

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
ANTICONGELANTE PARA TANQUE CRIOGENICO DE CLÍNICA LA ESTANCIA
S.A.**

JONHATTAN ALBERTO JOJOA BOLAÑOS

Universidad del Cauca

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación

Programa de Ingeniería Física

Popayán – Cauca

2012

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
ANTICONGELANTE PARA TANQUE CRIOGENICO DE CLÍNICA LA ESTANCIA
S.A.**

JONHATTAN ALBERTO JOJOA BOLAÑOS
Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Física

Director GERMAN ARTURO BACCA

Ingeniero mecánico

Universidad del Cauca

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación

Programa de Ingeniería Física

Popayán – Cauca

2012

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por escuchar mis peticiones y derramar bendiciones sobre mi vida.

A mis padres y hermanas por todo su amor y apoyo incondicional.

A mi hijo por ser el motivo y la razón para alcanzar mis metas.

A mi esposa por darme el valor para continuar caminando sin importar los obstáculos.

A mi abuela por nunca dejarme solo y ser mi guía en la fe y el amor.

Gracias por formar parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar siempre presente en mi vida, por darme la oportunidad maravillosa de realizar mis sueños al lado de una familia llena de amor.

A los profesores del Departamento de Física de la Universidad del Cauca por sus valiosas enseñanzas, en especial al Ing. Germán Bacca y la física Claudia Camargo por haber dedicado parte de su tiempo en asesorías a fin de culminar con éxito este trabajo.

Al Mg. Luis Fernando Echeverry gracias por ser más que un profesor, un amigo y un apoyo incondicional en el transcurso de toda la carrera.

A Clínica La Estancia por haber permitido realizar esta pasantía en su institución; a la Ing. Yasmín Imbachí por haberme acogido en el área de ingeniería, por sus enseñanzas y consejos tanto laborales como personales, por ser más que mi jefa una gran amiga, por hacer que mi experiencia en “mi primer trabajo” haya sido una de las más agradables y gratificantes de nuestras vidas.

Al Ing. Milton Conde gracias por su paciencia, dedicación, enseñanzas y consejos porque sin su ayuda, mi camino por Clínica La Estancia hubiera sido algo difícil.

A Edwin Bastidas, y Alexander Narváez por su amistad, dedicación, colaboración, valiosos consejos y grandes momentos compartidos.

A todo el personal del área de mantenimiento y a la Arquitecta Cristina Gómez por ofrecerme su amistad y conocimientos.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABLAS.....	v
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	9
2.1. Aspectos Básicos del Mantenimiento Preventivo.	10
2.1.1. Acciones Programadas	10
2.1.2. Supervisión.....	10
2.1.3. Registro de Incidencias	11
2.2. Procedimiento General de las Rutinas de Mantenimiento Preventivo.	11
2.3. Mantenimiento de tanque de oxígeno líquido.	11
3. TANQUES PARA OXÍGENO LÍQUIDO	13
3.1. Operación.	15
3.2. Gas licuado.....	15
3.3. Capacidad.....	15
3.4. Características principales del tanque criogénico.....	16
3.5. Evaporadores del aire ambiente.	17
4. SISTEMA DE RIEGO PARA EVAPORADORES Y CONDUCTOS EXTERNOS DEL TANQUE CRIOGENICO.....	18
4.1. Diseño sistema de riego.	18
4.2. Materiales utilizados en el sistema de riego.	22
5. SISTEMA DE CONTROL DIGITAL PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LOS EVAPORADORES Y CONDUCTOS EXTERNOS.....	24
5.1. Dispositivos utilizados en el hardware del sistema de control.	24
5.1.1. Etapa de amplificación y toma de datos.	24

5.1.2.	Etapa de control de potencia.....	29
5.1.3.	Etapa de control.	29
5.2.	Software del sistema de control.....	30
5.2.1.	Función “leertemperatura”.....	30
5.2.2.	Función “leer”.	31
5.2.3.	Función “convertirtemp”.....	33
5.2.4.	Función principal.	33
6.	FUNCIONAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ANTICONGELANTE PARA TANQUE CRIOGENICO DE LA CLÍNICA LA ESTANCIA S.A.....	35
6.1.	Funcionamiento del sistema de control.....	36
6.2.	Programación de los rangos máximos y mínimos del sistema de control.	37
6.3.	Alimentación eléctrica del sistema de control.....	38
7.	RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL ANTICONGELANTE PARA TANQUE CRIOGENICO.....	39
8.	CONCLUSIONES	43
8.1.	Trabajos Futuros.....	44
	REFERENCIAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Microfotografía de un cristal de hielo	5
Figura 2. Esquema de Tanque criogénico	13
Figura 3. Tanque estacionario diagrama de funcionamiento	14
Figura 4. Vista externa del Tanque criogénico.....	16
Figura 5. Vaporizador del aire ambiente	17
Figura 6. Corte transversal (vista inferior A) para ver los detalles del sistema de riego.....	19
Figura 7. Vista superior para ver el recorrido del sistema de riego.....	20
Figura 8. Corte transversal (vista superior A) para ver los detalles del sistema de riego.....	21
Figura 9. Izq. Evaporador completamente congelado. Der. Arriba, vaporizador más sistema de riego. Abajo, tubería externa más sistema de riego	22
Figura 10. Gráfica de temperatura vs tiempo del proceso de congelamiento de evaporadores de tanque criogénico.....	25
Figura 11. Símbolos Esquema de un amplificador operacional sumador inversor.....	27
Figura 12. . Diseño de etapa de amplificación del sensor.....	28
Figura 13. Tarjeta impresa final de la etapa de amplificación del sensor ⁴	28
Figura 14. Diseño de la etapa de control de potencia.....	29
Figura 15. Tarjeta impresa final de la etapa de control de potencia ⁴	29
Figura 16. Diseño de la etapa de control	30
Figura 17. Código empleado en la función leertemperatura	31
Figura 18. Configuración de teclado matricial de 3x4	32
Figura 19. Código empleado en la función leer.....	32
Figura 20. Código empleado en la función convertirtemp.....	33
Figura 21. Código empleado en la función main.....	34
Figura 22. Electroválvula	35
Figura 23. Sistema de control de riego	36
Figura 24. Pantalla LCD mostrando proceso de activación de actuador	36
Figura 27. Izq. Pantalla LCD solicitando código para configuración; Der. arriba LCD solicitando primer valor rango mínimo; Der. Abajo LCD solicitando primer valor rango máximo	38
Figura 28. Válvulas de seguridad del sistema de riego.....	39
Figura 27. Gráficas de apertura de electroválvula vs tiempo del proceso de descongelamiento de evaporadores y tuberías externas del tanque criogénico....	41

Figura 28. Gráficas de temperatura vs tiempo del proceso de descongelamiento de evaporadores y tuberías externas del tanque criogénico.....42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Nomenclatura utilizada en el diagrama del tanque.	15
Tabla 2. Características de la electroválvula utilizada.	23

RESUMEN

El oxígeno es un elemento indispensable en nuestras vidas, con la evolución del hombre hemos aprendido a manipularlo y darle variados usos como: el afinado del acero en la industria siderúrgica, la obtención industrial de muchas sustancias químicas, como los ácidos sulfúrico y nítrico, medicina, etc.

Las empresas productoras de este material, con el fin de minimizar costos y ganar tiempo, han diseñado plantas de separación de aire para producir oxígeno líquido, porque en este estado se facilita el transporte y almacenamiento de grandes cantidades de este elemento.

En consecuencia, al licuado del oxígeno, este alcanza temperaturas de -183°C y se almacena en tanques donde se realiza el proceso de gasificación para su posterior uso.

La Clínica La Estancia S.A. como entidad prestadora de salud, cuenta con un tanque criogénico donde se almacena el oxígeno antes de su uso. En el proceso de gasificación todo el calor que fluye del medio hacia el sistema congela el aire a su alrededor formando grandes capas de hielo según sea el consumo de oxígeno; en consecuencia, el personal de mantenimiento debe estar realizando labores de limpieza de los conductos y el evaporador del tanque criogénico, demandando esto mucho tiempo y grandes cantidades de agua.

Atendiendo a las necesidades de Clínica La Estancia, se diseñó e implementó un sistema de control para evitar la formación de estas capas de hielo en los conductos del tanque, el cual es autónomo y eficiente, además que disminuye la cantidad de agua utilizada para este proceso.

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

En 1775 Lavoisier descubre en que consiste químicamente la respiración, hallando que el aire está compuesto por el anhídrico carbónico, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Lavoisier establece que la respiración consiste esencialmente en consumo de oxígeno y eliminación de anhídrido carbónico, cada uno de ellos en determinada proporción, lo que se llama hoy *cociente respiratorio*. Es aquí donde comenzamos a sentir y ver la importancia del oxígeno en nuestra vida y para nuestra supervivencia, notamos que el oxígeno es esencial por ser nuestro mayor agente purificador, oxidando toxinas y desperdicios en el cuerpo, ayudando a que nuestro organismo pueda efectivamente liberarse de ellos a través de los canales normales de eliminación.

Todo ser humano necesita oxígeno para respirar, este elemento forma parte de la atmosfera, del agua, entre otras. Es aquí donde comienza a tener gran importancia su manipulación principalmente con fines médicos y, en procesos industriales, hasta la fecha hemos llegado a purificarlo, almacenarlo y transportarlo en grandes cantidades.

Desde el punto de vista Industrial, pueden seguirse dos procedimientos para la obtención del oxígeno: la electrólisis del agua y la destilación fraccionada del aire.

Para la obtención por electrólisis, se prepara una solución de soda cáustica en agua, y se introducen en la misma dos electrodos conectados a un generador de corriente continua. Al circular la corriente eléctrica a través de la solución, se produce la descomposición del agua en sus dos elementos integrantes, recogándose el oxígeno, en forma gaseosa, en uno de los electrodos, y el hidrógeno, en el otro. Este procedimiento resulta muy costoso y apenas se emplea, por lo que el oxígeno para aplicaciones Industriales suele obtenerse por destilación fraccionada del aire.

El aire atmosférico se recoge en grandes depósitos que se conocen como torres de lavado. A través de estas torres se hace circular una solución de soda cáustica, que somete al aire a un proceso de lavado, eliminando el anhídrido carbónico.

El aire se comprime y se hace a través de unos depuradores en los que se eliminan las partículas de aceite y el vapor de agua.

El agua pasa a los cilindros de secado. Estos cilindros contienen potasa cáustica, que seca el aire y elimina cualquier residuo de anhídrido carbónico y vapor de agua. En el extremo superior de estos cilindros existen nuevos filtros de un algodón especial, que evitan que cualquier sustancia extraña pueda pasar a las líneas de alta presión.

Una vez seco, limpio y sometido a elevadas presiones, el aire pasa a las columnas de rectificación, en las que se enfría y se expande hasta una presión próxima a la atmosférica. Esta gran expansión del aire previamente enfriado provoca la condensación del mismo.

Partiendo del aire en estado líquido, resulta sencillo separar el oxígeno y el nitrógeno, debido a la diferencia de temperaturas de ebullición de ambos gases (-195,5° C, para el nitrógeno y -182° C para el oxígeno). El nitrógeno, que tiene una temperatura de ebullición más baja, se evapora primero, dejando un residuo de oxígeno líquido en el fondo del condensador.

A continuación, el oxígeno líquido pasa a través de un serpentín en el que se calienta hasta pasar al estado gaseoso. El gas producido se controla con un caudalímetro y se almacena en grandes tanques.

