



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICA**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“Sistema Automático para Optimizar el Proceso de
Termoterapia para Erradicar Fitovirus, en el Instituto de
Biotecnología de la UNPRG-Lambayeque”**

AUTORES:

CERNA BENAVIDES, CARLOS ENRIQUE

YOVERA PERALES, EFRAIN

ASESOR:

Ing. CARLOS OBLITAS VERA

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“Sistema Automático para Optimizar el Proceso de
Termoterapia para Erradicar Fitovirus, en el Instituto de
Biotecnología de la UNPRG-Lambayeque”**

Para Optar el Título de Profesional de Ingeniero Electrónico

Presentado por: Bach. CERNA BENAVIDES, CARLOS ENRIQUE

Bach. YOVERA PERALES, EFRAIN

PRESIDENTE: Ing. Manuel Javier Ramírez Castro.

SECRETARIO: Ing. Lucia Isabel Chaman Cabrera.

VOCAL: Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez.

ASESOR: Ing. Carlos Oblitas Vera

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016

TESIS

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Presentada por:

Bach. Carlos Enrique Cerna Benavides

Bach. Efrain Yovera Perales

Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro.

Presidente

Ing. Lucia Isabel Chaman Cabrera.

Secretario

Ing. Oscar Ucchelly Romero Cortez.

Vocal

Ing. Carlos Oblitas Vera

Asesor

LAMBAYEQUE – PERÚ

2016

AGRADECIMIENTO

Carlos Enrique Cerna Benavides

A Dios, porque cada mañana brindada es una nueva oportunidad.

A mis padres, Roberto y Yola, Por su amor y confianza en mí, quienes con su esfuerzo me han permitido terminar esta carrera.

A mis hermanos, Yari y Adherly, quienes siempre me brindan su cariño y apoyo.

A mi novia, Evelyn, por sus palabras de aliento para culminar este proyecto.

Al Ing. Carlos Oblitas, Por su conocimiento compartido.

Efrain Yovera Perales

A Dios, esa fuerza sobrenatural, que nos llena de vida día a día para seguir avanzando.

A mis padres, Viana Cecilia y Pedro Julio que con amor, comprensión y sabiduría me guían y alientan para continuar creciendo como profesional y ser humano.

A mis queridos hermanos, Darwin, Dennis y Jordan, quienes con su alegría y estima llenan mi vida de momentos inolvidables.

A mi novia, Griselda, por sus consejos y apoyo altruista que me animan a afrontar con alegría e inteligencia nuevos desafíos.

A nuestro Asesor Ing. Carlos Oblitas, por su grata colaboración y confianza en este proyecto.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado calificador

Cumpliendo con los requisitos establecidos por el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, sometemos a vuestro criterio la evaluación del presente trabajo: Sistema Automático para Optimizar el Proceso de Termoterapia para Erradicar Fitovirus, en el Instituto de Biotecnología de la UNPRG-Lambayeque, elaborado con el propósito de obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico.

El presente estudio tuvo como objetivo Diseñar un sistema automático que sirva como base para optimizar el proceso de termoterapia para erradicar fitovirus, en el instituto de biotecnología de la UNPRG – Lambayeque.

Con la certeza de que se le otorgará el valor justo y mostrando apertura a sus observaciones, agradecemos por anticipado por las sugerencias y apreciaciones que se brinden a la investigación

Lambayeque,

Bach. Carlos Enrique Cerna Benavides

Bach. Efrain Yovera Perales

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo Diseñar un sistema automático que sirva como base para optimizar el proceso de termoterapia en la erradicación de fitovirus, en el instituto de biotecnología de la UNPRG – Lambayeque.

La Acción de control diseñada para el proceso de erradicación de fitovirus fue Proporcional – Integral (PI), utilizando como unidad de procesamiento central un micro-PLC de la marca siemens, modelo LOGO OBA7 debido a su confiabilidad y robustez en el procesamiento de datos; para programar este controlador se utilizó el software Logosoft confort V7 el cual es de uso libre, ; para el censado de temperatura el sensor seleccionado fue el LM35DT debido a la cantidad de información disponible sobre sus características, buen funcionamiento y bajo coste; finalmente para la etapa de potencia se tuvo como elemento actuador una resistencia eléctrica y como elemento de control de corriente un triac, siendo este sistema simulado en el software Isis Proteus V7 el cual mostro la confiabilidad del mismo.

Así mismo se buscó modelar matemáticamente el comportamiento térmico dentro del ducto térmico de la cámara de termoterapia existente, hallando la función de transferencia de la planta lo que permitió hallar los parámetros correspondientes de la función de transferencia del controlador PI para finalmente desarrollar la función de transferencia del proceso en su totalidad, estas funciones se graficaron en el software Matlab a fin de observar el comportamiento y estabilidad del proceso, posterior a ello se programó y simulo un controlador PI en el micro-PLC usando el Logo soft confort V7.

Las simulaciones del sistema propuesto en los diferentes programas utilizados demostraron la efectividad y confiabilidad del mismo.

ABSTRACT

This research work was aimed to design an automatic system that serves as a basis for optimizing the process of thermotherapy in the eradication of fitovirus, at the Institute of Biotechnology UNPRG - Lambayeque.

The control action designed for the process of eradication of fotovirus was Proportional - Integral (PI), using as central processing unit a micro - PLC of the siemens brand, model LOGO OBA7 due to its reliability and robustness in processing data; this driver to program the comfort Logosoft V7 which is free to use software was used ; for the census temperature sensor was selected LM35DT due to the amount of information available about its features , good performance and low cost ; finally to the power stage was held as an electrical resistance element actuator and as a triac element current control , this system being simulated in Proteus Isis V7 software which showed the reliability of it.

Likewise we sought to mathematically model the thermal behavior within the chamber existing thermotherapy , finding the transfer function of the plant allowing to retrieve the corresponding parameters of the transfer function of the PI controller to finally develop the transfer function of the process whole, these functions are plotted in Matlab software to observe the behavior and stability of the process, after it was programmed and simulated a PI controller into the micro - PLC using the software Logosoft comfort V7 Logo .

The proposed system simulations used in different programs demonstrated the effectiveness and reliability of this system.

Índice

CAPÍTULO I	11
I. INTRODUCCIÓN	11
I.1. Realidad problemática	11
I.1.1. Actualidad de la agricultura	11
I.1.2. Descripción de la realidad	12
I.1.3 Antecedentes de la investigación	13
I.1.4 Definición del problema.....	18
I.1.5 Justificación de la investigación.	18
I.2.- Objetivos de la investigación.	19
I.2.1 Objetivo general.....	19
I.2.2 Objetivos específicos.....	20
I.3.- Variable.....	20
I.3.1 Identificación de variables.	20
I.3.2 Operacionalización de variables.	20
CAPÍTULO II	24
II. MARCO TEORICO	24
II.1. Importancia de la Fitosanidad en el desarrollo de la agricultura como actividad económica emergente en la región Lambayeque y a nivel nacional.	24
II. 1.1. La significancia de la agricultura como actividad económica	24
II.1.2. Desafíos que enfrenta la actividad agrícola.....	28
II.1.3. Medidas fitosanitarias para el tratamiento y erradicación de enfermedades.	33
II.2. Fundamentos de Electrónica intervinientes en la presente investigación.	38
II.2.1. Definiciones Físicas y Matemáticas.....	38
II.2.2. Definiciones fundamentales de electrónica.	53
II.2.3. Descripción del equipamiento electrónico propuesto en el diseño del sistema automático para optimizar el proceso de termoterapia para erradicar fitovirus.	66
CAPITULO III:	74
III. Diseño del sistema.	74
III.1. Descripción del Sistema Existente.-	74
III.1.1. Descripción Física De La Cámara:.....	74
III.1.2. Descripción del funcionamiento de la cámara:	84
III.2. Descripción del Sistema Propuesto.-	88
III.2.1. Condiciones térmicas.	90

