

---

En esta sección se describen brevemente la evolución del sistema hacia una versión mejorada.

### 6.1. LIMITACIONES DEL MODULO CONVERSOR

---

A continuación se listan las limitaciones de diseño observadas en el módulo conversor inductancia-corriente:

- El módulo está diseñado con electrónica convencional no programable, esto mantiene alta su confiabilidad, pero requieren numerosos ajustes para su implementación.
- Debido a que el módulo posee numerosos ajustes, el protocolo de calibración posee un prolongado tiempo de ejecución.
- No se considera admisible que el método de calibración requiera un elevado tiempo de ejecución, ya que el protocolo de calibración debe realizarse en el “taller caliente” dentro de la zona controlada de la central.

### 6.2. MEJORAS DEL MODULO CONVERSOR

---

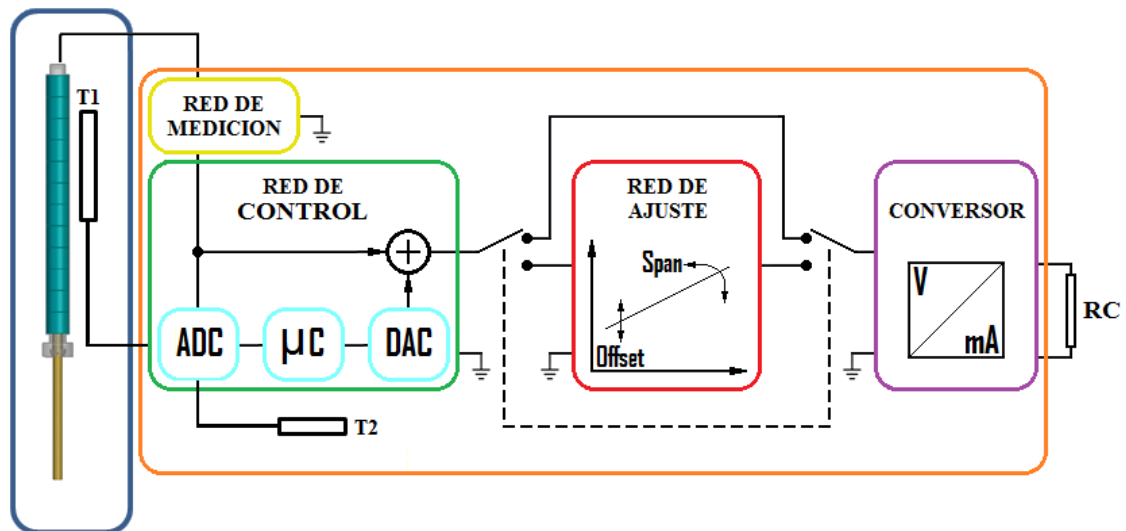
A continuación se listan las mejoras y cambios introducidos en el diseño del módulo evolucionado:

- El módulo evolucionado realizará el procesamiento de las señales de manera digital, utilizando para ello un procesador de aplicaciones industriales de seguridad.
- El nuevo módulo poseerá un protocolo de calibración y ensayo funcional sencillo, con el que el ajuste del equipo se podrá realizar en un lapso de tiempo acotado.



### **Descripción del Funcionamiento**

En la *Figura 45* se grafica esquemáticamente el diagrama en bloque del sistema de medición evolucionado. En azul se grafica el sensor inductivo, y en naranja se grafica el diagrama en bloque del módulo conversor inductancia-corriente.