Los hospitales y clínicas cuentan con un termo estacionario en el cual almacenan el oxígeno en estado líquido para suministro a sus pacientes. Durante el proceso de evaporación del oxígeno se produce una transferencia de calor con el ambiente, provocando que se produzcan placas de hielo en los conductos externos de los evaporadores, lo que puede desencadenar problemas como la ruptura de sus conductos y la deformación de la estructura, cortando así el abastecimiento de oxígeno en la institución.

A nivel nacional no se encuentran registros sobre el mantenimiento que se realiza a estos termos y sus evaporizadores. Según Cryogas, empresa dedicada específicamente al diseño, consultoría e interventoría, instalación, mantenimiento y suministro de equipos para redes de gases medicinales, el mantenimiento que se debe realizar a estos termos es básicamente rociar agua cada día hasta desaparecer el hielo producido, proceso que demanda varias horas y obliga al personal a permanecer por largos periodos de tiempo sometido a estas bajas temperaturas.

El problema de congelamiento no solo ocurre para estos termos de oxígeno. Esta situación ha sido abordada en otros procesos como en la aeronáutica según el Capitán Gustavo Alberto Flores, Jefe del Departamento Meteorología Aeronáutica, en la cual se le ha dado el nombre de engelamiento, al congelamiento de las gotas de agua que impactan sobre la estructura de un avión en vuelo (borde de ataque

de los perfiles alares, hélices, antenas, etc.) o que ingresan dentro de alguno de sus componentes que tienen contacto con el aire exterior (tubo Pitot, carburador, etc.).

El engelamiento es un fenómeno que no solo afecta seriamente las características aerodinámicas de la aeronave, sino también el funcionamiento de sus componentes y, en ocasiones, debido a su intensidad puede afectar indirectamente a las comunicaciones al producir, por carga de acumulación, rotura de las antenas.

Se han desarrollado muchas teorías para explicar el fenómeno del nacimiento de esos cristales de hielo, pero ninguna de ellas ha sido aceptada totalmente por los meteorólogos.

Varias son las partículas que actúan como núcleos de congelación entre las cuales podemos citar a ciertas arcillas, polvo y arenilla de los desiertos. Ha sido demostrado a través de investigaciones que entre 10° y 40° C bajo cero, las nubes están compuestas por una mezcla de cristales de hielo y gotas de agua las cuales favorecen el crecimiento de los primeros y que por debajo de 40° C bajo cero, sólo se presentan en ellas cristales de hielo.

A modo informativo existen numerosas formas de cristales de hielo, dependiendo para su formación la humedad y, fundamentalmente la temperatura del aire donde se forman. Así de esta manera pueden distinguirse los siguientes:

- Agujas presentes en nubes bajas, con temperaturas de unos - 5° C.
- Placas hexagonales presentes en nubes situadas a altitudes bajas y medias con temperaturas entre 10° y 20° C bajo cero.
- Prismas hexagonales huecos se los encuentra en las nubes altas con bajas temperaturas.
- Cristales dendríticos característicos por su forma de estrella hexagonal característicos de las nubes bajas, con alto contenido de humedad y temperaturas cercanas a los 15° C. bajo cero.

En la figura 1 vemos una fotografía microscópica de un dendrítico.

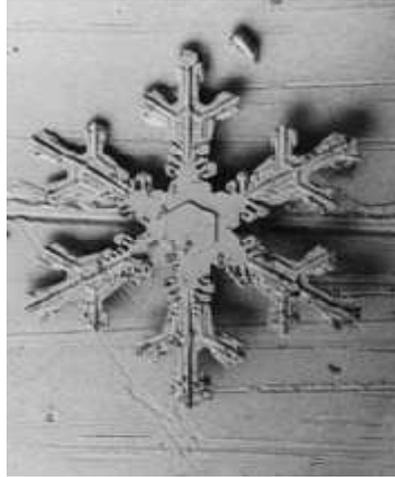


Figura 1. Microfotografía de un cristal de hielo¹

Para controlar la escarcha producida en los aviones cuando estos se encuentran en tierra se aplican fluidos antihielo y deshielo los cuales cumplen la misión de reducir el punto de congelación de la precipitación engelante que hay en el avión y retardar, por lo tanto, la acumulación de hielo, nieve, barrillo, aguanieve, o escarcha en las superficies críticas. Las clases de fluidos para el deshielo y antihielo están clasificadas como Tipos I, II, III y IV. Los fluidos de Tipo I son de baja viscosidad, la cual cambia con la temperatura. Los de Tipo II, III y IV llevan un agente espesante y, por consiguiente, son de una viscosidad mayor que cambia con la temperatura del fluido, la proporción de la mezcla acuosa y la aplicación de fuerzas cortantes. Los Tipos II, III y IV tienen mejores propiedades antihielo que los de Tipo I.[2]

Otro sistema que tiene el problema de producción de escarcha son los refrigeradores los cuales constan de un circuito cerrado que transporta un gas/líquido y un motor que acciona un compresor, se produce un enfriamiento dentro del aparato y un aumento de temperatura en la estancia donde está instalada la nevera. Como el volumen de dentro del refrigerador es inferior al de la habitación donde se ubica, la disminución de la temperatura del interior es mayor que el aumento de calor alrededor. Si la puerta de la nevera permanece cerrada, la habitación se calienta pero, debido al primer principio de la termodinámica, el de conservación de la energía, si la puerta de la nevera estuviera abierta la temperatura se mantendría constante. En definitiva, el motor funciona bombeando calor del interior al exterior. Pero existe un segundo principio que exige un cierto

¹Tomada del artículo de engelamiento de la Junta de investigaciones de accidentes de aviación civil

trabajo para robar calor de un lugar y proporcionárselo a otro que se encuentra a una temperatura mayor. Esta tarea en un frigorífico la realiza el compresor encargado de la compresión y descompresión de un gas refrigerante que entra frío al interior del frigorífico y extrae el calor a través de la rejilla de la parte posterior del aparato. Por otro lado, la energía que consume el motor del compresor termina igualmente transformada en calor.

Al compresor llega un gas que es comprimido hasta llegar a convertirse en líquido. Durante este proceso se transmite energía al gas para comprimirlo y el resultado es un líquido caliente que desfila por un serpentín que está en contacto con el aire exterior. Una vez que el líquido está comprimido y a temperatura ambiente, es decir, no tan caliente como antes, se produce una transformación termodinámica llamada expansión cuasi-adiabática que da como resultado un gas muy frío. Este gas frío circula por un circuito el interior del refrigerador, donde acumula el calor de los alimentos. Así se convierte en un gas no tan frío que tiene un tiempo limitado para absorber calor antes de salir para luego retornar hasta el compresor, para repetir el ciclo.

Cuando el interior de la nevera está a la temperatura deseada se desconecta el motor. Para ello las neveras poseen un termostato o sonda termométrica en su interior de forma que una vez que detecta que se ha alcanzado la temperatura programada hace que se desconecte el sistema eléctrico del compresor. Para que la transferencia de calor sea eficaz debe eliminarse cualquier impedimento que reduzca la eficiencia del refrigerador, como por ejemplo hielo en las paredes, y, por tanto, aumente su consumo.

El sistema “*fast freeze*” acelera el enfriamiento durante unas horas y se desconecta automáticamente transcurrido este periodo. Se emplea al introducir un gran volumen de alimentos en el congelador o al conectarlo tras un periodo de inactividad.

Los modelos que incorporan tecnología “*no frost*” consumen un poco más de energía, pero aseguran una refrigeración constante y homogénea por el interior del congelador y del refrigerador. El resultado es una mejor distribución del frío y una refrigeración más rápida. Este sistema además evita que se forme hielo o escarcha en las paredes del congelador.

En un frigorífico real, el motor conectado a la red eléctrica produce un trabajo que se emplea en extraer un calor del foco frío (la cavidad del frigorífico) y se cede calor al foco caliente, que es la atmósfera.

Como vemos, la producción de escarcha es un problema que se ha investigado durante años en diferentes procesos, en los cuales siempre se intenta evitar la congelación como método más eficiente para controlar la escarcha.

La Clínica La Estancia S.A como entidad prestadora de salud está comprometida con el cuidado y la recuperación de la salud de sus usuarios, por eso ha venido desarrollando procedimientos de mantenimiento preventivo.

En el mantenimiento preventivo se encuentra el control de la escarcha formada en los evaporadores del tanque criogénico de oxígeno el cual está siendo desarrollado de una manera adecuada pero no eficiente, ni ecológica, ya que se realizan los procedimientos recomendados por el fabricante, empleando largas jornadas arrojando agua a la estructura hasta derretir el hielo, incrementando costos y desperdiciando innecesariamente el agua. Es por ello que se implementó un sistema anticongelante autónomo que realiza las rutinas de mantenimiento de el tanque criogénico en forma periódica e independiente.

El objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar un sistema de riego controlado para optimizar el uso de agua disminuyendo su consumo, accionado por un control de temperatura lo cual lo hace un sistema seguro y confiable disminuyendo las visitas del personal a este lugar.

Este documento se encuentra dividido en 8 capítulos, en los cuales evidenciamos cada proceso relacionado con el diseño y la implementación del sistema de control anticongelante para el tanque criogénico de la Clínica la Estancia S.A. así:

En el capítulo 2 se encuentra una introducción sobre el mantenimiento preventivo, explicando a que se refiere este tipo de mantenimiento y cuáles son sus ventajas, además de los aspectos básicos relacionados al mismo y los diez pasos que debe contener la rutina, finalizando con una descripción sobre el mantenimiento que se debe realizar en un tanque criogénico de oxígeno.

El capítulo 3 tenemos las definiciones técnicas concernientes a tanques para oxígeno líquido, vemos una corta descripción de sus funcionamientos partes que componen toda su estructura.

En el capítulo 4 se habla sobre el diseño y materiales utilizados en el sistema hidráulico encargado de regar los conductos externos del tanque criogénico de la Clínica La Estancia S.A.

El capítulo 5 describe los componentes de hardware y software utilizados en el sistema de control.

En el capítulo 6 se da una guía sobre el manejo, funcionamiento y programación del sistema de control anticongelante para tanque criogénico de la Clínica La Estancia S.A. En este capítulo, se da una descripción detallada de la configuración y procedimientos realizados para obtener un eficiente funcionamiento.

El capítulo 7 contiene los resultados obtenidos después de la implementación del sistema de control anticongelante para tanque criogénico de la Clínica La Estancia S.A.

El capítulo 8 contiene las conclusiones que se obtuvieron al haber realizado este trabajo, además de los aspectos que podrían tenerse en cuenta en proyectos futuros relacionados con este tema.

Capítulo 2

2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El área de ingeniería e infraestructura de la Clínica La Estancia S.A., debe garantizar el funcionamiento de los equipos, ambientes o sistemas de manera que la entidad de salud siga produciendo y brindando servicios de forma continua, además de minimizar los riesgos inherentes por el uso de equipos médicos y aumentar la seguridad no solo del paciente sino de todas aquellas personas que estén en contacto con dichos equipos.

El mantenimiento preventivo es un procedimiento periódico de inspección de instrumentos y equipos donde se ejecutan actividades de limpieza, lubricación, ajuste, calibración, reparaciones, análisis, reemplazo de componentes defectuosos con el fin de minimizar el riesgo de fallas para mantener los equipos a un nivel óptimo de funcionamiento, asegurando así la continua operación de los mismos, a fin de extender su vida útil, a la vez disminuye el tiempo perdido por fallas y los costos por reparación, repuestos, etc. Así mismo, el mantenimiento preventivo permite organizar los diferentes trabajos, al saber con anticipación que día y por cuantas horas estará un equipo fuera de servicio. La principal característica de este mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno.