III.2.2. Medición de la temperatura.	91
.....	94
III.2.3. Controlador para el proceso térmico.	94
III.3. Función de transferencia de un sistema térmico.	95
III.4. Diseño del controlador PI.	98
III.4.1. Obtención del modelo matemático del sistema.	98
III.4.2. Obtención del modelo matemático del sistema controlado por un controlador PI.	102
III.4.3. Simulaciones en Matlab.	105
III.5. Programación del Controlador.	108
III.5.1. Explicación del Programa desarrollado.	126
III.7. Acondicionamiento y potencia de la señal de salida.	132
III.7.1. Diseño del circuito generador onda diente de sierra.	133
CAPÍTULO IV.	139
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	139
IV.1. Simulación del Proceso Termoterapéutico.	139
IV.2. Control ON/OFF de fluorescentes.	145
IV.3. Sensor de temperatura y amplificación de señal.-	147
IV.4. Onda diente de sierra.-	149
IV.5. Circuito de fuerza MOC y Triac.	150
CAPÍTULO V.	155
I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
V.1.- CONCLUSIONES	155
V.2.- RECOMENDACIONES	157
BIOGRAFÍA	158
ANEXOS	163
INDICE DE TABLAS	170
Índice de imágenes	171

CAPITULO I:
Introducción.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Realidad problemática

I.1.1. Actualidad de la agricultura

En nuestro país, contamos con las condiciones necesarias para realizar un buen desarrollo en la agricultura, tendiendo como regiones: la costa, sierra y selva, las cuales poseen una gran biodiversidad esto aunado a su extensa geografía y variados cambios climáticos, contribuyen a tener una inmensa riqueza en fauna y flora con una grandiosa diversidad biológica. Son éstas las razones por la cuales se debe aprovechar al máximo este potencial para tener una mejor agricultura.

En la región Lambayeque la agricultura es una de las principales actividades de desarrollo, siendo estados unidos y la unión europea los principal destinos de los productos agrícolas lambayecanos, por tanto, Lambayeque debe continuar preparándose para seguir compitiendo, esa es la exigencia del nuevo orden económico mundial, ya que con la globalización y apertura de mercados se requiere de una agricultura competitiva y que sea capaz de generar una oferta de acuerdo a lo que los mercados demandan.

Para ello debemos resolver los problemas que aún limitan nuestra agricultura como es el escaso conocimiento tecnológico del agricultor, el bajo porcentaje de uso de semilla de calidad, la ausencia de innovación tecnológica aplicada a la agricultura, la

falta de tecnología para el control y la erradicación de nuevas plagas y enfermedades imposibilitando el desarrollo de cosechas sanas de calidad, de suma importancia para el desarrollo del sector agrario especialmente si existe la proyección hacia la exportación.

Por otro lado en nuestro departamento se viene desarrollando el gran anhelo lambayecano que es la irrigación de miles de hectáreas del proyecto olmos, es por ello que se quiere de semilla de calidad, libre de fitovirus para obtener un producto con un alto valor nutricional y en excelentes condiciones físicas. Esto es posible con la automatización de procesos en la obtención de semilla de calidad libre de fitovirus.

I.1.2. Descripción de la realidad

EL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNPRG-LAMBAYEQUE, y su área de control biológico, tiene como funciones la obtención de semilla de calidad, libre de agentes patológicos como son los fitovirus, por ello cuentan con una cámara de termoterapia; dicha cámara en la actualidad no se encuentra en funcionamiento debido al deterioro de sus equipamiento tecnológico.

Por lo tanto, la falta de equipamiento tecnológico para realizar la medición y control de parámetros de temperatura, luminosidad y humedad los cuales son los parámetros más importantes ya que fuera de sus rangos permitidos afectan en la obtención de una semilla libre de fitovirus.

La cámara de termoterapia del INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNPRG-LAMBAYEQUE, es una cámara manual por lo que se debe estar realizando mediciones varias veces al día, ya que no se puede predecir en qué momento pueda ocurrir alguna variación de algún parámetro, por más experiencia que se tenga.

Definitivamente con el uso adecuado de los instrumentos y equipos de control se resuelve la problemática antes mencionada, logrando obtener mejores resultados que los que se obtuvieron anteriormente. Un controlador permite realizar constantemente las mediciones de temperatura, simulando el trabajo que realiza la persona encargada en el instituto; esto no justifica que el instituto no requiera de personal, es más debe de capacitar a sus trabajadores para el buen uso de los equipos a utilizar.

I.1.3 Antecedentes de la investigación

- **Saneamiento de la vid CV. Red Globe del virus asociado a la lesión del patrón de uva de mesa (GRSLaV) mediante termoterapia y cultivo de tejidos.**

Alejandro Ernesto Camacho González en su investigación de grado presentada a la Universidad de Chile en el 2005 realizó un estudio preliminar para determinar el efecto combinado de la termoterapia y el cultivo de tejidos in-vitro sobre vid variedad Red Globe, infectada con el Grape vine Root stock Stem

Lesion associated Virus (GRSLaV), para ello cinco plantas de Red Globe provenientes de una planta madre positiva a GRSLaV, verificado a través de RT-PCR, se sometieron a 0; 20; 40; 60; 80 y 100 días a 38 °C y 75% de humedad relativa, en cada período se extrajeron brotes provenientes de los crecimientos nuevos, de estos brotes nuevos se usaron las yemas apicales y se establecieron in vitro. Posteriormente se transfirieron a un medio de enraizamiento, y se aclimataron en invernadero.

Finalmente obtuvieron 10 plantas aclimatadas por cada período y cuando se lignificó el tallo, se sometieron a una prueba de DAS-ELISA y aquellas que resultaron negativas fueron sometidas posteriormente a una prueba de RT-PCR.

El mayor crecimiento de brotes nuevos de las plantas dentro de la cámara de termoterapia se obtuvo a los 60 días, creciendo fuertemente desde los 20 días. Después de este máximo crecimiento, las plantas comenzaron a decaer hacia los tratamientos térmicos de 80 y 100 días.

A los 20 días de tratamiento se obtuvo un 10% de plantas libres de GRSLaV y a los 40 días un 60%. Todos los demás períodos no produjeron plantas sanas. Este resultado deja de manifiesto que no sólo la exposición a las altas temperaturas es efectiva para la obtención de plantas libres de GRSLaV, sino que también lo es la velocidad de crecimiento de los nuevos brotes.

Se demuestra que la combinación de termoterapia con cultivo de tejidos es una herramienta capaz de generar plantas libres de este nuevo patógeno que afecta las vides en Chile.

- **Proyecto - Sistema de Producción Nacional de Semilla de Papa (SEINPA) - Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA).**

Este proyecto fue ejecutado por el centro internacional de la papa entre 1983-1984 en Lima-Perú, y financiado por la cooperación técnica del gobierno suizo; este proyecto se concentra en la producción de semilla básica y en la investigación de este campo, teniendo como objetivo el sector de agricultores con recursos económicos escasos de la sierra alto andina, dominante en la producción de papa en el Perú.

Este proyecto implementa infraestructura productiva consistente en laboratorios de cultivo de tejidos, una cámara de termoterapia, invernaderos y un laboratorio de virología para el chequeo serológico.

En el país se construyeron por este proyecto unos 50 invernaderos, 10 laboratorios de cultivos de tejidos entre otros, los que sirvieron para producir la semilla de calidad para todo el país.

Este sistema de producción de semilla de calidad tiene tres fases:

- Fase de laboratorio: Limpieza de material inicial y propagación de plántulas In Vitro libres de virus, previo chequeo serológico.
- Fase de Invernadero: Producción de tubérculos pre-básicos en invernadero, con chequeo serológico.
- Fase de Campo: Producción de semilla básica en campo.

