

SISTEMA PARA LA DETECCIÓN DEL NIVEL DE NITRÓGENO LÍQUIDO MEDIANTE SENSOR SUPERCONDUCTOR

Jorge Luis Cabrera*, Roberto Alfonso Battista, Gerardo Ángel Battaglia, Fabián Norberto Moretti, Edgardo Porral, Iván Reyes.

Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. Avda. Ramón Franco 5050 (1874) - Villa Domínico. Provincia de Buenos Aires

** Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida
jcabrera@fra.utn.edu.ar*

Resumen

Se presenta el proyecto de un sistema para la detección del nivel de nitrógeno líquido mediante sensor superconductor, desarrollado y construido totalmente en el Laboratorio de Tecnología Biomédica de la FRA, y de acuerdo a las pautas establecidas en el PID reconocido por el código UTN1526 en el ámbito de la Universidad.

Este sistema tiene como objetivo supervisar de un modo confiable que el nivel del nitrógeno líquido en los contenedores criogénicos no baje del mínimo establecido, a fin de mantener las muestras biológicas en condiciones óptimas de criopreservación.

El novedoso sensor se elaboró mediante una bobina con núcleo de material superconductor de alta temperatura del tipo YBaCuO, que presenta una característica diamagnética cuando se encuentra debajo de su temperatura crítica, en este caso, cuando se lo ubica dentro de termo criogénico de nitrógeno líquido. En esta situación, la bobina manifiesta una disminución en su inductancia inhibiendo una alarma mediante el circuito electrónico apropiado. Cuando por falta del nitrógeno líquido la temperatura supera la crítica, la inductancia de la bobina aumenta rápidamente, disparando la alarma.

Palabras clave: núcleo superconductor, YBaCuO, nitrógeno líquido, termo criogénico, alarma.

Abstract

It is presented the project of a system for the detection of liquid nitrogen level by sensor superconductor, fully developed and built in the Biomedical Technology Laboratory of FRA, PID project recognized under code UTN1526 within the environment of the University.

This system aims to monitor in a reliable way that the level of liquid nitrogen in cryogenic containers is not lower than the established minimum, in order to maintain the biological samples in optimum conditions of cryopreservation.

The new sensor was developed through a coil core material YBaCuO type high-temperature superconductor, which introduces a diamagnetic feature when it is below its critical temperature, in this case, when it is located inside a cryogenic liquid nitrogen thermos. In this situation, coil showed a decrease in its inductance thus inhibiting an alarm through the proper electronic circuit. When due to lack of liquid nitrogen the temperature exceeds the critical point, the inductance of the coil increases rapidly, triggering the alarm.

Keywords: superconductor core, YBaCuO, liquid nitrogen, cryogenic thermo, alarm.

Objetivos

El objetivo principal se estableció en desarrollar un novedoso sistema de detección del nivel de nitrógeno líquido (NL) en los termos criogénicos, del tipo de los empleados para la preservación de muestras biológicas por largos períodos, mediante un control riguroso de detección del nivel mínimo de NL que asegure el mantenimiento de la temperatura, a fin de no deteriorar las condiciones biológicas de las muestras.

Asimismo, se determinó desarrollar el sensor propiamente dicho con material superconductor y el circuito electrónico asociado de alta confiabilidad y de costo reducido.

Introducción

En la actualidad se han desarrollado diversos métodos para controlar el nivel de NL dentro de un tanque criogénico, desde los más elementales como la introducción de una varilla de material poroso que evidencia el nivel con la escarcha formada luego de extraído, hasta sistemas automáticos con diferentes sensores a las bajas temperaturas como criodiodos (sumamente caros), crio-resistores que mediante su cambio de resistencia detectan, circuito mediante, el nivel aproximado del NL (éstos tienen bajo nivel de confiabilidad en indicar el cambio de fase líquido/gas), termistores especiales, etc.

En la búsqueda de mejoras, recientemente se han desarrollado sensores capacitivos, empleando la diferencia de la constante dieléctrica del NL y nitrógeno gaseoso.