Las ventajas del mantenimiento preventivo son:

- Confiabilidad, ya que los equipos operan en mejores condiciones.
- El buen estado de los equipos e instalaciones durante su vida útil.
- Seguridad debido a que se conoce el estado de los equipos y sus condiciones de funcionamiento.
- Prevención de fallas en los equipos o instalaciones, con lo que se evita paros y gastos imprevistos.
- Disminución del tiempo muerto, es decir, el tiempo que se paran los equipos.
- Mayor duración de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias de equipos dañados.

- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.
- Aumentar la vida útil de los equipos.

2.1. Aspectos Básicos del Mantenimiento Preventivo.

El mantenimiento preventivo constituye tres aspectos básicos:

2.1.1. Acciones Programadas

Son aquellas que tiene inferencia sobre el equipo médico, se llevan a cabo con una frecuencia definida y tienen como procedimientos básicos los siguientes:

- Revisión general. Revisión externa del equipo, conexiones, despliegues gráficos y alfanuméricos, perillas, botones de control y encendido, alarmas, etc.
- Control de calidad. Se refiere a la verificación regular de las especificaciones del equipo, con el propósito de garantizar que los parámetros de salida sean confiables.
- Lubricación y limpieza. La limpieza del equipo deberá efectuarse tanto externa como internamente, la acumulación de material extraño en la circuitería electrónica y sistemas mecánicos pueden producir serios daños.

2.1.2. Supervisión

Es la actividad que permite verificar si las acciones de mantenimiento han llegado a la operación de la unidad dentro de los rangos normales. La supervisión deberá estar orientada a los resultados, una desviación de éstos puede tener su origen en uno de los puntos siguientes:

- No se ha efectuado la rutina
- La frecuencia de la rutina es inadecuada
- El procedimiento de la rutina es ineficiente
- Los materiales utilizados no son los específicos.

2.1.3. Registro de Incidencias

Es el elemento necesario para la identificación de las mediciones de conservación en que se encuentra en los equipos, así como de las acciones y costos del mantenimiento aplicado a ellos.

2.2. Procedimiento General de las Rutinas de Mantenimiento Preventivo.

Para realizar las rutinas de mantenimiento preventivo MP se han determinado diez pasos generales, los cuales constituyen la base de este tipo de mantenimiento. Su aplicabilidad es determinada por las características específicas de cada equipo, los pasos a tener en cuenta son:

- Inspección de condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo.
- Limpieza integral externa.
- Inspección externa del equipo.
- Limpieza integral interna.
- Inspección interna.
- Lubricación y engrase.
- Reemplazo de ciertas partes.
- Ajuste y calibración.
- Revisión de seguridad eléctrica.

Es importante probar el equipo en todos los modos de funcionamiento que éste posea, para detectar posibles fallas.

2.3. Mantenimiento de tanque de oxígeno líquido.

Para que el tanque se mantenga en buen estado es conveniente revisar una vez al año una barra de magnesio. Esta barra se puede sacar desde la parte superior del tanque criogénico. La cabeza de la barra es una “tuerca” que esta a la vista y hay que desenroscar. La función de esta barra es proteger contra la corrosión el tanque interior, que de ser afectado por esta se producen perforaciones que comprometen la integridad del tanque. La barra tiene un centro metálico recubierto con una capa de magnesio. Cuando esta capa esta muy carcomida se debe reemplazar por una barra nueva. Todo esto es realizado anualmente por la empresa que distribuye el oxígeno, dejando a cargo de Clínica La Estancia el

mantenimiento de los conductos externos y evaporadores. En estos lugares se producen capas de hielo que llegan a medir hasta 10cm de espesor y 80cm de alto, las cuales se deben descongelar diariamente para evitar que el peso de adquirido por el hielo deforme la estructura o rompa los canales con un desprendimiento.

Capítulo 3

3. TANQUES PARA OXÍGENO LÍQUIDO

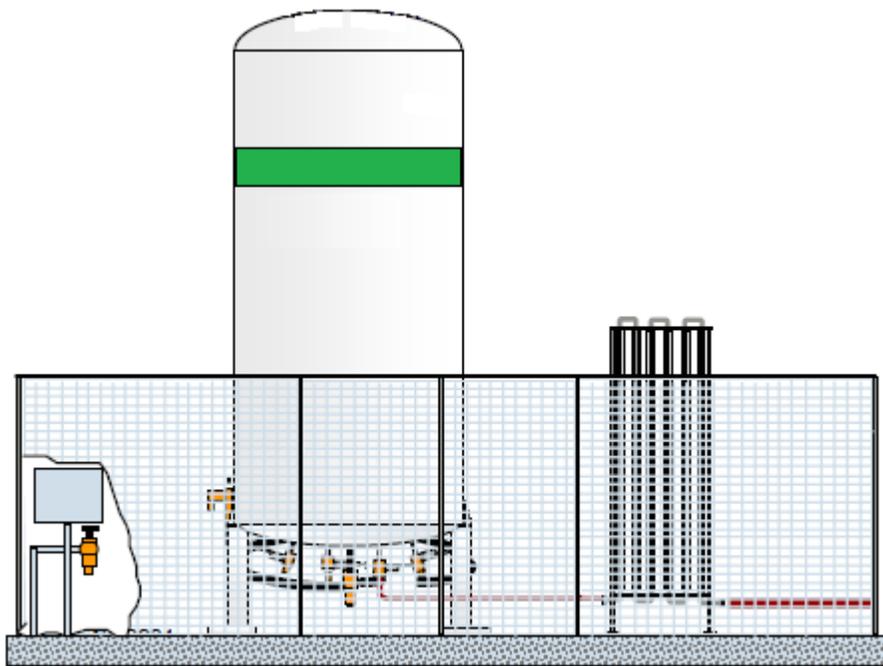


Figura 2. Esquema de Tanque criogénico²

Cuando es enfriado a -183 grados Celsius, el oxígeno cambia del estado gaseoso al líquido y puede ser almacenado en tanques estacionarios bien aislados térmicamente denominados “tanques criogénicos”, instalados en hospitales o clínicas. Los tamaños de los tanques se ajustan a los requerimientos de cada institución.

²Tomada de instalación centralizada de gases-Lide gas therapeutics AGA

Tabla 1. Nomenclatura utilizada en el diagrama del tanque.²

SIMBOLO	DESCRIPCION	SIMBOLO	DESCRIPCION
1	Tanque interior	S1	Válvula de seguridad (tanque interno)
2	Tanque exterior	S2	Válvula de seguridad (tanque externo)
3	Absorbente	S8	Válvula de seguridad (Gasificador)
4	Filtro	V1	Válvula de llenado inferior
5	Gasificador elevador de presión	V2	Válvula de llenado superior
6	Gasificador	V3	Válvula de fase líquido
A1	Conexión de llenado	V4	Válvula de fase gaseosa
B16	Válvula check	V6	Válvula de máximo nivel de llenado
F1	Filtro	V9	Válvula conexión con vaporizador (cliente)
R14	Regulador	V11	Válvula cierre toma de vacío
PER	(Preusre build up, Economizer, Relief)	V14	Válvula dos vías (válvulas de seguridad)
		V50	V50Válvula de fase gaseosa (instrumentos)
M1	Indicador de nivel	V51	Válvula de fase líquida (instrumentos)
M2	Indicador de presión	V52	Válvula de conexión fases Líquida y gaseosa (instrumentos)

3.1. Operación.

El diseño de un equipo criogénico como un recipiente es compacto, robusto y fácil de operar. El llenado superior reduce la presión dentro del tanque, el llenado inferior la incrementa. El sistema de presurización permite al operador incrementar la presión durante la descarga de líquido a un tanque o a la línea de gas a los evaporadores. Regulando la apertura de las válvulas de llenado de tope y de fondo, no ocurre ningún cambio significativo de la presión durante el envío de líquido. Esto resulta en un suministro de líquido constante a los evaporadores [9].

3.2. Gas licuado.

El gas natural licuado es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida. Es la mejor alternativa para monetizar reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente ya sea por gasoducto o por generación de electricidad. El gas natural es transportado como líquido a presión atmosférica y a temperaturas menores de -162 °C donde la licuefacción reduce en 600 veces el volumen de gas transportado [9].

3.3. Capacidad.

El gas natural licuado se puede almacenar a temperaturas hasta (-196)°C, con rangos desde 1000 litros hasta 20000 litros, con combinación de baja y alta presión.

Los convertidores de frío son usados para permitir el suministro de la red después de la gasificación en intercambiadores de calor atmosféricos. Los recipientes criogénicos de almacenamiento suministran líquidos a baja temperatura a redes o a tanques de menor capacidad [9].

3.4. Características principales del tanque criogénico.

- Mínimas pérdidas por evaporación debido al alto grado de vacío y llenado del espacio con Polvo Aislante Expandido.
- Instalación simple, costos bajos y fácil mantenimiento.
- Construcción robusta, recipiente interior de acero inoxidable y exterior de acero al carbono.
- Equipado con indicador de nivel de líquido, válvulas de seguridad, manómetro, sensor de vacío, válvula de sobrepresión y otros accesorios.
- Instrumentos ubicados adecuadamente para fácil acceso y operación.
- Los sistemas por termosifón para recipientes de almacenamiento criogénicos están pensados para contener pérdidas en el llenado de botellas.
- Todas las válvulas y seguridades cumplen los códigos estándar y la aprobación está otorgada por la CCE.
- El recipiente está pintado en epoxi blanco en su totalidad.

En la figura 4 se muestra una vista externa del tanque criogénico junto a sus componentes.

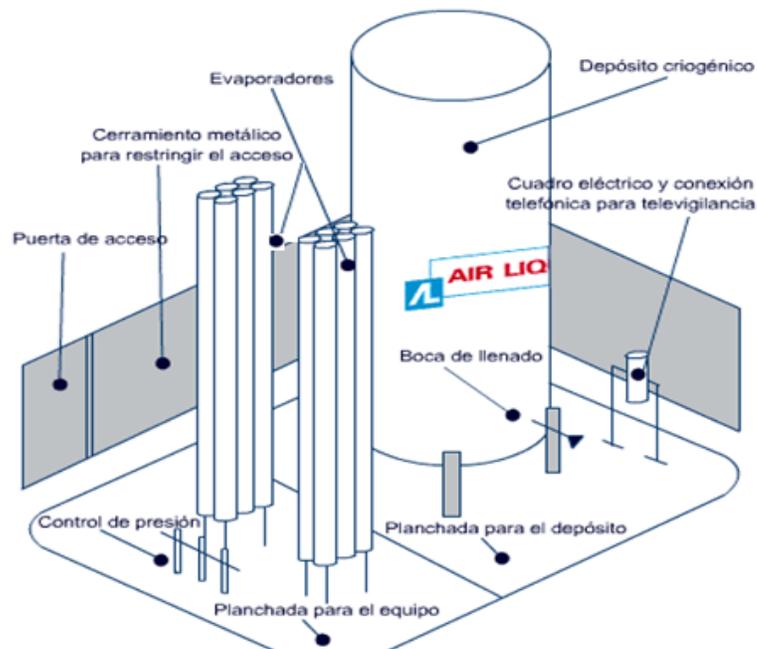


Figura 4. Vista externa del Tanque criogénico²

3.5. Evaporadores del aire ambiente.



Figura 5. Vaporizador del aire ambiente²

El aire ambiente o los evaporadores naturales de la convección utiliza calor del aire ambiente para vaporizar el líquido y para calentar el gas. Su flujo es la función de las condiciones ambiente-atmosféricas (temperatura, viento, humedad). Los datos tabulados están para los evaporadores estándar por 8 horas de operación continua con capacidad nominal cuando la higrometría y la temperatura del aire ambiente son el 70% y 20°C respectivamente. Los evaporadores se limpian y se certifican para el servicio del oxígeno.