El proyecto ataca el problema de la calidad de semilla considerando de manera integral los aspectos agroecológicos y tecnológicos del manejo y producción de semilla; se logró la capacitación de técnicos y de semilleros campesinos, así como también se tomaron acciones de desarrollo, orientadas a facilitar el acceso a la semilla de alta calidad para los agricultores con menos recursos económicos de la región alto andina del país.

El proyecto SEINPA tiene como objetivo principal llevar semilla de muy alta calidad al sector de agricultores con escasos recursos económicos de la sierra del Perú, con este esquema es eficiente la multiplicación de la semilla y su distribución.

- **Frutales en el Perú, Carlos Fukuda.**

El grupo empresarial Carlos Fukuda es una compañía de producción agropecuaria de origen peruano, fundada en 1976, que aplica la biotecnología en las áreas de cultivo de tejidos,

certificación, indexación y limpieza de material vegetal a variedades comerciales de cítricos naranjas y mandarinas.

El rendimiento de las especies de cítricos, dentro de las cuales una de las más importantes la naranja Washintonnavel, por ser una variedad sin pepa, con buena cualidades organolépticas y gran aceptación como fruto de mesa o consumo en fresco ha venido decreciendo a causa de la infección de virus y patógenos, que afectan su productividad, vigor, rendimiento y calidad.

El trabajo denominado limpieza de virus de la tristeza en cítricos, se ha desarrollado en tres etapas desde 1997 en cooperación con la universidad Ricardo Palma, en el laboratorio de biotecnología e ingeniería genética de la facultad de biología y cuenta con el apoyo económico del consejo nacional y tecnología, CONCYTEC, tiene entre sus objetivos:

- Realizar fitosaneamiento de materia vegetal mediante las técnicas de meristemas, termoterapia y microinjerción.
- Desarrollar una técnica de micro propagación para cítricos.
- Adaptar las técnicas de microinjerto para las variedades seleccionadas.
- Purificar y caracterizar razas biológicas del virus de la tristeza en cítricos (CTV).
- Inocular y pre inmunizar plantas libres de virus con razas protectoras del virus de la tristeza en cítricos (CTV).

I.1.4 Definición del problema.

¿De qué manera un sistema automático optimizara el proceso de termoterapia para erradicar fitovirus, en el instituto de Biotecnología de la U.N.P.R.G - Lambayeque?

I.1.5 Justificación de la investigación.

La presente investigación se justifica porque la agricultura como motor que impulsa el progreso económico tanto a nivel regional como nacional, se ve amenazada por múltiples factores de tipo político, económico, ambiental y sanitario, que obstaculizan su normal desarrollo y productividad.

La inseguridad fitosanitaria imposibilita el desarrollo de cosechas sanas, debido a la dificultad del sector agrícola para controlar y erradicar enfermedades principalmente las de tipo viral, pese a la existencia de innovaciones tecnológicas orientadas a minimizar dicha problemática como la termoterapia, muy difundida a nivel nacional.

No obstante, esta técnica presenta una limitación en su diseño: el control manual que origina una serie de errores en el control de los parámetros ambientales intervinientes en la terapia que repercuten en la efectividad del tratamiento.

Tomando como referencia estas cuestiones, se propone como una alternativa de solución el diseño de un sistema automático para la optimización de la termoterapia y de este modo, no sólo contribuir con el avance de la agricultura, sino también enriquecer los

fundamentos teórico-científicos de la ciencia Electrónica aplicada en el ámbito agrícola.

La importancia de esta investigación radica en que la validez de sus resultados, permitirá la adopción del sistema automático como un modelo generalizable de aplicar en las distintas cámaras de termoterapia a nivel regional y nacional y así, optimizar esta técnica fitosanitaria, al garantizarse la plena efectividad del tratamiento que posibilite la obtención de productos agrícolas de mayor calidad para el consumo nacional y la exportación y consecuentemente, el crecimiento económico del país.

De la misma manera, la presente investigación adquiere relevancia, ya que por ser *sui generis* en la Región Lambayeque, vinculada a la aplicación de la Ingeniería Electrónica en el campo de la Fitosanidad, traza un camino que motivará la profundización y la expansión de esta línea de investigación; además será un antecedente para nuevas investigaciones científico-tecnológicas que impulsen el crecimiento social, económico y cultural de nuestro país.

I.2.- Objetivos de la investigación.

I.2.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema automático que sirva como base para optimizar el proceso de termoterapia para erradicar fitovirus, en el instituto de biotecnología de la UNPRG – Lambayeque.

I.2.2 Objetivos específicos.

- Analizar el control del proceso de termoterapia como técnica para la erradicación de fitovirus.
- Obtención de la función de transferencia dentro del ducto térmico de la cámara de termoterapia.
- Diseñar un sistema de control de temperatura.
- Seleccionar el equipamiento electrónico adecuado para garantizar el buen funcionamiento del sistema y por consiguiente la optimización del proceso de termoterapia.
- Simulación del diseño propuesto.

I.3.- Variable.

I.3.1 Identificación de variables.

Variable 1:

Sistema automático.

Variable 2:

Termoterapia para la erradicación de fitovirus

I.3.2 Operacionalización de variables.

Tabla 1: Operacionalización de variables.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	SUBINDICADORES	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE Sistema automático.	Operativa	Recoger información	Recoge información por medio de sensores sobre los parámetros del proceso de termoterapia	Formato de evaluación del sistema automatizado con PLC.
		Detectar variaciones en la medición de parámetros.	Detecta variaciones en los parámetros del proceso de termoterapia	
		Ejecutar órdenes de mando.	Acciona automáticamente actuadores.	
	Control o mando	Gestión de las entradas y salidas de datos.	Mantiene el valor de las variables dentro del rango programado. Controla la temporalidad de los parámetros programados.	
		Gestión de la supervisión del sistema.	Activa acciones de seguridad frente a situaciones de riesgo para el sistema.	
	Supervisión	Control de calidad.	Asegura el desarrollo óptimo del sistema automatizado.	

VARIABLE DEPENDIENTE	Equipamiento eléctrico	Operatividad de los equipos eléctricos.	El ventilador opera constantemente a lo largo de todo el proceso. La resistencia eléctrica se activa o desactiva según la temperatura del ambiente. Los fluorescentes emiten la intensidad de luz adecuada.	Formato de evaluación del equipamiento eléctrico.
Termoterapia para la erradicación de fitovirus				
	Terapéutica	Proporcionar un ambiente propicio para la erradicación o inhibición de fitovirus.	La intensidad luminosa, se encuentra 4000 - 3000 lum. La humedad, se mantiene entre 70 - 80%. La temperatura se conserva en los valores correctos.	Registro de medición de temperatura, intensidad luminosa, nivel de agua y humedad.

CAPITULO 2:

Marco teórico.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEORICO

II.1. Importancia de la Fitosanidad en el desarrollo de la agricultura como actividad económica emergente en la región Lambayeque y a nivel nacional.

II. 1.1. La significancia de la agricultura como actividad económica

- **La agricultura en la economía mundial.**

Según Zibecchi (2007), la agricultura es una actividad económica primaria dedicada a la labranza o cultivo de la tierra, siendo su propósito principal la obtención de alimentos para el hombre y proporcionar materia prima a las industrias.

La importancia de la agricultura radica en que es la fuente de suministros alimentarios para toda la humanidad además de ser vital tanto para la estabilidad y crecimiento de cualquier economía.