Asimismo, ultimamente se emplean superconductores de alta temperatura crítica (HTS) como elemento sensor, haciendo uso del cambio brusco de su resistencia eléctrica cuando cambia de estado en el entorno de su temperatura crítica, aunque también posee algunas dificultades en la elaboración de estos sensores.

Teniendo en cuenta que el Laboratorio de Tecnología Biomédica de la UTN- FRA ha elaborado superconductores cerámicos de alta temperatura del tipo YBaCuO, (Cabrera, J; Battista, R (2009)), se encaró un proyecto de investigación que incluye un sensor elaborado con este superconductor.

Desarrollo

El sistema elaborado consta básicamente del sensor detector y los circuitos electrónicos asociados, incluyendo la alarma de bajo nivel de NL.

Sensor detector: fue construido mediante una bobina con núcleo de material superconductor YBaCuO elaborado en nuestro laboratorio. Para la detección de la presencia del NL, se utilizó el fuerte diamagnetismo del superconductor cuando se encuentra a temperatura inferior de su temperatura crítica, para reducir la inductancia. Teniendo en cuenta que la inductancia de una bobina varía de acuerdo a la fórmula:

$$L = L_0 (1 + X)$$

Donde: L=inductancia resultante

L_0 =inductancia con núcleo de aire

X=susceptibilidad magnética

Debido al comportamiento diamagnético de los superconductores cuando se encuentran debajo de su temperatura crítica, su susceptibilidad magnética tiene valores negativos, determinando una menor inductancia resultante. Cabe destacar, que el núcleo de YBaCuO por encima de su

temperatura crítica presenta susceptibilidad magnética nula, por lo que la inductancia de la bobina se considera igual a L_0 .

A efectos de verificar la factibilidad del uso del superconductor YBaCuO como material del núcleo, se midió la temperatura dentro de un termo criogénico de 18 litros a diferentes alturas desde el nivel del pelo del NL que se encontraba a 5 cm del fondo, ver figura 1.

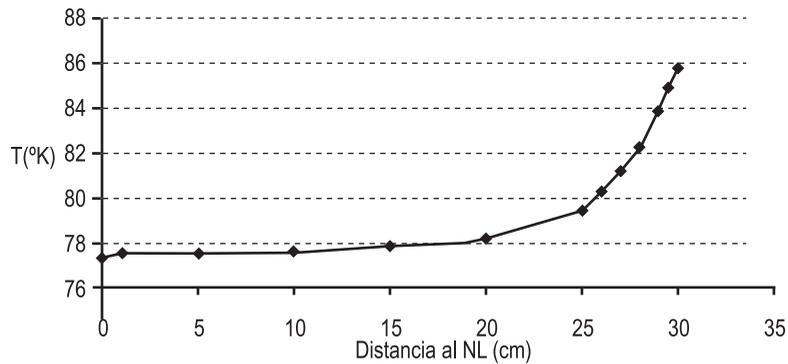


Figura 1. Gráfico de la temperatura dentro de un termo criogénico típico de 18 litros.

Es destacable que a 30 cm del NL, donde comienza el cuello que aloja el largo tapón, se midió una temperatura de 86 °K. El material superconductor elaborado en nuestro laboratorio, tiene una temperatura crítica que varía entre 89 y 90 °K y por lo tanto no saldría de la superconducción mientras en el termo hubiera NL, resultando muy riesgoso para la preservación de las muestras biológicas.

Esta situación, llevó a la búsqueda de procedimientos adecuados para la disminución de la temperatura crítica del YBaCuO. De la bibliografía consultada (Abo-Arais, A. y El-Sayed, M. 2005), que investigaron los resultados de la adición de Si sobre las propiedades de YBaCuO y los trabajos de (D Palles, et al.1998) sobre los efectos del agregado de Ca en las características de los superconductores, se decidió la elaboración de muestras de YBaCuO incorporando diferentes dopajes de Ca, con porcentajes de 2, 10 y 12%.