Capítulo 4

4. SISTEMA DE RIEGO PARA EVAPORADORES Y CONDUCTOS EXTERNOS DEL TANQUE CRIOGENICO.

Dado la importancia del suministro de oxígeno dentro de la Clínica y la exhaustiva labor de mantenimiento que esta área requiere, se ha visto la necesidad de diseñar e implementar un sistema para mantener el tanque libre de hielo, que sea autónomo y eficiente, con el fin de minimizar el tiempo de este mantenimiento y además disminuir la cantidad de agua utilizada.

4.1. Diseño sistema de riego.

El área de ingeniería e infraestructura de la Clínica La Estancia S.A. se basa en las indicaciones para el mantenimiento suministradas por el proveedor de oxígeno el cual especifica lo siguiente:

- Realizar revisión diaria del nivel de oxígeno.
- Realizar limpieza diaria de la escarcha formada en los evaporadores y tuberías externas utilizando agua.
- Revisar diariamente la presión del oxígeno.

Revisando estas recomendaciones se realizó un diseño que mantenga los evaporadores libres de hielo utilizando agua. Para esto se tuvo en cuenta que el tanque criogénico estaba a la intemperie, solo contaba con una válvula de agua y una conexión a corriente alterna de 220V.

Los seis evaporadores en serie generan escarcha consecutivamente, es decir para que se congele el segundo debía haberse congelado en su totalidad el primero, razón por la cual el diseño se basó en mantener el primer vaporizador limpio de escarcha, para evitar el congelamiento de todo el sistema de vaporización. Por otro lado la tubería que transporta el oxígeno también genera escarcha.

Por lo anterior se diseñó un sistema de riego que conduce el agua desde la válvula de agua hasta la parte media del evaporador; donde dos duchas riegan los evaporadores. Este líquido se dirige por tubos siguiendo el conducto de cobre que

suministra el oxígeno del tanque a los evaporizadores. Esta tubería cuenta con orificios espaciados a 10 cm con un diámetro de 2mm.

En la figura 6 podemos apreciar el diseño de la alimentación de la tubería formada por cuatro llaves de paso y una electroválvula, tres de estas llaves y la electroválvula forman el bypass, mientras la cuarta solo se utiliza para conexión de la manguera que exige Cryogas para su mantenimiento.

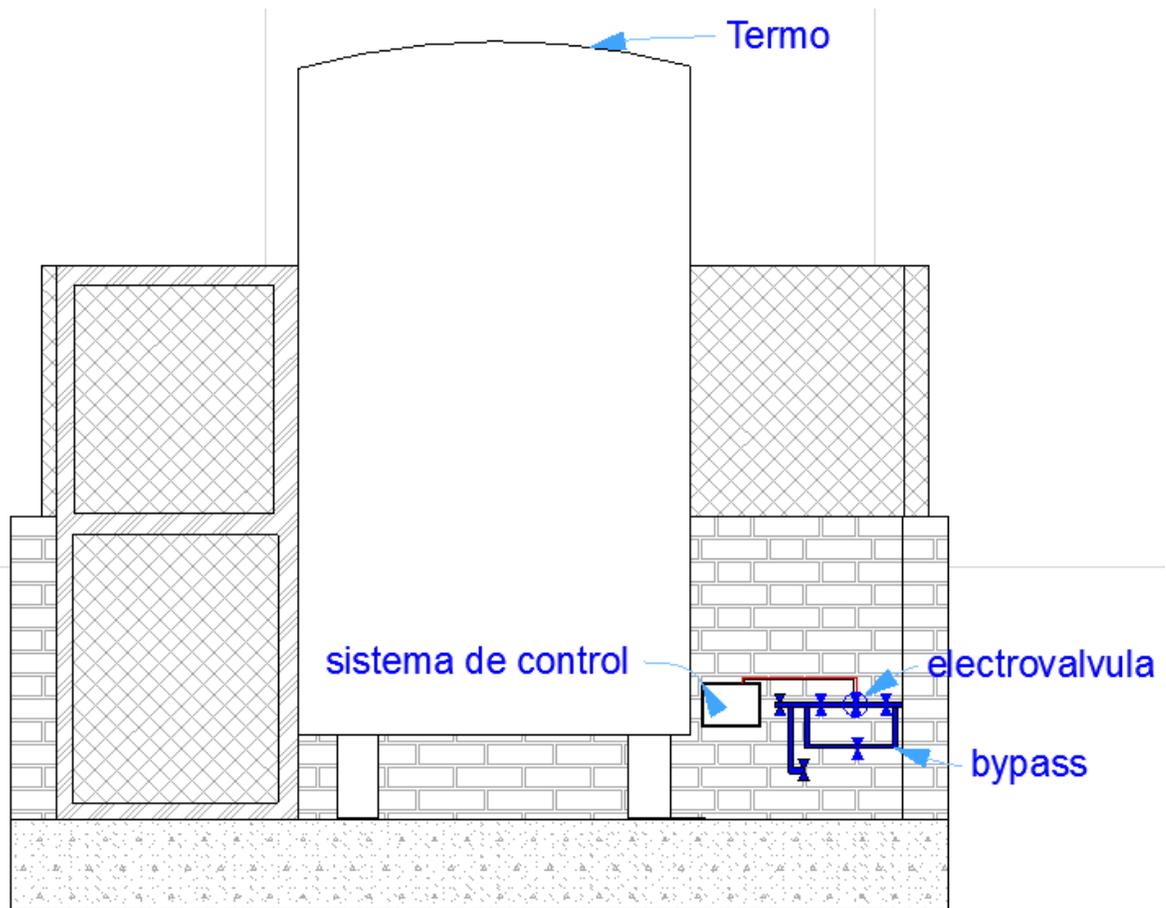


Figura 6. Corte transversal (vista inferior A) para ver los detalles del sistema de riego³

En la siguiente proyección (figura 7) podemos visualizar el recorrido del agua y la posición de las duchas que se encargaran de evitar el congelamiento de los evaporizadores, y la continuidad hacia la tubería que transporta el oxígeno

³Plano realizado con Graphisof Archicad 14.

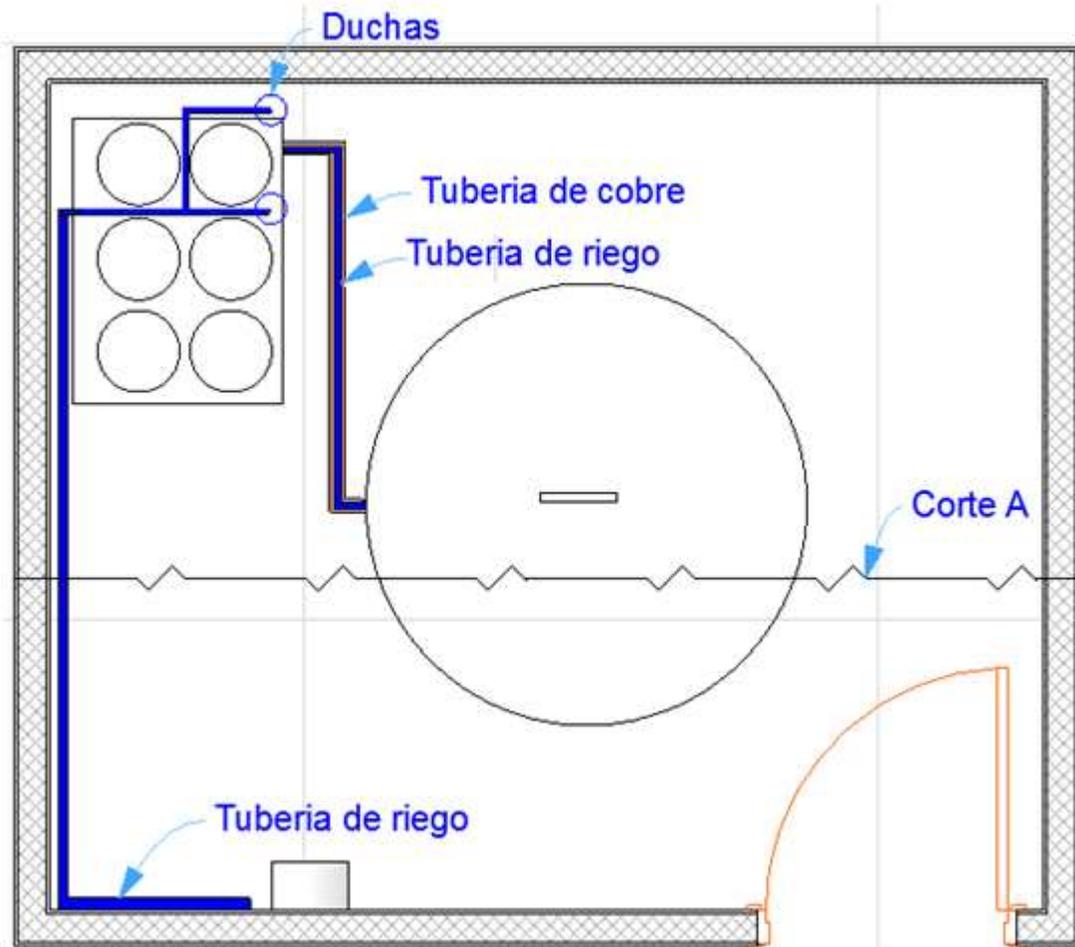


Figura 7. Vista superior para ver el recorrido del sistema de riego⁵

En la última vista (figura 8) vemos como la tubería termina abajo del tanque donde el sistema contiene tres bifurcaciones para descongelar una válvula (en la parte

inferior de tanque) y el fondo del tanque.

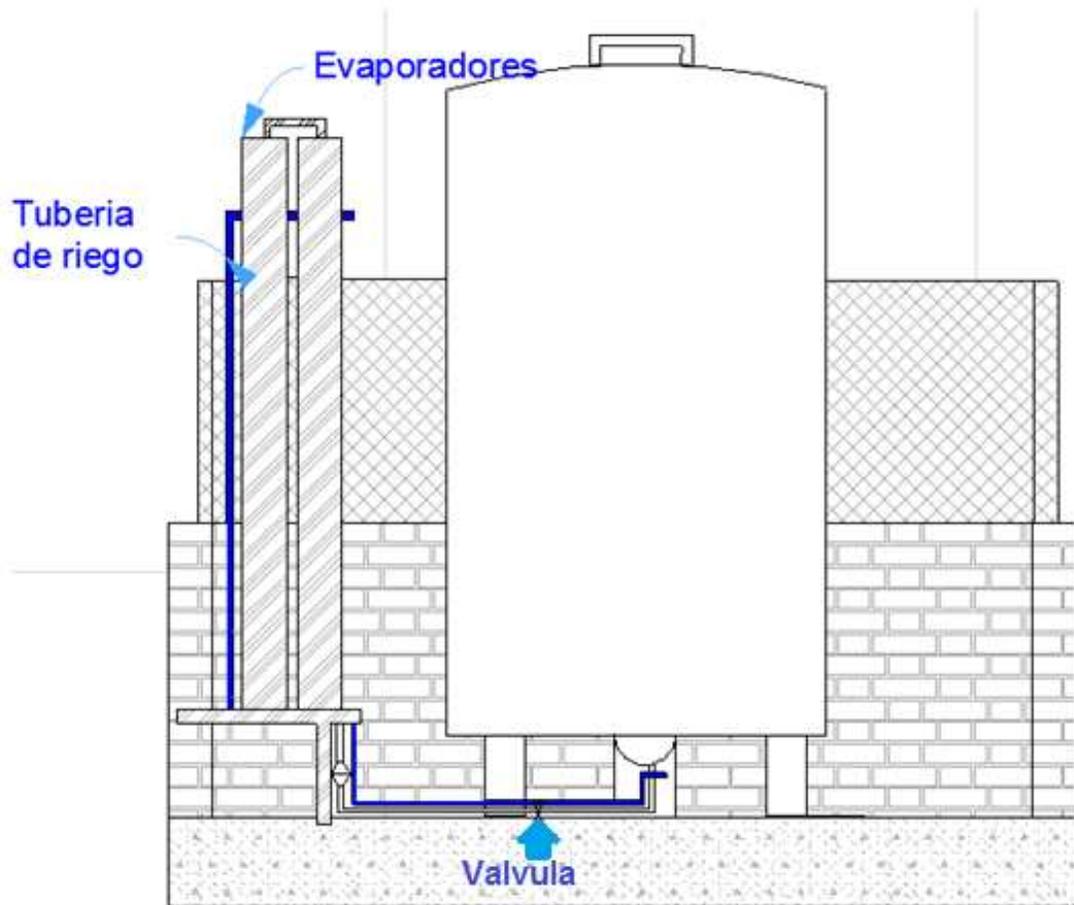


Figura 8. Corte transversal (vista superior A) para ver los detalles del sistema de riego⁵

En las fotografías de la figura 9 se puede apreciar las capas de hielo formadas antes de implementar el sistema de riego, las duchas y la tubería que se instaló para mantener libre de hielo la estructura, además se logra notar la disminución considerable de producción de capas de hielo en la tubería y los evaporadores.