Así, el documento de la UEFIC - Consejo Europeo de Información sobre Alimentación - (2012), indica que los sectores subdesarrollados de América Latina, África subsahariana y Medio oriente poseen un papel cada vez más importante en la evolución del comercio mundial de productos agrícolas, con un incremento del 2,21% del índice de productividad del sector agrícola, situación que les permite convertirse en exportadores

nuevos y emergentes y reducir la dependencia a los mercados de los países desarrollados.

Por otro lado, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, FAO - (2012), los países desarrollados pertenecientes a la Unión Europea, Estados Unidos, China, Brasil y Canadá se posicionan como los principales productores agrícolas en el mundo, con un incremento del 2,44% del índice de productividad del sector agrícola y el 60% de las exportaciones agrícolas totales.

De este modo la agricultura a pequeña escala según Diouf (2005), representa el principal medio de subsistencia para el 70% de pobres del mundo; asimismo la agricultura a gran escala se torna significativa no solo por ser un fundamento de las economías de países desarrollados, sino también por desempeñar un rol fundamental como actividad económica de los países sub desarrollados.

- **Influencia de la Agricultura en la economía Peruana.**

El MINAG (2010), en su compendio estadístico y económico, estima que hay 2.3 millones de hogares cuya actividad principal es la agricultura representando el 34% de los hogares peruanos, de ellos, el 80.8% pertenece al sector rural y el 10.6% a la zona urbana, constituyendo el 40% de la población económicamente activa y generando aproximadamente el 7.6% del PBI Nacional.

Según el diagnóstico de la agricultura en el Perú realizado por la empresa consultora Libélula (2011), la producción nacional se desarrolla en 2.5 millones de hectáreas, de las cuales el 84% se dedica a la producción de cultivos transitorios y el restante a frutales, siendo los principales productos agrícolas peruanos, el arroz que corresponde 19%, maíz amarillo duro 14%, papa 13%, maíz amiláceo 10%, trigo 7.5%, cebada grano 7.4%, entre otros.

- **Actividad Agrícola en la Región Lambayeque.**

Alva (2011), citando las cifras del censo del 2007, da cuenta de la importancia que tienen las actividades de agricultura, pesca y minería como actividades preferentes de la población Lambayecana; de estas tres actividades, la minería y la pesca ocupan a un porcentaje pequeño de la población, con lo cual la actividad agrícola queda confirmada como la principal ocupación de la población Lambayecana siendo el sector rural el de más importancia en las provincias de Ferreñafe y Lambayeque en las cuales la población dedicada a agricultura representa aproximadamente el 50% de la población económicamente activa.

Por otro lado Vela (2012) indica que la región Lambayeque ha crecido en promedio a una tasa de 5% en la última década, alcanzando su tasa de crecimiento más elevada en el año 2007 siendo esta de 10,6%, asimismo, durante los años 2008 y 2009

a pesar de los efectos de la crisis financiera internacional de la época, el crecimiento del PBI Lambayecano siguió siendo positivo y fue de 8,4% y 3,0% respectivamente, este crecimiento continuo se explica debido a que los productos que exporta Lambayeque a los EE.UU y la Unión Europea son fundamentalmente agroindustriales.

De acuerdo con Alvarado (2013), destacan en el mes de Enero por su contribución al Valor Bruto de Producción (VBP) agrícola la producción de: caña de azúcar (46%), arroz (19%), maíz amarillo (8%), ají paprika (7%), limón (4%), maracuyá (2%), camote (2%), cebolla, frijol caupí, frijol grano seco, maíz amiláceo, maíz choclo, mango, papa, pimienta piquillo, trigo y yuca en conjunto 11%.

Igualmente se consideran como cultivos emergentes lambayecanos el pallar bebé, el zapallo, el loche, el pepino, la zarandaja, el tamarindo y el frijol castilla.

Asimismo los cítricos regionales más importantes son: el limón y el maracuyá; entre las principales leguminosas se encuentran el tamarindo, el frijol caupí, el frijol castilla, el frijol grano seco, la zarandaja y el palla bebe; las solanáceas más representativas son: la papa, el camote y el pimienta piquillo; finalmente entre las cucurbitáceas destacan el zapallo, el loche y el pepino.

II.1.2. Desafíos que enfrenta la actividad agrícola.

- **Problemas que aquejan la agricultura nacional.**

La agricultura en nuestro país ha experimentado un gran avance en los últimos años, sin embargo, aún se mantienen deficiencias que deben ser analizadas y resueltas para lograr un óptimo desarrollo agronómico; en este sentido, el Ministerio de Agricultura (2013), enumera los problemas que afectan a la agricultura peruana:

- ✓ La conservación del medio ambiente.-

Se presenta como un desafío para la agricultura, puesto que el deterioro de los suelos reflejados en la erosión y salinización, es producto de la aplicación de sistemas productivos que generan desequilibrios negativos entre el proceso de extracción y regeneración de los recursos naturales.

- ✓ La existencia del minifundio.-

La existencia del minifundio y su gran dispersión representa un limitante en la eficiencia agrícola productiva, ya que al tener dimensiones tan reducidas impiden al agricultor obtener una producción suficiente para ser comercializada u obtener ingresos monetarios suficientes, obligando al autoabastecimiento y la agricultura de subsistencia.

✓ Los precios y mercados desordenados.-

La actividad agraria se caracteriza por el desorden en la producción y la disminución de su rentabilidad y competitividad. Asimismo, los procesos post cosecha y de mercadeo están sumamente desordenados por la falta de una infraestructura vial adecuada y la ausencia de un sistema de mercados mayoristas, lo cual incide en los altos costos de comercialización que afectan a los productores agrarios.

✓ Asistencia Técnica.-

La falta de asistencia técnica por parte del estado y la ausencia de innovación tecnológica aplicada a la agricultura repercuten negativamente en la consolidación del crecimiento agrario, asimismo la ausencia de la universalidad del crédito agrario y su uso irracional impiden la expansión sostenida y sustentable de la actividad agrícola.

✓ Organizacional.-

De igual manera, la carencia de apoyo al agro por parte de las organizaciones de productores y de otras instancias públicas y privadas, obstaculiza la cooperación inter e intra sectorial y frena el planeamiento organizado de la actividad agraria del país.

✓ Seguridad alimentaria.-

La agricultura debe proveer los alimentos en la cantidad y la calidad necesarias para una vida sana; no obstante, el tema de la seguridad alimentaria implica no sólo mayor producción y productividad sino también una clara conciencia en los consumidores sobre como alimentarse mejor. La insuficiencia de alimentos en cantidad y calidad asociados con malos hábitos alimenticios repercute sobre la calidad de vida del habitante peruano, es por ello que los trabajos en materia de seguridad alimentaria tienen aún mucho por delante.

✓ Sanidad.-

La sanidad en el ámbito agrícola tiene como objetivo primordial cautelar la seguridad fitosanitaria de los cultivos posibilitando el desarrollo de cosechas sanas de calidad controlando y erradicando las plagas y enfermedades; esto es de suma importancia para el desarrollo del sector agrario, especialmente si existe la proyección hacia la exportación; estas acciones representan una enorme incidencia socioeconómica en la actividad agraria, porque un sistema sanitario eficaz es al mismo tiempo funcional al desarrollo exportador.

- **Desafíos para la agricultura Lambayecana.**

Los problemas antes mencionados aquejan a la Región Lambayeque, y se especifican como debilidades en el análisis FODA a la agroexportación Lambayecana realizado por el Ministerio de Agricultura en el año 2008, citado en el Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque.

Dicha problemática se describe como:

- ✓ La poca capacidad de gestión de la Organización de productores.
- ✓ Limitaciones en recursos humanos, logísticos y presupuestales de las instituciones del Sector Agrario.
- ✓ El escaso conocimiento tecnológico de los productores.
- ✓ El incremento de suelos salinos; la insuficiencia de crédito para el desarrollo competitivo de la actividad agraria
- ✓ La alta fragmentación de la tierra.
- ✓ El bajo porcentaje de uso de semilla de calidad botánica y vegetativa.
- ✓ La falta de tecnología para la erradicación de nuevas plagas y enfermedades.