Realizados los ensayos de susceptibilidad magnética sobre estas muestras, las características más apropiadas a nuestra necesidad se obtuvieron con un 2% de dopaje de Ca, ver figura 2.

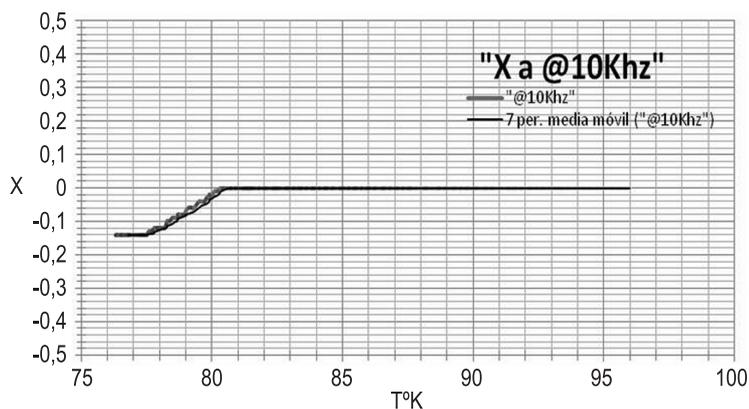


Figura 2. Medición de la susceptibilidad magnética del YBaCuO dopado con 2% de Ca y a una frecuencia de 10 KHz.

Con estos datos se pudo determinar la temperatura crítica de 78,5 °K este material mediante la derivada de la susceptometría, resultando el más apropiado superconductor para la elaboración del sensor, ver figura 3.

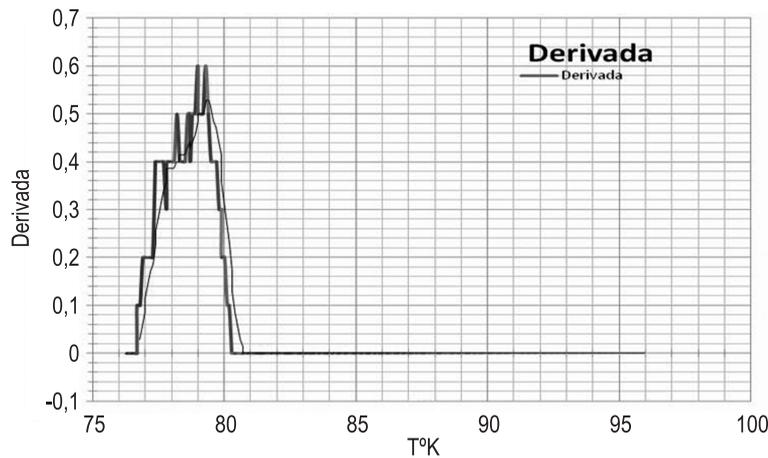


Figura 3. Curva de la derivada de la susceptometría del YBaCuO dopado con 2% de Ca.

Los perfiles térmicos empleados fueron: una calcinación a 900°C durante 12 Hs, sinterización de 3 ciclos a 950°C durante 12 Hs y una oxigenación a 480°C durante 16 Hs.

Con este material moldeado en forma cilíndrica se elaboró la bobina sensora. Los detalles constructivos se pueden apreciar en la figura 4.

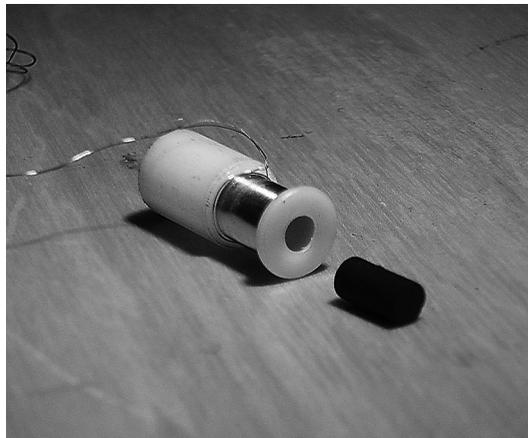


Figura 4. Detalle de bobina sensora.

La bobina se arrolló sobre una forma elaborada en teflón, permitiendo colocar fácilmente el núcleo superconductor y también el anclaje a una varilla soporte.