Figura 9. Izq. Evaporador completamente congelado. Der. Arriba, vaporizador más sistema de riego. Abajo, tubería externa más sistema de riego⁴

4.2. Materiales utilizados en el sistema de riego.

Debido a que el sistema se encuentra en la intemperie se utilizó tubería en PVC de alta presión ya que estas son fáciles de manipular y cuentan con muchas características ventajosas, las cuales no se oxidan ni se ven afectadas por los cambios bruscos de temperatura, ya que sí ocurre con las tuberías metálicas. Además, las tuberías en PVC son fáciles de desmontar y limpiar en caso de que se obstruyan [10].

La tubería PVC presenta un mayor aislamiento térmico que las metálicas lo que disminuye la probabilidad de congelamiento del agua durante su recorrido por las tuberías.

Las llaves de paso por el contrario son metálicas por su resistencia y manejabilidad, teniendo en cuenta que estas están retiradas de los evaporadores.

⁴ Fotografía tomada del tanque Criogénico de la Clínica la estancia S.A.

La electroválvula de ½” de diámetro utilizada en el sistema tiene las siguientes características:

Tabla 2. Características de la electroválvula utilizada.

PARTES	MATERIAL
Caja	Forja de latón / bronce
Bobina	Alambre de cobre especial (H)
Núcleo	Acero inoxidable
Tubo	
Muelle	
Clavija	Vitón y silicona
Diafragma	

Capítulo 5

5. SISTEMA DE CONTROL DIGITAL PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LOS EVAPORADORES Y CONDUCTOS EXTERNOS.

El control del sistema hidráulico fue desarrollado con un microcontrolador 16f876A de microchip. Para su explicación dividiremos la implementación en el software y hardware, a continuación se describe estos procesos más detalladamente.

5.1. Dispositivos utilizados en el hardware del sistema de control.

El sistema de control implementado consta de tres etapas así:

- Etapa de amplificación y toma de datos.
- Etapa de control de potencia.
- Etapa de control.

5.1.1. Etapa de amplificación y toma de datos.

En esta etapa se utilizó un sensor LM35, un amplificador operacional LM741 en la configuración sumador inversor y otro en configuración inversor.

En la figura 10 se ve los datos de temperatura tomados, podemos apreciar que la temperatura externa del vaporizador no baja más de -53°C , además, el entorno es altamente corrosivo, afectando el funcionamiento y duración de una termocupla, así que el sensor más adecuado para el montaje es el LM35, cuya temperatura mínima soportada es de 55°C , es de bajo costo y fácil adquisición.

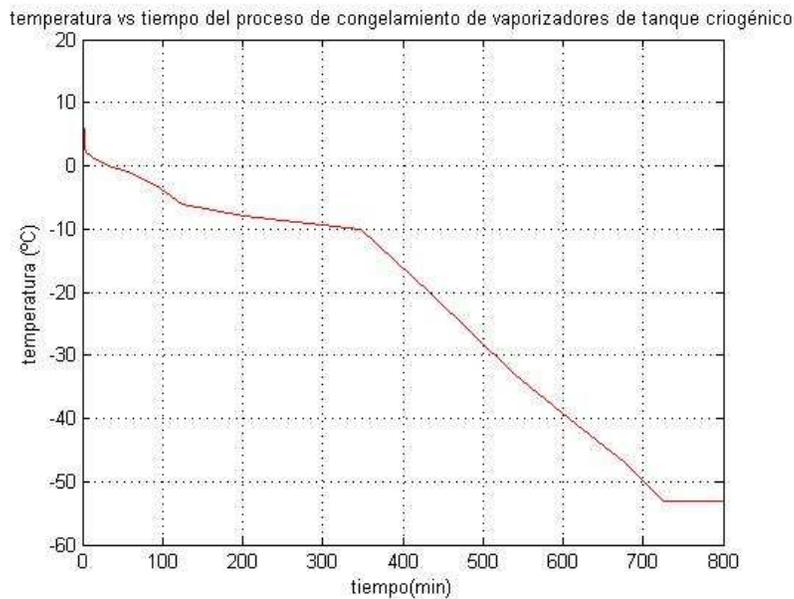


Figura 10. Gráfica de temperatura vs tiempo del proceso de congelamiento de evaporadores de tanque criogénico⁵

El LM35 está conectado a una etapa de amplificación en una tarjeta aparte de la tarjeta del microprocesador, esta etapa está conformada por un amplificador operacional en la configuración sumador inversor y otro en inversor para obtener una escala de -55mV a 30mV trasladada a 0V hasta 5V para obtener este resultado se tuvo que calcular las ganancias de la siguiente forma:

Condiciones iniciales 0V => -55°C y 5V => 30°C

Formula a comparar

$$A * \text{Temperatura} + B = \text{Voltaje}$$

$$A (-55^{\circ}\text{C}) + B = 0\text{V} \text{ Ecuación (1)}$$

$$A (30^{\circ}\text{C}) + B = 5\text{V} \text{ Ecuación (2)}$$

Restamos Ecuación (1) - Ecuación (2) y tenemos:

$$A (85^{\circ}\text{C}) - B(0) = 5\text{V}$$

$$A = 5\text{V}/85^{\circ}\text{C}$$

$$A = 0.0588 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$$

Ahora hallamos B:

$$0.0588 \text{ V}/^{\circ}\text{C} * (-55^{\circ}\text{C}) + B = 0\text{V}$$

$$B = 3.234\text{V}$$

⁵ Datos tomados del tanque criogénico instalado en la Clínica La Estancia S.A.

Por lo tanto:

$$0.0588\text{V}/^\circ\text{C} * (\text{Temperatura}) + 3.234\text{V} = \text{Voltaje} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Esta es la función de transferencia del sensor al microcontrolador, pero para hallar la amplificación que necesitamos debemos utilizar la función de transferencia del sensor brindada por el fabricante.

$$V_{\text{out}}=10\text{mV}/^\circ\text{C} \quad \text{Función de transferencia del LM35}$$

Ahora realizamos los cálculos correspondientes:

Condiciones iniciales $-550\text{mV} \Rightarrow 0\text{V}$ y $300\text{mV} \Rightarrow 5\text{V}$

Formula a comparar

$$A * V_{\text{in}} + B = V_{\text{out}}$$

$$A(-0.55\text{V}) + B = 0\text{V} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$A(0.3\text{V}) + B = 5\text{V} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Restamos *Ecuación (5)*- *Ecuación (4)* y tenemos:

$$A (0.85\text{V}) - B(0)=5\text{V}$$

$$A=5\text{V}/0.85\text{V}$$

$$A = 5.88235$$

Ahora hallamos B:

$$5.88235 * (-0.55\text{V}) + B = 0\text{V}$$

$$B = 3.234\text{V}$$

Por lo tanto:

$$5.88235 * (V_{\text{in}}) + 3.234\text{V} = V_{\text{out}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

La ecuación (6) será aplicada para la elaboración de la etapa de amplificación en la cual fue utilizado un amplificador operacional en la configuración sumador inversor como se ve en la figura 11.

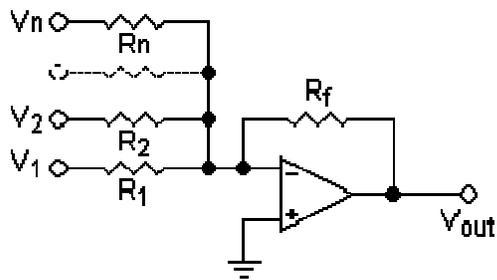


Figura 11. Símbolos Esquema de un amplificador operacional sumador inversor⁶

Este amplificador cumple con la ecuación:

$$V_{out} = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_n} V_n \right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Utilizando la ecuación (7) hallamos primero la ganancia del inversor, la cual debe ser igual a 5.88235 como se noto en la ecuación (6) para ello tomamos en cuenta solo el voltaje uno y calculamos R_f así:

—

Por lo tanto la ganancia seria:

— —

Por lo tanto si $R_1 = 4.72K\Omega$ tendríamos que $R_f = 27.76K\Omega$.

Para calcular el offset que es igual a 3.234V utilizamos la ecuación (7) con el Voltaje 2:

—

La entrada V_2 va a ser tomada desde la fuente de voltaje para garantizar su estabilidad, el valor de V_2 es 6V:

—————

Por lo tanto:

$$R_2 = 56.48K\Omega$$

⁶ Figura tomada de amplificadores operacionales de es.wikipedia.org.

5.1.2. Etapa de control de potencia.

Las partes que componen esta etapa son un triac y un optotriac MOC3021.

Con estos componentes logramos separar la etapa de control tomando en cuenta que la entrada es accionada por el microcontrolador, por lo tanto esta será de 5 VDC y la salida debe ser el voltaje requerido por la electroválvula (220 VAC), la distribución de el triac y el optotriac se ve en la figura 14.

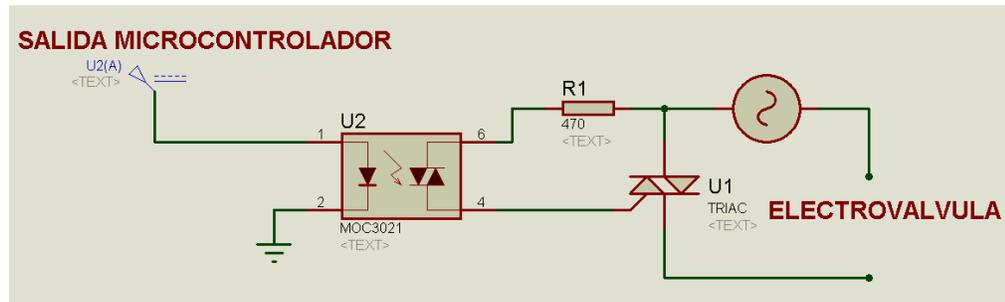


Figura 14. Diseño de la etapa de control de potencia⁷

En la figura 15 se ve la tarjeta de la etapa de control de potencia implementada.