Frente a esta problemática, tanto a nivel nacional como regional se deberían desarrollar políticas que puedan eliminar y/o minimizar los efectos de estas deficiencias, a fin de poder constituir una base sólida para el desarrollo óptimo del agro.

- **El desafío Fitosanitario.**

Según Sánchez (2007), la sanidad vegetal constituye uno de los pilares fundamentales de la producción agrícola, no solamente en términos de defensa de los cultivos, sino considerada en un sentido amplio como medida preventiva correctora en el marco de la ecología de los agrosistemas y como medio esencial para la obtención de un adecuado nivel de seguridad de los alimentos. En este sentido, la fitosanidad contribuye, esencialmente, a caracterizar la multifuncionalidad de la actividad agraria, en los términos hoy en día aceptados de realización de un conjunto de funciones a través del proceso productivo agrícola. Así, conjuntamente con la función económica de la producción de alimentos y materias primas, el proceso productivo agrario de carácter sostenible lleva a cabo la función medioambiental de protección de los recursos naturales y contribuye al desarrollo rural.

- **La tecnología como alternativa para afrontar en el desafío fitosanitario.**

Indudablemente la fitosanidad destaca como uno de los grandes desafíos que debe afrontar la agricultura peruana en la actualidad.

Para garantizar que tanto los productos de agroexportación y los de suministro alimenticio a nuestra nación, contengan un alto valor nutricional, es indispensable la implicancia del

desarrollo tecnológico en la fitosanidad, el cual es imprescindible para el logro de cultivos libres de virus, la consecuente obtención de productos y semillas de gran calidad y una indiscutible mejora en la producción agraria.

II.1.3. Medidas fitosanitarias para el tratamiento y erradicación de enfermedades.

- **Fitopatología y virosis.**

El Portal Frutícola (2013), citando a la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), afirma que cada año el rendimiento de los cultivos a nivel mundial se reduce entre un 20 y 40% debido a plagas o enfermedades de las plantas.

La Fitopatología es la ciencia que estudia los organismos y las condiciones medioambientales que provocan la enfermedad, el proceso de la enfermedad, la interacción entre el agente patógeno y la planta infectada así como también los métodos de prevención, tratamiento y control de enfermedades.

En este sentido para Arauz (1998), en Fitopatología una enfermedad es una alteración fisiológica o morfológica negativa en la planta, que es causada por acción continuada de un agente extraño o por la carencia prolongada de algún factor ambiental esencial para el funcionamiento adecuado de la planta; siendo las enfermedades producidas por virus el

segundo grupo más numeroso de enfermedades de plantas, superado únicamente por las de naturaleza fungosa.

Se denomina virosis a cualquier enfermedad transmitida por virus a las plantas, existiendo un sin número de virus clasificados en diez grupos principales y causantes de aproximadamente 250 enfermedades vegetales que debilitan y destruyen las células y tejidos afectados, disminuyendo o anulando por completo la capacidad de estas células para llevar a cabo sus funciones normales y como resultado la planta muere o se retarda su crecimiento.

Así pues, los productos alimenticios de la Región Lambayeque se ven afectados por diversas enfermedades virales. Las virosis que afectan a los productos más representativos de la región por su potencial exportador según Arauz (1998) son:

- En los cítricos, la tristeza que es la enfermedad viral más destructiva en el ámbito mundial; los síntomas de esta enfermedad varían con la especie y la variedad de la planta; entre los más comunes se enumeran el enanismo, picadura del tallo, reducción del tamaño de fruto, en muchos casos muerte del árbol.
- El Mosaico común del frijol que ataca solamente leguminosas; entre los síntomas encontramos alternancia de áreas verde claro y verde oscuro, con algo de

corrugamiento; el virus puede causar severas reducciones en la cosecha, sobre todo cuando es portado en la semilla.

- En las Solanáceas la enfermedad conocida como el enrollamiento de la hoja de papa, se caracteriza por la presencia de hojas enrolladas hacia arriba; las plantas muestran poco crecimiento y baja producción.
- En las Cucurvitas el virus del mosaico amarillo del calabacín (ZYMV), es uno de los más dañinos que infectan específicamente a las cucurbitáceas, los síntomas foliares consisten en un mosaico amarillo, distorsión y decaimiento, frutos pequeños, con grandes malformaciones y moteado verde.

- **Fitosanidad.**

Como alternativa para minimizar el impacto negativo de las enfermedades se resalta la importancia de las actividades Fitosanitarias.

En este sentido, la revista digital Fruta (2012), define a la Fitosanidad como una ciencia encargada de la prevención y curación de las enfermedades en las plantas y frutos siendo una rama de la agricultura encargada de mantener los cultivos en buen estado, a través de diversos tratamientos y técnicas.

Asimismo, la Organización Mundial del Comercio establece que las medidas fitosanitarias son todas aquellas aplicadas para preservar a los vegetales previniendo y limitando la entrada,

radicación o propagación de plagas, enfermedades y organismos patógenos dañinos.

- **Termoterapia.**

Específicamente la Fitosanidad, en relación a las enfermedades virales tiene como finalidad el combate preventivo de los gérmenes patógenos, teniendo en cuenta que en una planta infectada, solamente se puede eliminar el virus de meristemos a través de la termoterapia o quimioterapia.

En plantas propagadas vegetativamente la limpieza del material involucra el uso de cultivo de meristemos, a menudo complementado con termoterapia o quimioterapia, tal como se muestra en la figura 1.

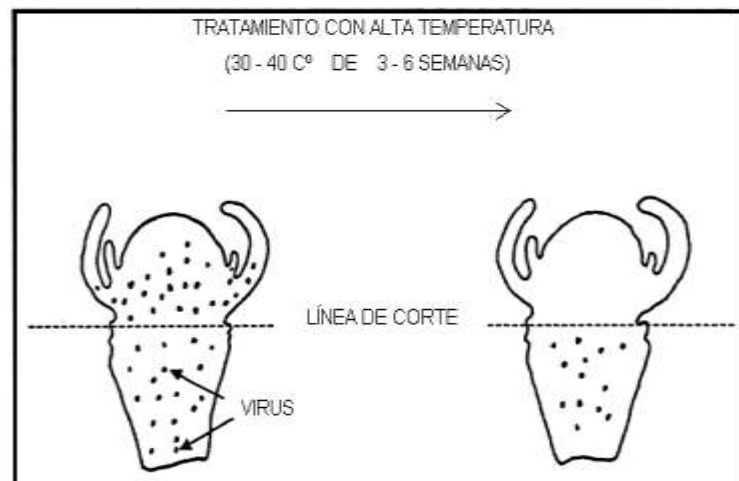


Imagen 1: Cultivo de meristemos y termoterapia.

La Termoterapia es una técnica que consiste en someter a las plantas o partes de ellas a tratamientos térmicos que destruyan o disminuyan la velocidad de replicación de los virus sin matarla, puede utilizarse combinada con el cultivo de meristemas, siendo a veces la única posibilidad de regenerar plantas libres de virus. (Arámburo, 2005).

Del mismo modo, Lunello (2007), indica que las altas temperaturas afectan a los virus retardando la infección, en muchos casos resulta muy eficiente la aplicación de un período de altas temperaturas antes de la extracción de los meristemas para obtener mayor porcentaje de plantas libres de virus. La temperatura y la duración de los tratamientos deben estar estrictamente controladas para lograr resultados satisfactorios.

La termoterapia puede resultar una herramienta útil para eliminar causas de algunas enfermedades, sin embargo, en muchos casos los microorganismos no son eliminados sino atenuados por lo cual la enfermedad puede reaparecer en las siguientes generaciones, especialmente cuando los niveles de incidencia son elevados, y por lo tanto es necesario reciclar periódicamente la semilla termotratada.