**Figura 45:** Evolución del módulo conversor inductancia-corriente

### **Red de medición**

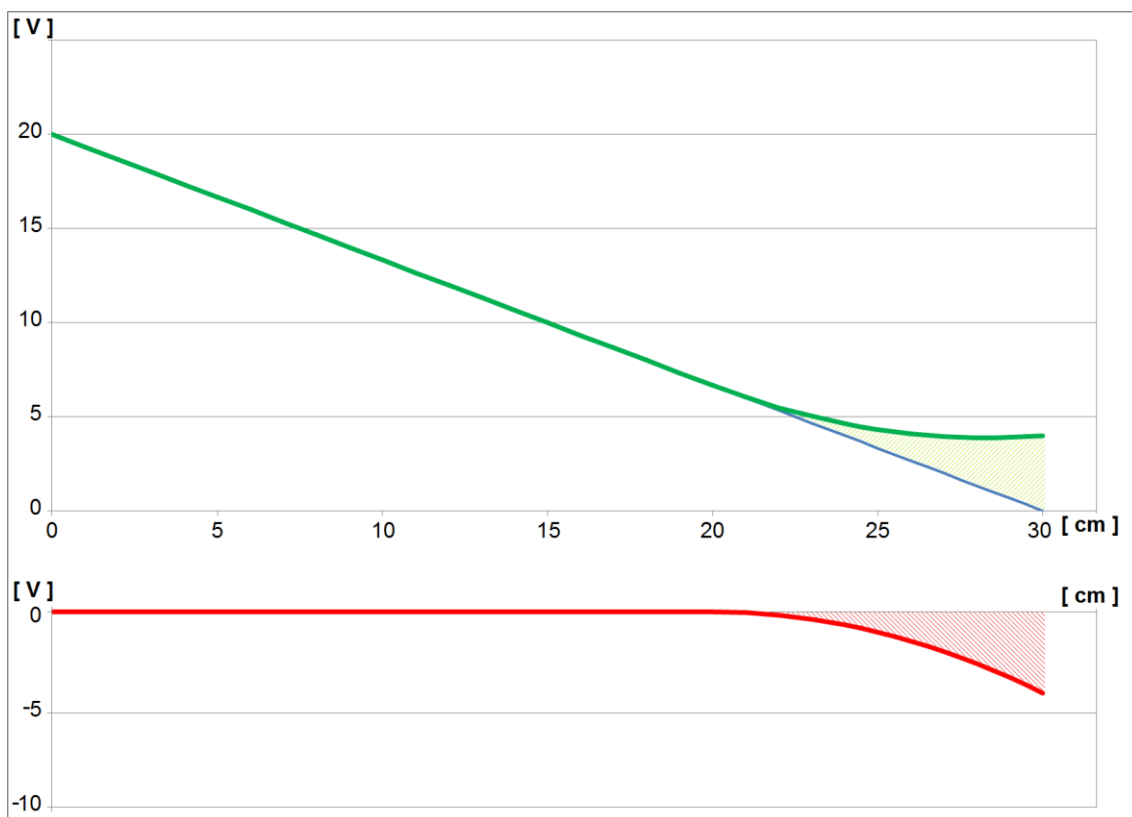
En la *Figura 45* se grafica en amarillo la red de medición utilizada para transformar el valor de inductancia medido sobre la bobina, en un valor de tensión continua proporcional a la inductancia medida. Esta red es igual a la descrita en la sección 3.2.

### **Red de control**

En la *Figura 45* se destaca la red de control. Esta posee tres etapas, el conversor analógico digital (ADC), el microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ), y el conversor digital analógico (DAC).

El ADC toma la señal que provee la red de medición y la digitaliza. Luego el  $\mu\text{C}$  toma los valores digitalizados y genera una señal que compensa de desviación por alinealidad. Finalmente, el DAC toma los valores digitales generados por el  $\mu\text{C}$  y los convierte nuevamente a una señal analógica, la cual puede ser sumada a la señal que genera la red de medición.

En la *Figura 46* se grafica el procesamiento que realiza la red de control sobre la señal presente en su entrada. En azul se grafica la respuesta lineal esperada a la salida de la red de control. En verde se grafica la señal generada por la red de medición, la cual presenta una alinealidad que debe ser corregida. En rojo se grafica la señal generada por la cadena ADC- $\mu$ C-DAC. Esta señal es igual en magnitud a la diferencia entre la respuesta lineal esperada y la señal en la entrada de la red de control, pero de signo opuesto. De esta manera al ser sumadas estas dos señales, se obtiene a la salida de la red de control una respuesta totalmente lineal.



***Figura 46: Funcionamiento del módulo evolucionado***

El ADC también posee dos entradas adicionales, una de ellas conectadas al sensor que mide la temperatura sobre el sensor inductivo y la otra conectada al sensor que mide la temperatura sobre el módulo conversor. Con estas dos señales digitalizadas, el  $\mu$ C puede compensar las desviaciones que pudieran ser introducidas por la variación de temperatura sobre el sensor inductivo o sobre el módulo conversor inductancia –corriente.



Instituto de Tecnología Nuclear

### **Red de ajuste**

En la *Figura 45* se destaca en rojo la red de ajuste. Esta red es igual a la descrita en la sección 3.2, solo que se le adiciona una conexión de bypass.