Circuito electrónico: un diagrama en bloques, permite rápidamente apreciar las principales características del circuito empleado. Ver figura 5.

Cabe destacar que, obviamente pueden implementarse gran variedad de circuitos, con la única condición que sean sensibles a los cambios de inductancia en la bobina sensora.

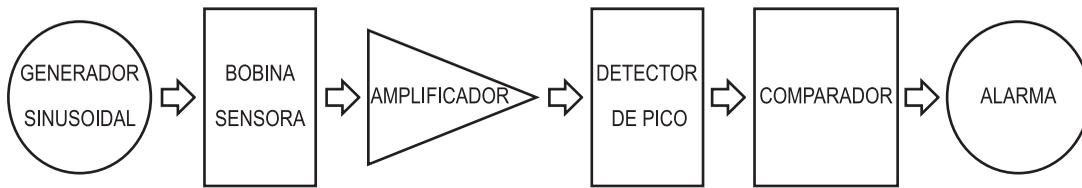


Figura 5. Diagrama en bloques del circuito electrónico implementado.

El generador de onda senoidal entrega una tensión de 4 Vpp a una frecuencia de 500 KHz. A través de una alta impedancia se alimenta la bobina sensora con corriente constante produciendo una caída de tensión proporcional a la inductancia. Esta tensión presente en la bobina variará en función del estado superconductor o no del núcleo de YBaCuO, presentando un mínimo de tensión en el estado superconductor. El amplificador permite elevar los valores de tensión para poder excitar adecuadamente el detector de pico y obtener una señal de tensión continua proporcional a la tensión sobre la bobina sensora. Finalmente un comparador ajustable entrega una salida “on” encendiendo la alarma cuando la temperatura sobre la bobina sensora supera aproximadamente los 80 °K.

La alarma es del tipo fonoluminosa, aunque también puede fácilmente implementarse una salida auxiliar para operar automáticamente una bomba de reposición del NL. Ver figura 6.

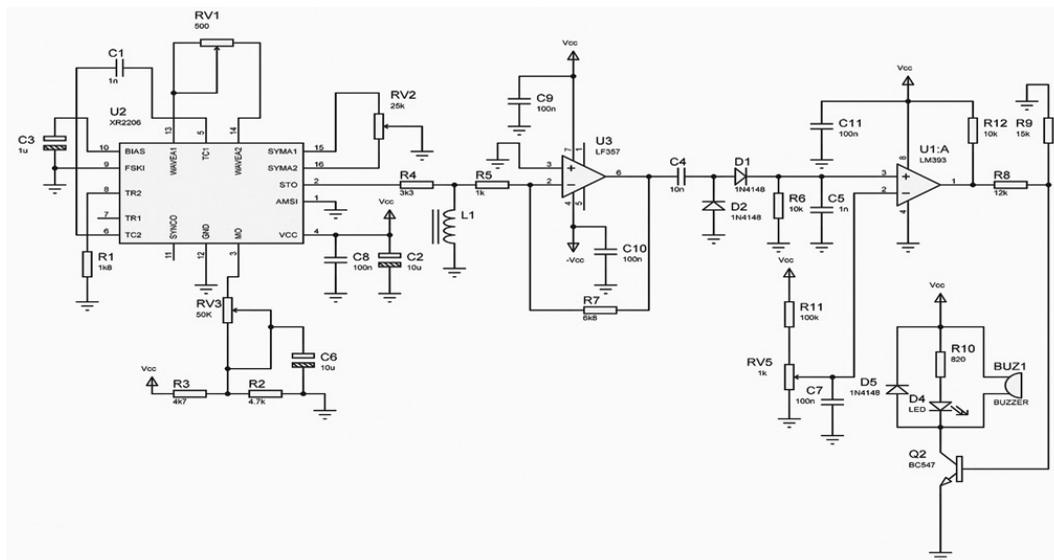


Figura 6. Diagrama esquemático del circuito empleado.