A nivel mundial, existen países que cuentan con un programa de certificación de material propagativo como Brasil, EE.UU, España, entre otros que utilizan la termoterapia en sus programas de saneamiento. (NAPPO, 2009).

En el caso del Perú, existe en el Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial una cámara de termoterapia desarrollada por el Programa Nacional de la Papa que se encuentra en operación desde 1989, usada para la erradicación del virus de la Papa.

II.2. Fundamentos de Electrónica intervinientes en la presente investigación.

II.2.1. Definiciones Físicas y Matemáticas.

- **Temperatura.**

La temperatura de un cuerpo indica en qué dirección se desplazará el calor al poner en contacto dos cuerpos que se encuentran a temperaturas distintas, ya que ésta pasa siempre del cuerpo cuya temperatura es superior al que tiene la temperatura más baja; el proceso continúa hasta que las temperaturas de ambos se igualan. La temperatura es una magnitud física que nos indica cuantitativamente, el estado de caliente o frío de un cuerpo, se expresa mediante un número asociado convencionalmente al cuerpo.

En la actualidad la temperatura se considera como una medida de la mayor o menor agitación de las moléculas o átomos que constituyen un cuerpo. Para cuantificarla se relaciona la energía cinética promedio de las moléculas, de modo que una temperatura elevada corresponde una mayor energía cinética

promedio de las moléculas, debido a una mayor agitación molecular.

Las escalas de temperatura más comúnmente usadas son la escala Celsius y Fahrenheit. Con fines de aplicaciones físicas o en la experimentación, es posible hacer uso de una tercera escala llamada Kelvin o absoluta. La escala Celsius es la más difundida en el mundo y se emplea para mediciones de rutina, la escala Fahrenheit se usa en algunos países con el mismo fin, pero para temperaturas relativamente bajas de valores positivos, finalmente la escala absoluta o Kelvin es llamada así por ser éste su creador, siendo lo $^{\circ}\text{K}$ el estado energético más bajo que pueden llegar a alcanzar las moléculas de la materia.

- **Calor.**

El calor es energía en tránsito, cuando la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro sucede por medios no mecánicos, a causa de la diferencia de temperatura entre los cuerpos.

Así mismo la cantidad de calor (Q) se mide por los efectos observables que produce, el más palpable de los cuales es la elevación de temperatura del cuerpo que recibe la energía, por ejemplo si un gramo de agua recibe una cantidad de calor (Q) de modo que cambia su temperatura de 14.5°C a 15.5°C podemos establecer que ha recibido una cantidad de calor, a

esta cantidad de calor recibida se le denomina caloría, que es la unidad del calor en el sistema CGS.

La cantidad de calor que hay que proporcionar a un cuerpo para que su temperatura aumente en un número de unidades determinado es tanto mayor cuanto más elevada es la masa de dicho cuerpo y es proporcional a lo que se denomina calor específico de la sustancia que esté constituido.

Del mismo modo si se calienta un cuerpo directamente en uno de sus puntos, el calor se propaga a los que son más próximos y si la diferencia de temperatura entre el punto calentado directamente y otro situado a cierta distancia es tanto menor podemos establecer que el cuerpo es un buen conductor de calor de lo contrario si la conductibilidad térmica de un cuerpo es pequeña, la transmisión del calor se manifiesta por un descenso rápido de la temperatura entre el punto calentado y otro próximo, tal es el caso del vidrio, la porcelana, el caucho, entre otros materiales no siendo así en los metales como el cobre y la plata, en los cuales la conductibilidad térmica es muy grande y la disminución de temperatura entre un punto calentado y el otro próximo es muy reducido.

- **Transferencia de calor.**

La transferencia de calor no es más que el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro con

menor temperatura o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura.

Tipos de transferencia de Calor:

1. Convección.

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección.

2. Conducción.

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor, a escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas, por lo tanto la conducción tiene lugar cuando dos objetos a

diferentes temperaturas entran en contacto de esta forma el calor fluye desde el objeto más caliente hasta más frío, hasta que los dos objetos alcanzan a la misma temperatura.

Tal es así que en el lugar donde dos objetos se ponen en contacto, las moléculas del objeto caliente, que se mueven más deprisa, colisionan con las del objeto frío, que se mueven más despacio, a medida que colisionan las moléculas rápidas dan algo de su energía a las más lentas. Estas a su vez colisionan con otras moléculas en el objeto frío. Este proceso continúa hasta que la energía del objeto caliente se extiende por el objeto frío.

3. Radiación.

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas y transportada por ondas electromagnéticas o fotones, por lo recibe el nombre de radiación electromagnética.

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

A diferencia de la conducción y la convección, o de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío. Sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas.

- **Transformada de Laplace.**

La Transformada de Laplace es una técnica Matemática que forma parte de ciertas transformadas integrales como la transformada de Fourier, la transformada de Hilbert, y la transformada de Mellin entre otras. Estas transformadas están definidas por medio de una integral impropia y cambian una función en una variable de entrada en otra función en otra variable.

La transformada de Laplace puede ser usada para resolver ecuaciones diferenciales lineales y ecuaciones integrales, por lo tanto cuando se resuelve una ecuación diferencial usando la técnica de la transformada, se cambia una ecuación diferencial en un problema algebraico. La metodología consiste en aplicar

la transformada a la ecuación diferencial y posteriormente usar las propiedades de la transformada.

Definición de la Transformada.

Sea f una función definida para $t > 0$, la transformada de Laplace se define como: $f(t)$

$$L\{f(t)\} = \int_0^{+\infty} e^{-st} f(t) dt$$

Dónde:

- La letra s representa una nueva variable, que para el proceso de integración se considera constante.
- La transformada de Laplace convierte una función t en una función de variable s .

En el estudio de los procesos es necesario considerar modelos dinámicos, es decir, modelos de comportamiento variable respecto al tiempo, esto trae como consecuencia el uso de ecuaciones diferenciales respecto al tiempo para representar matemáticamente el comportamiento de un proceso.

El comportamiento dinámico de los procesos en la naturaleza puede representarse de manera aproximada por el siguiente modelo general de comportamiento dinámico lineal:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + a_{n-2} \frac{d^{n-2} y(t)}{dt^{n-2}} + \dots + a_0 y(t) = x(t)$$

La transformada de Laplace es una herramienta matemática muy útil para el análisis de sistemas dinámicos lineales ya que posee la propiedad de convertir ecuaciones diferenciales lineales en la variable tiempo “t” a ecuaciones algebraicas en la variable compleja “s”, con lo cual se facilita su estudio, de esta forma una vez que se ha estudiado el comportamiento de los sistemas dinámicos, se puede proceder a diseñar y analizar los sistemas de control de manera simple.

Para poder diseñar un sistema de control automático, se requiere:

- Conocer el proceso que se desea controlar, es decir, conocer la ecuación diferencial que describe su comportamiento, utilizando las leyes físicas, químicas y/o eléctricas.
- A esta ecuación diferencial se le llama modelo del proceso.
- Una vez que se tiene el modelo, se puede diseñar el controlador.

- **Función de transferencia.**

Trabajar en el dominio de Laplace no solamente es útil para la resolución matemática de ecuaciones diferenciales, sino también para ser utilizado especialmente con el concepto de función de transferencia.

En general un proceso recibe una entrada $u(t)$ y genera una salida $y(t)$. Si llevamos estas señales al dominio de Laplace tendremos una entrada $U(s)$ que genera una salida $Y(s)$. La función que relaciona salida con entrada se denomina función de transferencia $g(s)$.