La red de ajuste queda desconectada en caso de utilizarse el bypass. Para esta configuración, el ajuste de la señal debe realizarse por medio del  $\mu\text{C}$ . En caso de no utilizarse el bypass, la calibración del lazo de corriente se hace por medio de la red de ajuste, con el mismo procedimiento que el descrito en la sección 3.2.

### **Red de conversión tensión-corriente**

En la *Figura 45* se destaca en violeta la red de conversión tensión-corriente. Esta red es igual a la descrita en la sección 3.2.



**UNSAM**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
SAN MARTÍN

## CONCLUSIONES

---

A continuación se listan las conclusiones de este trabajo:

- Se logró diseñar y construir un sistema prototipo de medición de nivel para los tanques de inyección de boro de la CNAII. Este sistema sirve como reemplazo director del que actualmente se encuentra instalado en la planta.
- Se ensayó el sistema de medición prototipo con la planta funcionando. Se verificó que el sistema prototipo se comporta de manera idéntica al sistema de medición instalado en la central.
- Se diseñó el sistema prototipo para superar los ensayos de calificación típicos impuestos a los módulos de instrumentación nuclear.
- Se documentó el proceso de diseño y fabricación del sistema prototipo cumpliendo con los estándares impuestos por la Norma IRAM-ISO 9001:2015.
- El sistema prototipo satisface las especificaciones requeridas por el cliente. No obstante, se observa que la imposición de utilizar lógica no programada deriva en un tiempo de calibración prolongado. Por este motivo, se plantea la necesidad de diseñar una versión evolucionada del sistema. Esta nueva versión realizará el procesamiento de las señales de manera digital y poseerá un protocolo de calibración simple y de breve ejecución.
- La versión evolucionada del sistema de medición servirá como base para la fabricación de 16 pares de sensores inductivos y módulos conversores, los cuales serán instalados en la planta reemplazando la instrumentación que actualmente se encuentra en operación.

## REFERENCIAS

---

- [ 1 ] S. Glasstone, A. Sesonske, “Nuclear Reactor Engineering”, pringer Science + Business Media Dordrecht, Fourth Edition (1994)
- [ 2 ] L. Marzano, “Especificación de Requisitos de Diseño del Prototipo de la Bobina Transductora (PY-205)”, CNEA ET-06Y-206 Rev. 0 (2017)
- [ 3 ] L. Marzano, “Especificación de Requisitos de Diseño del Prototipo del Conversor Inductancia a Corriente (PY-205)”, CNEA ET-06Y-207 Rev. 0 (2017)
- [ 4 ] J. Zalcman, “Guía de Pruebas y Ensayos para Equipos y Módulos destinados a Instalaciones Nucleares”, CNEA IN-06Y-121 Rev. 3 (2017)
- [ 5 ] B. Betoño, “Ensayos realizados a la Bobina de Inductancia Variable del Sensor GREFE (PY195)”, CNEA IN-06Y-197 Rev. 0 (2016)
- [ 6 ] D. Alonso, “Ensayo del Sistema de Medición de Nivel en los Tanques de Boro (PY205)”, CNEA IN-06Y-293 Rev. 0 (2017)
- [ 7 ] D. Alonso, “Plano Subconjunto Eléctrico Bobina Transductora J159-A0 (PY-205)”, CNEA PL-06Y-1337 Rev. 0 (2017)
- [ 8 ] D. Alonso, “Plano Módulo Conversor Inductancia Corriente E102-A0 (PY-205)”, CNEA PL-06Y-1338 Rev. 0 (2017)
- [ 9 ] D. Alonso, “Plano Circuito Impreso Módulo Conversor Inductancia Corriente Y238-A0 (PY-205)”, CNEA PL-06Y-1193 Rev. 0 (2017)
- [ 10 ] D. Alonso, “Ajuste y Ensayo de Funcionamiento del Módulo Conversor Inductancia-Corriente E102-A0 (PY-205)”, CNEA PPD-06Y-335 Rev. 0 (2017)
- [ 11 ] Schneider, “Especificación Sistema de Inyección de Boro”, CNAII JDJ-K-010689-0 (1989)
- [ 12 ] Schneider, “Plano Sistema de Inyección de Boro”, CNAII K3631-P-1870-242000-501/0 (1983)