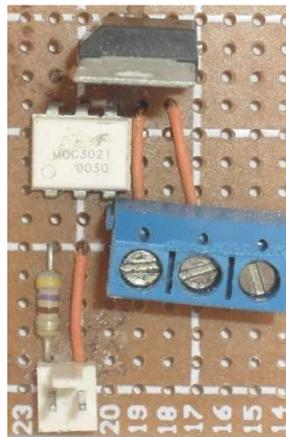


Figura 15. Tarjeta impresa final de la etapa de control de potencia⁴

5.1.3. Etapa de control.

En esta etapa se utilizó un el pic16f876A como controlador de todo el sistema, el cual se escoge por tener la memoria necesaria para el programa que ejecutaría; dentro de esta tarjeta se encuentra también una LCD de 16x2, teclado matricial de 3x4, cuatro LED's para mostrar el funcionamiento de forma analógica y un pulsador para entrar en la etapa de programación.

La conexión de cada una de estas partes se organizó como vemos en la figura 16 utilizando de forma más óptima los pines ofrecidos por el microcontrolador.

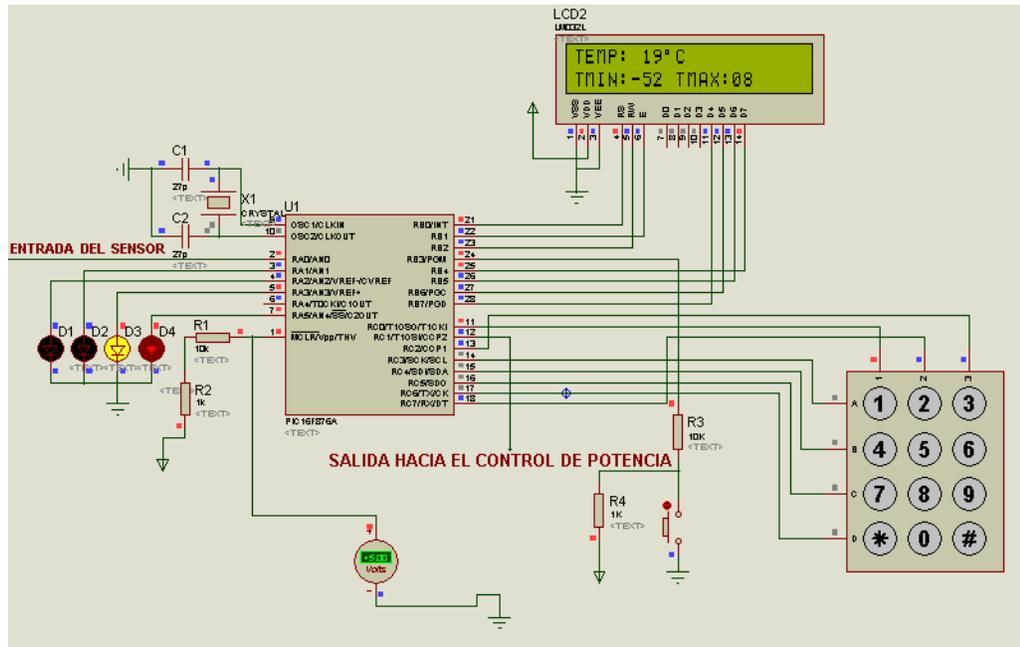


Figura 16. Diseño de la etapa de control⁷

5.2. Software del sistema de control.

El Software que controla el dispositivo fue dividido en tres funciones y un programa principal (main). Cada función tiene procesos muy puntuales para el funcionamiento adecuado del sistema anticongelante y serán mencionadas a continuación.

5.2.1. Función “leertemperatura”.

Esta función esta ligada inmediatamente con los datos que entrega el sensor, teniendo en cuenta el ADC interno del microcontrolador que trabaja a 10 bits y se calculo su resolución de la siguiente manera:

$$\text{Resolución} = \text{Rango} / 2^{\# \text{ de bits}} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$\text{Resolución} = 85 / 2^{10}$$

Por lo tanto:

$$\text{Resolución} = 0.083 \text{ } ^\circ\text{C/bit}$$

En esta función transcribimos la ecuación (3) para realizar la conversión y calcular la temperatura que el sensor nos brinda, luego mostramos la temperatura medida en la pantalla LCD, para lo cual realizamos un proceso de separación entre los valores positivos y negativos y generamos una rutina individual para cada caso.

Finalmente, devolvemos este valor a la función principal.

FUNCIÓN LEERTEMPERATURA
<pre> int leertemperatura(int i) { long temp; unsigned int adc_rd; int B[3]; adc_rd = ADC_read(0); temp = (long)adc_rd * 17; temp = temp / 1023; temp = temp-55; if(temp>=0) { LCD_Chr(1,6,32); B[0]=0; B[1]=(temp / 10) % 10; LCD_Chr_CP(48+B[1]); B[2]=temp % 10; LCD_Chr_CP(48+B[2]); LCD_Chr_CP(223); LCD_Chr_CP('C'); } else { temp=temp*(-1); B[0]=45; LCD_Chr(1,6,45); B[1]=(temp / 10) % 10; LCD_Chr_CP(48+B[1]); B[2]=temp % 10; LCD_Chr_CP(48+B[2]); LCD_Chr_CP(223); LCD_Chr_CP('C'); } Delay_ms(500); return(B[i]); } </pre>

Figura 17. Código empleado en la función leertemperatura

5.2.2.Función “leer”.

Este algoritmo es el encargado de tomar los datos del teclado matricial y convertirlo en su respectivo número. El teclado matricial tiene 12 combinaciones diferentes con siete puertos para obtener sus doce símbolos; en esta función validamos caso por caso y retornamos un número por cada ciclo, por lo tanto si necesitamos un dato de cuatro cifras debemos llamar cuatro veces la función.

El teclado matricial utilizado en el sistema de control esta configurado de la siguiente manera:

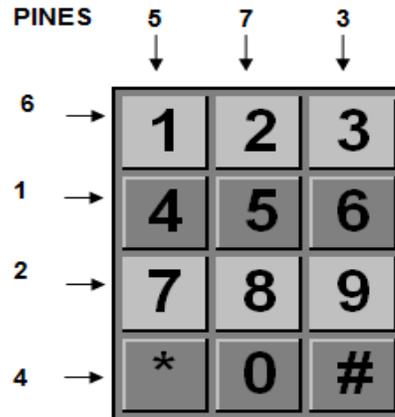


Figura 18. Configuración de teclado matricial de 3x4

El código utilizado para esta función quedo finalmente asi:

FUNCIÓN LEER	
<pre>int leer(int i) { int g; i=i+49; LCD_Chr(1,16,i); while(PORTC.F6!=1) { PORTC=1; Delay_ms(50); if(PORTC.F3==1) { g=1; Delay_ms(50); } if(PORTC.F4==1) { g=4; Delay_ms(50); } if(PORTC.F5==1) { g=7; Delay_ms(50); } if(PORTC.F6==1) { g=45; Delay_ms(50); } PORTC=2; Delay_ms(50); if(PORTC.F3==1) { g=2; } } </pre>	<pre> if(PORTC.F4==1) { g=5; Delay_ms(50); } if(PORTC.F5==1) { g=8; Delay_ms(50); } if(PORTC.F6==1) { g=0; Delay_ms(50); } PORTC=4; Delay_ms(50); if(PORTC.F3==1) { g=3; Delay_ms(50); } if(PORTC.F4==1) { g=6; Delay_ms(50); } if(PORTC.F5==1) { g=9; Delay_ms(50); } } return(g); } </pre>

Figura 19. Código empleado en la función leer

5.2.3.Función “convertirtemp”.

En esta corta secuencia transformamos los valores de temperatura ingresados por el teclado, los cuales se ingresan uno a uno llenando un arreglo, así esta función nos convierte estos tres valores en uno solo.

El código de esta función es el siguiente:

```
FUNCIÓN CONVERTIRTEMP  
int convertirtemp(int c1,int c2,int c3)  
{  
  int c;  
  switch (c1)  
  {  
    case 0:   c=((c2*10)+c3);  
    break;  
    case 45:  c=((c2*10)+c3)*(-1);  
    break;  
  }  
  return(c);  
}
```

Figura 20. Código empleado en la función convertirtemp

5.2.4.Función principal.

Iniciamos esta secuencia de programación contiene cada instrucción para el correcto funcionamiento de sistema anticongelante.

En la primera parte tenemos la configuración de los puertos, las temperaturas mínima y máxima asignadas por defecto y configuramos la LCD, luego leemos la temperatura, y verificamos si esta se encuentra más abajo que la temperatura mínima, si es así, enviamos la señal para el encendido de la electroválvula, hasta que la temperatura supere el rango máximo y apagamos la electroválvula.

Por otra parte, en cada ciclo verificamos si se presiona el pulsador de la programación de rango de temperatura, (este nos pide ingresar un código de seguridad, que es comparado con unos datos configurados por defecto a través de una condicional).

Al acceder al menú de programación asignamos los valores leídos desde el teclado al vector que contiene el valor de cada límite de temperatura, cuyo valor será tomado en cuenta mientras no reiniciemos el control.

La siguiente tabla nos muestra el código empleado para realizar cada función.

FUNCIÓN PRINCIPAL	
<pre> unsigned short Tmin[3],Tmax[3]; char mensaje[11]={'B','I','E','N','V','E','N','I','D','O','\0'}; char mensaje1[15]={'I','N','S','E','R','T','E',' ','C','O','D','I','G','O','\0'}; char mensaje6[15]={'I','N','S','E','R','T','E',' ','N','U','M','E','R','O','\0'}; char mensaje2[6]={'T','E','M','P','\0'}; char mensaje3[14]={'D','E','S','C','O','N','G','E','L','A','N','D','O','\0'}; char mensaje4[6]={'T','M','A','X','\0'}; char mensaje5[6]={'T','M','I','N','\0'}; char mensaje7[14]={'A','B','R','I','R',' ','V','A','L','V','U','L','A','\0'}; char mensaje8[15]={'C','O','N',' ','F','I','N','A','L','I','Z','A','D','A','\0'}; char mensaje9[9]={'C','O','R','R','E','C','T','O','\0'}; int r1,r2,r3,k,prog,T[3],J[4]; void main() { INTCON = 0; ADCON1 = 142; TRISA = 1; TRISB.F3=1; TRISC = 120; Tmin[0]=45; Tmin[1]=5; Tmin[2]=2; Tmax[0]=0; Tmax[1]=0; Tmax[2]=8; Lcd_Config(&PORTB,0,1,2,4,5,6,7); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Cmd(LCD_CURSOR_OFF); Lcd_Out(1,3,mensaje); while(1) { PORTA.F5=1; PORTA.F2=1; PORTA.F1=0; PORTA.F3=0; PORTA.F2=0; Lcd_Out(1,1,mensaje2); T[0]=leertemperatura(0); T[1]=leertemperatura(1); T[2]=leertemperatura(2); Lcd_Out(2,1,mensaje5); Lcd_Chr(2,6,Tmin[0]); Lcd_Chr(2,7,48+Tmin[1]); Lcd_Chr(2,8,48+Tmin[2]); Lcd_Out(2,10,mensaje4); Lcd_Chr(2,15,48+Tmax[1]); Lcd_Chr(2,16,48+Tmax[2]); r1=convertirtemp(T[0],T[1],T[2]); r2=convertirtemp(Tmin[0],Tmin[1],Tmin[2]); r3=convertirtemp(Tmax[0],Tmax[1],Tmax[2]); while(r1<=r2) { Lcd_Out(2,2,mensaje7); PORTA.F5=1; PORTA.F2=0; PORTA.F1=0; </pre>	<pre> PORTA.F3=0; while(r1!=r3^r1>=r3) { PORTC.F7=1; Lcd_Out(1,1,mensaje2); Lcd_Out(2,2,mensaje3); PORTA.F1=1; T[0]=leertemperatura(0); T[1]=leertemperatura(1); T[2]=leertemperatura(2); r1=convertirtemp(T[0],T[1],T[2]); } PORTC.F7=0; PORTA.F1=0; } if(PORTB.F3==0) { PORTA.F1=0; PORTA.F5=0; PORTA.F2=1; PORTA.F3=0; Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Out(1,2,mensaje1); Delay_ms(1000); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Out(1,2,mensaje6); J[0]=leer(0); J[1]=leer(1); J[2]=leer(2); J[3]=leer(3); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); if(J[0]==1&&J[1]==0&&J[2]==2&&J[3]==6) { Lcd_Out(1,4,mensaje9); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Out(1,5,mensaje5); Tmin[0]=leer(0); Tmin[1]=leer(1); Tmin[2]=leer(2); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Chr(2,1,Tmin[0]); Lcd_Chr(2,3,48+Tmin[1]); Lcd_Chr(2,5,48+Tmin[2]); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Out(1,5,mensaje4); Tmax[0]=0; Tmax[1]=leer(0); Tmax[2]=leer(1); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Chr(2,1,48+Tmax[1]); Lcd_Chr(2,3,48+Tmax[2]); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); Lcd_Out(1,1,mensaje8); } Lcd_Out(1,1,"CLAVE INCORRECTA"); Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); } PORTA.F2=0; } } </pre>