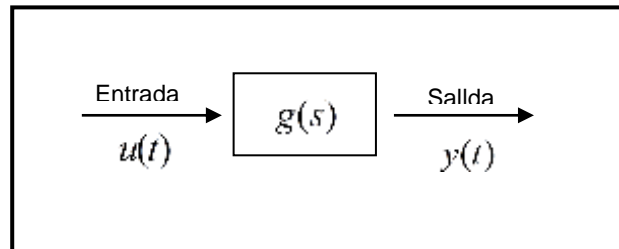


Imagen 2: Diagrama de una función de transferencia.

De modo que:

$$Y(s) = g(s) \times U(s)$$

Por lo tanto podemos establecer que una función de transferencia es un modelo matemático que a través de un cociente relaciona la respuesta de un sistema a una señal de entrada o excitación.

La función de transferencia de un sistema de control nos da la relación de la señal de salida y de entrada, siendo el sistema lineal e invariante en el tiempo. Es importante hacer notar que aunque la función de transferencia relaciona la salida y entrada de un sistema, esta no depende ni de la entrada ni de la salida, ya que solo depende de los componentes internos del sistema de control.

Las unidades de la función de transferencia, serán las que resulten de la relación de la salida a la entrada del sistema, sin embargo no nos da ninguna información sobre la naturaleza física del sistema, por lo que sistemas de control de distinta naturaleza es posible que tengan la misma función de transferencia.

El procedimiento general para obtener la función de transferencia consiste en desarrollar los siguientes pasos:

1. Plantear el modelo matemático del sistema que casi siempre es una o varias ecuaciones diferenciales.
2. Calcular la transformada de Laplace de la o las ecuaciones diferenciales que forman el modelo matemático, suponiendo condiciones iniciales igual a cero.

3. Hallar la relación de la salida $Y(s)$ respecto a la entrada $X(s)$.

Siendo esta relación la función de transferencia.

- **Señales de prueba típicas.**

Las entradas a algunos sistemas de control prácticos, no se conocen con anticipación. En muchos casos, las entradas de un sistema de control pueden variar en forma aleatoria con respecto al tiempo. Por ejemplo, en un sistema de rastreo por radar de misiles antiaéreos, la posición y la velocidad del blanco a rastrear pueden variar en forma impredecible, por lo que no se puede determinar. Esto provoca un problema para el diseñador, ya que es difícil diseñar un sistema de control que tenga un desempeño satisfactorio para todas las formas posibles de señales de entrada.

Para propósitos de análisis y diseño, es necesario suponer algunos tipos básicos de entradas de prueba para evaluar el desempeño de un sistema. Mediante la selección adecuada de estas señales de prueba básicas, no sólo se sistematiza el tratamiento matemático del problema, sino que la respuesta a este tipo de entradas permite la predicción del desempeño del sistema con otras entradas más complejas. En el problema de diseño, los criterios de desempeño se pueden especificar con respecto a estas señales de prueba, en tal forma que el sistema se pueda diseñar para cumplir con dichos criterios. Este enfoque es particularmente útil para sistemas lineales, ya

que la respuesta a señales complejas se puede determinar al sobreponer las respuestas, debido a señales de pruebas simples.

Cuando la respuesta de un sistema lineal e invariante con el tiempo se analiza en el dominio de la frecuencia, se emplea una entrada senoidal con frecuencia variable. Cuando la frecuencia de entrada se barre desde cero hasta el valor significativo de las características del sistema, las curvas en términos de la relación de amplitudes y fases entre la entrada y la salida se dibujan como funciones de la frecuencia. Es posible predecir el comportamiento del sistema en el dominio del tiempo a partir de sus características en el dominio de la frecuencia.

Para facilitar el análisis en el dominio del tiempo, se utilizan las señales de prueba determinísticas como lo son la función escalón, rampa, aceleración, senoidal e impulso. Estas señales permiten realizar análisis experimentales y matemáticos con facilidad ya que son funciones muy simples del tiempo, fáciles de representar matemáticamente y experimentalmente.

1. Entrada función escalón.-

La entrada función escalón representa un cambio instantáneo en la entrada de referencia. Por ejemplo, si la entrada es una posición angular de un eje mecánico, una entrada escalón representa una rotación súbita del eje. La

representación matemática de una función escalón de magnitud R es:

$$R(t) = \begin{cases} R & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

En donde R es una constante real. O bien:

$$R(t) = Ru_s(t)$$

En donde $Ru_s(t)$ es la función escalón unitario.

La representación gráfica de la función escalón como función del tiempo se muestra a continuación.

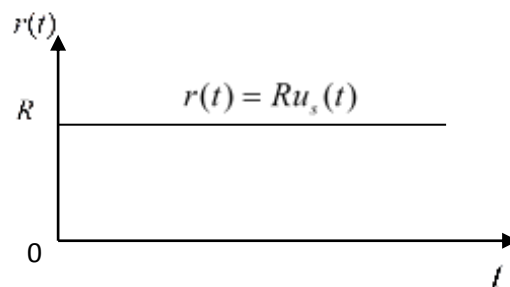


Imagen 3: Función escalón

La función escalón es muy útil como señal de prueba, ya que su salto instantáneo inicial de amplitud, da mucha información acerca de la velocidad de respuesta del sistema, revela qué tan rápido responde un sistema a entradas con cambios abruptos. Además, como la función escalón contiene en principio, un espectro con una banda ancha de

frecuencias debido a la discontinuidad del salto, es equivalente como señal de prueba, a la aplicación de numerosas señales senoidales con un amplio rango de frecuencias.

2. Entrada función rampa.-

La función rampa es una señal que cambia constantemente en el tiempo. Matemáticamente una función rampa se representa mediante:

$$R(t) = Rtu_s(t)$$

En donde R es una constante real. La representación gráfica de la función rampa se muestra a continuación.

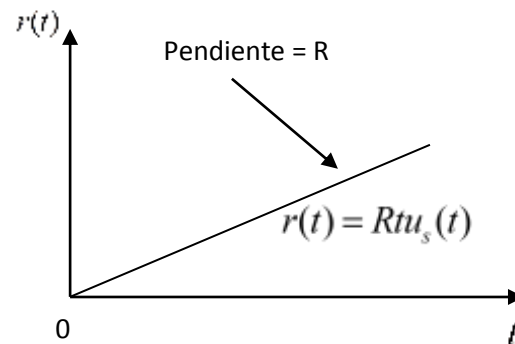


Imagen 4: Función rampa

Si la variable de entrada representa el desplazamiento angular de un eje, la entrada rampa denota la velocidad de rotación constante del eje. La función rampa tiene la habilidad de probar cómo responde el sistema a señales que varíen linealmente con el tiempo.

3. Entrada función Parabólica.-

La función parabólica representa una señal que tiene un orden más rápido que la función rampa. Matemáticamente, se representa como:

$$R(t) = \frac{Rt}{2} u_s(t)$$

En donde R es una constante real y el factor 1/2 se añade por conveniencia matemática.

La representación gráfica de la función parabólica se muestra a continuación.

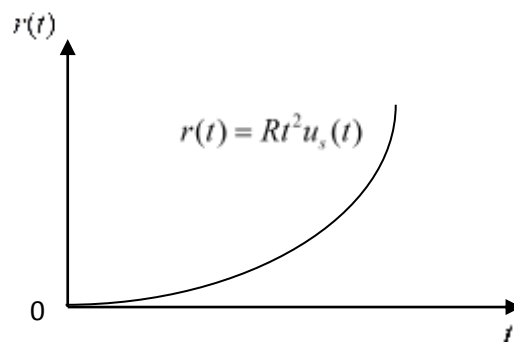


Imagen 5: Función parabólica

Estas señales tienen la característica común de que son simples de describir en forma matemática.