Para la instalación de la bobina sensora dentro del termo, se la fijó a un delgado tubo de acrílico en un extremo y se ancló el otro en el tapón, por su interior se pasó el cable que se conectó con el circuito electrónico alojado en un gabinete. Ver figuras 7 y 8.

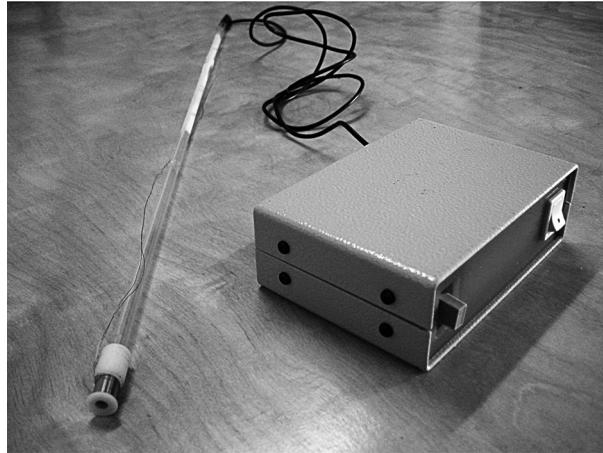


Figura 7. Fotografía del prototipo terminado.

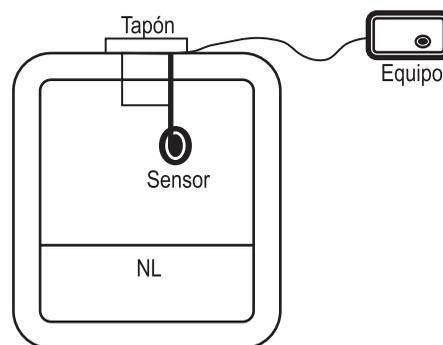


Figura 8. Esquema de la instalación del sensor en el termo.

Resultados

Las pruebas realizadas sobre el termo criogénico de 18 litros disponible en nuestro laboratorio, resultaron altamente satisfactorias, evidenciando un excelente desempeño y una alta confiabilidad.

Asimismo es destacable el buen comportamiento del núcleo superconductor frente a las sollicitaciones mecánicas debidas a los grandes cambios de temperatura a los que fue sometido, sin manifestaciones macro y microscópicas de rajaduras o deformaciones.

Conclusiones

El uso de los materiales superconductores de alta temperatura cerámicos tipo YBaCuO para aplicaciones tecnológicas es, en nuestra opinión, una muy importante alternativa de solución frente a diversos problemas que se presentan frecuentemente en ingeniería. Esto se debe principalmente

a las características eléctricas y magnéticas muy especiales de estos superconductores y a su creciente disponibilidad.

El presente proyecto es un ejemplo concreto del empleo de estos nuevos materiales como solución alternativa a las del arte previo. Esta nueva aplicación, ameritó la presentación de la solicitud de Patente de Invención ante el INPI por parte de nuestra facultad mediante el Exp.: 20100102245 y bajo el título: "*Sistema y procedimiento de detección del nivel de nitrógeno líquido*", Publicación AR082750A1 - Boletín 721 del 09/01/2013. Finalmente, obtuvo la correspondiente Patente de Invención por un período de 20 años.

Agradecimientos

A la Traductora Mariana Cabrera por la revisión del Abstract.

Este proyecto ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad y la correspondiente de nuestra Facultad.

Referencias

CABRERA, J; BATTISTA, R., (2009). "*Elaboración de superconductores de alta temperatura*". Revista Tecnológica, Universidad & Empresa- (ISSN 1666-6909), N° 32, p. 46 a 52.

ABO-ARAI, A Y EL-SAYED, M, (2005). "*Effect of Si on the superconducting properties of high-Tc YBCO in bulk and thin film forms*". Alexandria Engineering Journal, Vol 44, N°4, p. 681 a 684.

D PALLES, et al (1998). "*Effect of Ca substitution on the structure and the Raman active phonons in $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$* ". J. Phys.: Condens. Matter 10, p. 2515 a 2524.