Figura 21. Código empleado en la función main

Capitulo 6

6. FUNCIONAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ANTICONGELANTE PARA TANQUE CRIOGENICO DE LA CLÍNICA LA ESTANCIA S.A.

El sistema hidráulico requirió un control que fuera autónomo para regular el suministro de agua, por esto fue diseñado e implementado un dispositivo que utiliza como variable de entrada la temperatura de los evaporadores y una electroválvula como actuador.

En la figura 22 vemos la electroválvula implementada en un *by pass*.



Figura 22. Electroválvula³

El sistema de control cuenta con una pantalla LCD para visualizar la temperatura actual de los evaporadores y los rangos entre los cuales el control debe ejecutar el riego.

Estos rangos se pueden programar con el teclado que tiene el dispositivo.

Además el sistema de control contiene 4 *LED's* que muestran en forma análoga su funcionamiento.



Figura 23. Sistema de control de riego³

6.1. Funcionamiento del sistema de control.

Como vemos en la figura 23 la pantalla LCD nos muestra la temperatura en la línea superior y en la inferior el rango mínimo y máximo; además el dispositivo enciende el primer LED de color rojo para indicar que el dispositivo esta conectado.

En figura 24 vemos dos imágenes en la de arriba muestra el texto “abrir válvula” que indica el momento de la activación de la electroválvula.

En la parte inferior de la figura 24 podemos apreciar el cuarto LED amarillo encendido indicando la apertura de la electroválvula, además nos presenta en la LCD el texto “descongelando” junto a la temperatura tomada por el sensor.



Figura 24. Pantalla LCD mostrando proceso de activación de actuador³

Este mensaje se mantiene hasta alcanzar el rango máximo de temperatura cuando el LED cuarto se apaga y el sistema vuelve a su configuración inicial (figura 23).

6.2. Programación de los rangos máximos y mínimos del sistema de control.

Para comenzar la fase de programación debemos esperar a que el sistema este en su configuración inicial, no podemos entrar en el menú de programación si el sistema se encuentra descongelando. Como primer paso oprimimos el botón inferior derecho durante 2 segundos hasta que muestre "inserte numero1" en la LCD (ver figura 25) y encienda el tercer LED de color azul.

Luego digitamos el primer número del código de seguridad y lo confirmamos con la tecla numeral (#); así sucesivamente con los tres números siguientes. Finalizando la LCD da la confirmación de código mostrando el mensaje "correcto" y entra en la fase de programación de rangos de temperatura, en la cual muestra "Tmin 1" (ver figura 25), donde el sistema espera que insertemos el primer valor, en esta etapa es necesario indicar si la temperatura es mayor o inferior a cero, (para esto se emplea el asterisco (*) si el rango mínimo de temperatura esta bajo cero y cero (0) si es positivo) y confirmamos con la tecla numeral (#). Seguido muestra el texto "Tmin 2" donde insertamos la valor de la decena a ingresar y confirmamos con la tecla numeral (#), por ultimo nos mostrara "Tmin 3" y se ingresa el valor de las unidades de la temperatura deseada. La pantalla LCD muestra el valor configurado para confirmar la temperatura mínima donde se abrirá la electroválvula. Ahora nos pedirá el rango de temperatura máximo para cerrar la electroválvula con el texto "Tmax 1" (ver figura 25) y "Tmax 2" donde asignaremos las decenas y unidades respectivamente, este rango toma solo valores positivos, por lo tanto no es necesario aclarar el signo. Terminando aparece "conf finalizada" y regresa a su estado normal.

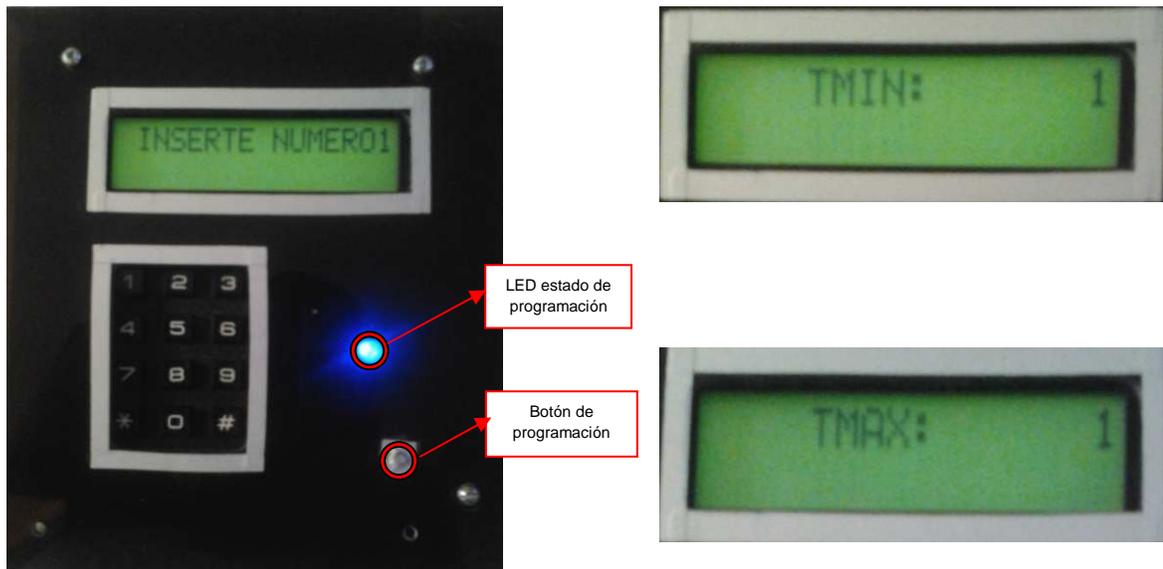


Figura 25. Izq. Pantalla LCD solicitando código para configuración; Der. arriba LCD solicitando primer valor rango mínimo; Der. Abajo LCD solicitando primer valor rango máximo³

Al terminar la configuración los valores que se registran en los rangos deben aparecer en la línea inferior de la pantalla LCD.

6.3. Alimentación eléctrica del sistema de control.

Para este sistema se utilizó una fuente dual de voltaje con dos salidas DC de 6V (5.5A) y -6V (0.5A), con entrada AC de 2A/115V y 0.8A/220V, potencia 60W, protecciones contra corto circuito y sistema de ventilación.

Capítulo 7

7. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL ANTICONGELANTE PARA TANQUE CRIOGENICO.

La instalación se realizó en dos partes, primero se instaló el sistema de riego donde conectamos directamente a la llave de agua a la tubería de riego por medio de un sistema compuesto por tres llaves de paso y una electroválvula, como lo vimos en la figura 24. Para las pruebas cerramos las llaves de paso 1 y 2 (figura 28) y abrimos la llave de paso 3, así controlamos el flujo de agua manualmente,

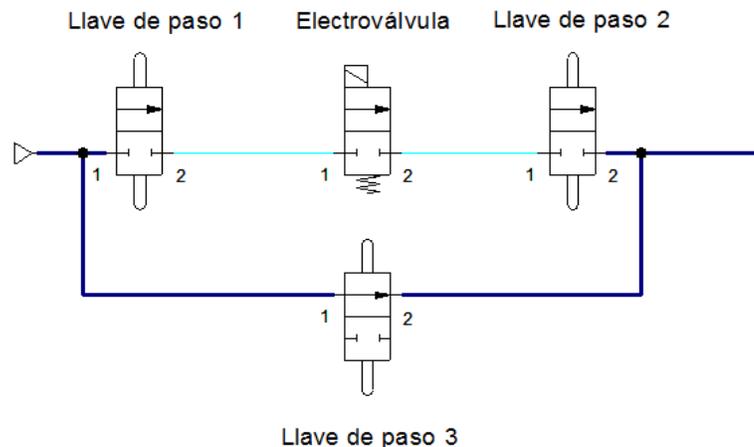


Figura 26. Válvulas de seguridad del sistema de riego⁸

Luego se realizó una prueba abriendo unos agujeros en la tubería de PVC con un diámetro de 5mm y una separación de 20cm donde se notó una pérdida de presión en la parte superior del tanque, además de un congelamiento interno en la tubería de riego que retardaba su funcionamiento, por lo que se decidió disminuir el diámetro a 2mm con una separación de 10cm, lo cual aumentó la presión en

⁸ Figura realizada con el software para diseños de circuitos neumáticos Festo Fluidsim.

cada agujero y además cuando terminaba de regar se formaba una capa delgada de hielo que sellaba la tubería, evitando así, que el aire circulara a través de ella y se congelara internamente.

Esto mejoró la velocidad de respuesta del sistema de riego, además, evitaba considerablemente las fracturas de la tubería causadas por su congelación interna.

Con este sistema de riego se logró cambiar las rutinas diarias de riego que duraban de tres a cuatro horas, en periodos de diez a quince minutos.

En la segunda parte se instaló el control del sistema de riego que se introdujo en una caja metálica para protegerlo de la intemperie, se programó con un rango de -50°C a 12°C para realizar las pruebas y se registró que el sistema de control encendía la electroválvula cada 45 minutos cuando había un aumento del consumo de oxígeno y aproximadamente 5 horas con un consumo normal del mismo, además, los riegos duraban un periodo entre 20 y 30 minutos, otra variable importante en la ejecución del sistema de riego era la humedad relativa del medio, esta define en gran parte el tiempo de apertura de la electroválvula como se muestra en las siguientes gráficas.

En la figura 27 vemos como el tiempo y la frecuencia de la apertura de la electroválvula depende directamente de la humedad relativa del medio.

En la figura 28 podemos notar la humedad relativa del medio ejerce una aceleración en el decremento de la temperatura, sin embargo no ocasiona cambios en el tiempo de descongelación del sistema de control anticongelante.

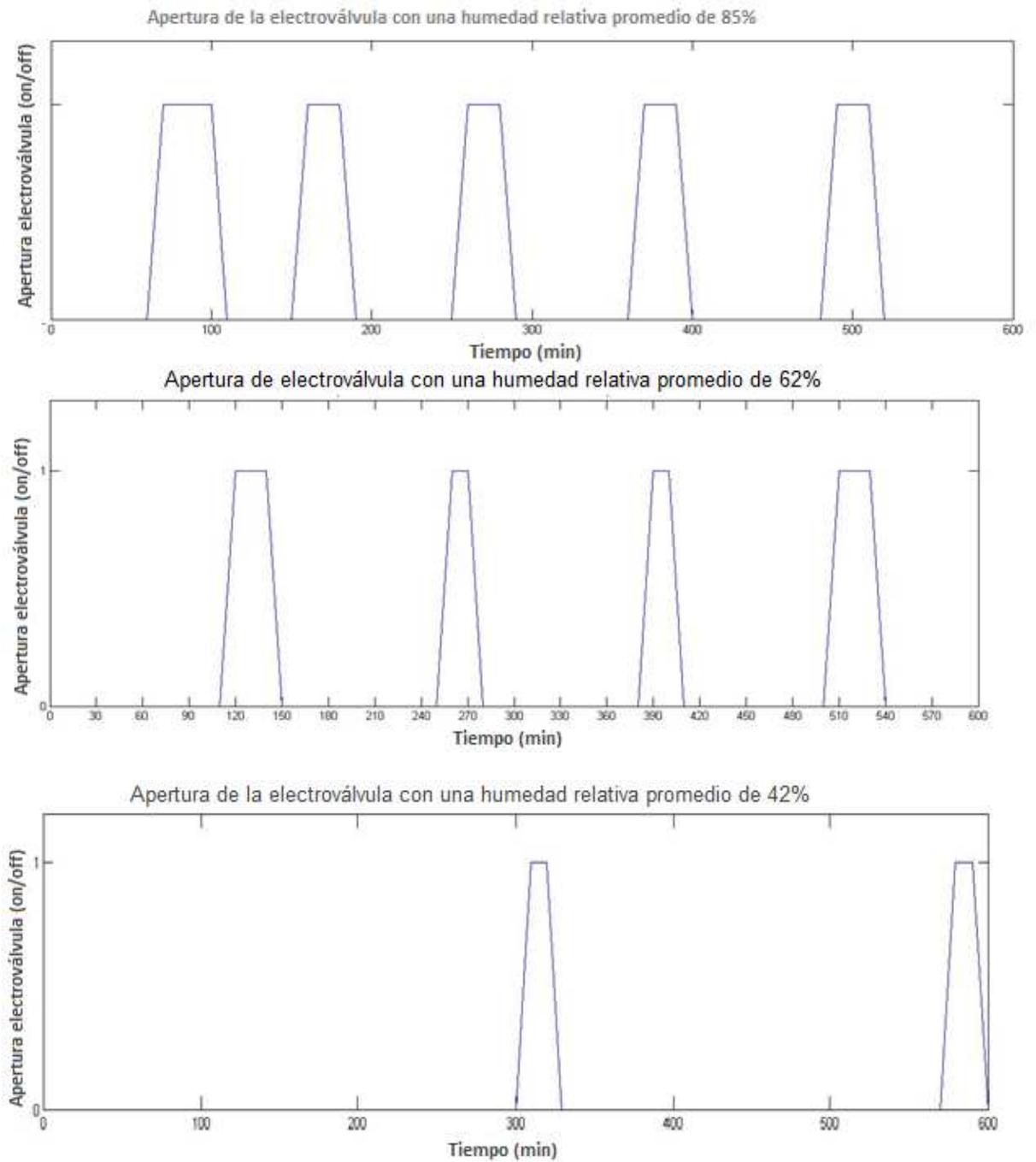


Figura 27. Gráficas de apertura de electroválvula vs tiempo del proceso de descongelamiento de evaporadores y tuberías externas del tanque criogénico⁷

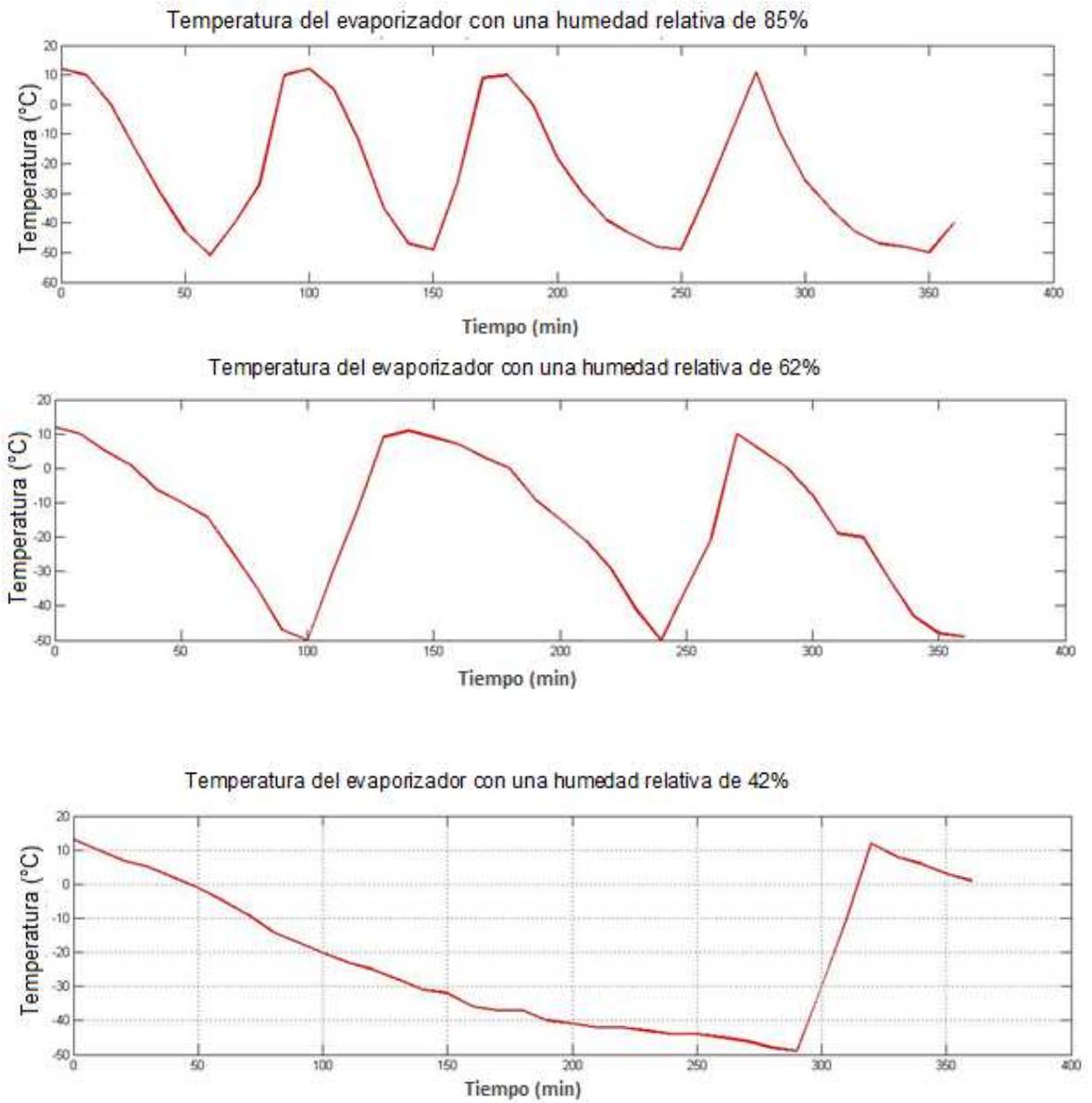


Figura 28. Gráficas de temperatura vs tiempo del proceso de descongelamiento de evaporadores y tuberías externas del tanque criogénico⁷

Capítulo 8

8. CONCLUSIONES

El sistema de control anticongelante generó un menor desperdicio de agua y evita el riesgo de daños ocasionados por el congelamiento de la tubería.

Con el sistema de control implementado el funcionario encargado de este proceso se limita solo a registrar el nivel y presión del tanque, lo que evita que esta persona esté sometida continuamente a estos cambios de temperatura, exponiendo riesgosamente su salud.

Para este proceso se logro una disminución de aproximadamente un 89% en el consumo de agua, más no se eliminó el gasto de este líquido. Este valor se tomó de un promedio de los tiempos gastados por el operario y el sistema de control.

El diámetro y la distancia de separación de los orificios en la tubería que transporta el agua, define el correcto funcionamiento del sistema anticongelante. Cuando los orificios son muy grandes la tubería se congela internamente causando fracturas en si misma, y si por el contrario son muy pequeños, el agua que circula en la tubería no logra salir de ella y el sistema queda completamente inútil. El valor optimo encontrado fue realizar orificios en la tubería espaciados a 10 cm con un diámetro aproximado de 2mm

El material utilizado en los conductos de agua del sistema de riego, es muy resistente a cambios bruscos de temperatura, además de ser el más adecuado por el alto nivel de corrosión al que esta expuesto en el tanque criogénico de oxígeno de la Clínica La Estancia S.A.; a pesar de esto esta tubería presenta desgaste con el tiempo y requiere que se reemplace para mantener un correcto funcionamiento.

8.1. Trabajos Futuros.

Se podría implementar un sistema de circulación y reutilización de agua, utilizando filtros y una motobomba, realizando además una reestructuración de la planta física donde se encuentra ubicado el tanque criogénico de la Clínica La Estancia S.A. para minimizar aun más el gasto de agua.

Sería conveniente realizar una conexión del circuito eléctrico del tanque criogénico de la Clínica La Estancia S.A. con la subestación eléctrica, para evitar que al tener problemas con el fluido eléctrico, el sistema de control quede inhabilitado.

REFERENCIAS

- [1] Flores, Gustavo Alberto «Engelamiento de la Junta de investigaciones de accidentes de aviación» Argentina, 2006
- [2] Flores, Gustavo Alberto « Manual de operaciones de deshielo y antihielo para aeronaves en tierra» segunda edición, Argentina, 2006.
- [3] Curiel Camacho, C., M. Berrios Acosta, F. Casado García, y M. García Diez. «Implantación del Control de Calidad y Seguridad en el Departamento de Electromedicina del Hospital Reina Sofía de Córdoba.» XXI Seminario de Ingeniería Hospitalaria Congreso Nacional, Barcelona, 2004.
- [4] Rodríguez, E., A. Miguel, y M. C. Sánchez. «Gestión de Mantenimiento para Equipos Médicos.» *Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica*, Mayo 2001.
- [5] Hospitalario, Proyecto de Mantenimiento. «Manual de Mantenimiento Preventivo Planificado MPP.» 1999.
- [6] Zaragoza, Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa -. «Procedimientos de Inspección y Mantenimiento Preventivo Prologo.» Servicio de Electromedicina.
- [7] Agafano, Linde HealthcareColombia «Instalacion centralizada de gases Descripción de Partes Manifolds, Controles de Regulación Reguladores Tanques y termos criogénicos » 2004.
- [8] Oxígeno México, Oxígeno y Gases Industriales, Copyright © 2012. <http://www.oxigenomexico.com.mx/gases-medicinales/>.
- [9] Cryoplants España, Copyright2006-2007. http://www.cryoplants.es/tanques_criogenicos.html (último acceso: 28 de septiembre de 2010).
- [10] © ABCpediacom, Copyright 2009 <http://www.abcpedia.com/instalaciones/tuberias-cobre-pvc.html>
- [11] Junta de Andalucía España, Copyright © 2005CEEIBS- .» 2008. http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies_sierra_magina/d_tecnologia