La forma de la entrada a la que el sistema está sujeto con mayor frecuencia, determina cuál de las señales de entrada típicas se debe usar, para analizar las características del sistema. Si las entradas para un sistema de control son funciones del tiempo que cambian en forma gradual, una

función rampa sería la señal de prueba más apropiada. Si un sistema está sujeto a perturbaciones repentinas, una función escalón sería una buena señal de prueba. Para un sistema, sujeto a una entrada de choque, una función impulso sería la mejor.

II.2.2. Definiciones fundamentales de electrónica.

- **Control de procesos.-**

Según Sánchez (2003), el término proceso utilizado en control de procesos o procesos industriales, se refiere a cambiar o refinar materias primas para lograr un producto final; la materia prima, que puede o no cambiar de estado físico durante el proceso, es transferida, medida, mezclada, calentada, enfriada, filtrada, almacenada o manipulada de alguna manera para producir el producto final.

El controlar un proceso, se refiere a como se controlan variables inherentes al mismo, para reducir la variabilidad del producto final incrementar la eficiencia, reducir el impacto ambiental y mantener el proceso dentro de los límites de seguridad que corresponda.

El control es un elemento esencial de prácticamente todos los sistemas de ingeniería ya que si los diseños sólo se basan en el comportamiento estático pueden dar pobres resultados.

Según Sánchez (2004), existen 3 tipos de variables a tomar en cuenta cuando se va a ejercer una acción de control y son:

- La variable controlada (CV). es la característica de calidad o cantidad que se mide y controla, en otras palabras, la variable controlada es el elemento que se desea controlar.
- La variable manipulada (MP), es la cantidad o condición de materia o energía que es modifica o manipulada por el controlador automático para afectar el valor de la variable controlada en la proporción debida.
- La variable de perturbación (DV), es toda variable que tiene influencia sobre la variable controlada pero no puede ser modificada directamente por la variable manipulada.
- La consigna, es la posición de referencia de la variable controlada, también se conoce con los nombres de punto de ajuste o set point; puede cambiarse de forma manual, o bien automáticamente en función de otro controlador.
- El punto de control, es el valor real de la variable controlada; dependiendo del tipo de control efectuado, a veces no coincide con el punto de consigna, dando como resultado una desviación permanente.

- **Control manual.**

Al principio, los procesos industriales fueron controlados manualmente por un operador. El operador observaba lo que

sucedía, por ejemplo el descenso de la temperatura de un proceso, y hacía ajustes tales como movimiento de válvulas u otros actuadores basados en las instrucciones de operación y en el propio conocimiento que el operador tenía del proceso.

Este lazo de control proceso-sensor-operador-válvula-proceso ilustra un concepto básico en el control de procesos.

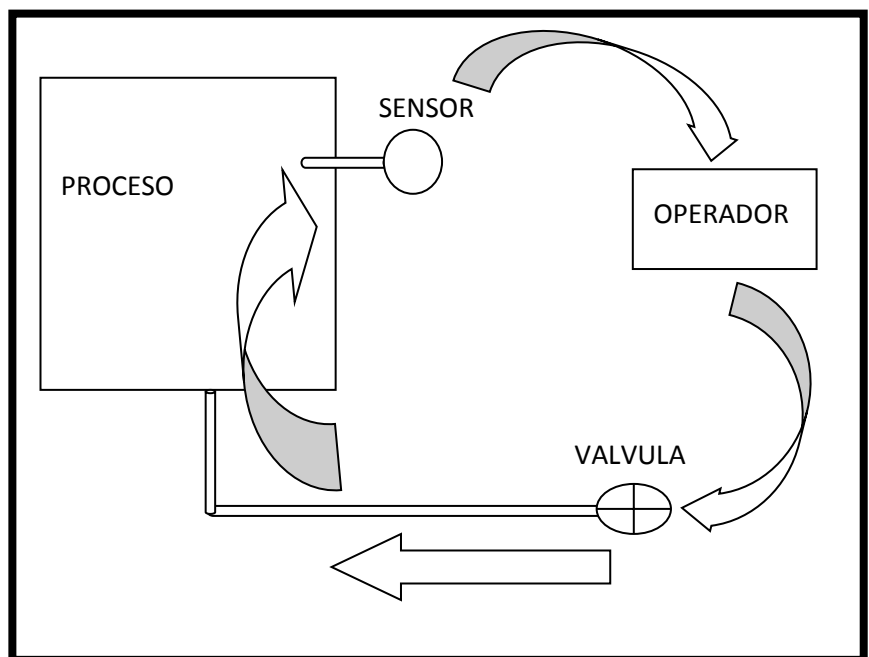


Imagen 6: Diagrama de bloques de un control manual.

Con el control manual, por tanto, sólo la adecuada reacción de un operador experimentado mediaba entre una evolución normal del proceso y otra errática. Además, un operador sólo podrá observar y ajustar unas pocas variables del proceso, limitando la complejidad de las estrategias de control que puedan ser usadas bajo control manual.

- **Control Automático.-**

La medición y el control en la industria son muy importantes, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado entre costes y producto final, es por ello que el control automático de procesos industriales es hoy en día una actividad multidisciplinar, en la que hay que tener en cuenta aspectos técnicos (electrónica, informática de sistemas, etc.), científicos (investigación de nuevos criterios y materiales, etc.) y económicos (mejora de los márgenes comerciales sin perder calidad y competitividad).

Podemos definir el control automático de procesos como, la elaboración o captación de un proceso industrial a través de varias etapas, con el uso libre de los equipos necesarios para ahorrar tiempo manual y esfuerzo mental, con el fin de mantener un valor deseado dentro de una cantidad o condición preestablecida, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla, en consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana, es por ello que el elemento más importante de cualquier sistema de control automático es lazo de control realimentado básico.

El control automático de procesos es una de las disciplinas que se ha desarrollado a una velocidad vertiginosa dando paso a la segunda revolución industrial, además su estudio y aplicación ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas y beneficios asociados al ámbito industrial, que es donde tiene una de sus mayores aplicaciones, debido a la necesidad de controlar un gran número de variables y a la creciente complejidad de los sistemas.

- **Automatización.**

Según García (1999), la automatización es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos sustituyendo a operadores humanos.

El funcionamiento de todo sistema automático se asienta en la confrontación de una información de mando, que describe el programa deseado, con una información de estado, confrontación de la que se derivan las órdenes de mando que han de darse a los accionadores que actúan sobre el sistema, modificando así su estado. Esta sucesión de operaciones se suceden en una estructura de bucle cerrado, donde un centro de operaciones de mando y de control, asegura el buen comportamiento de la instalación.

La automatización se emplea para fabricar bienes de consumo, permitiendo disminuir costos, obtener una calidad aceptable, y reducir al mínimo defectos, mermas y tiempos muertos. Además

permite que los productos generados, sean más competitivos en el mercado; es aplicada en procesos donde el riesgo de sufrir accidentes es alto, o en sistemas donde la complejidad de realizar operaciones simultaneas es necesario.

Según Katsuhiko (2003), la automatización nació con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por seres humanos y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana.

La automatización para la industria, es usar tecnología que integre un proceso de control a través de dispositivos capaces de tomar decisiones e interactuar con otros, basándose en un programa establecido por el integrador para el manejo de algunas variables, mediante su monitoreo y comparación con un valor esperado del proceso; esto se realiza de manera automática, generando en el sistema mayor productividad, confiabilidad, estabilidad y calidad en sus resultados.

Los principales componentes de la automatización son los transductores y los captadores de información, los pre-actuadores (relés, contadores etc.) y accionadores (motores, órganos desplazamiento lineal etc.), así como los órganos de tratamiento de la información, en particular los ordenadores y en general los sistemas basados en el microprocesador. Su naturaleza depende de la del sistema contemplado, automatismo secuencial o servosistema.

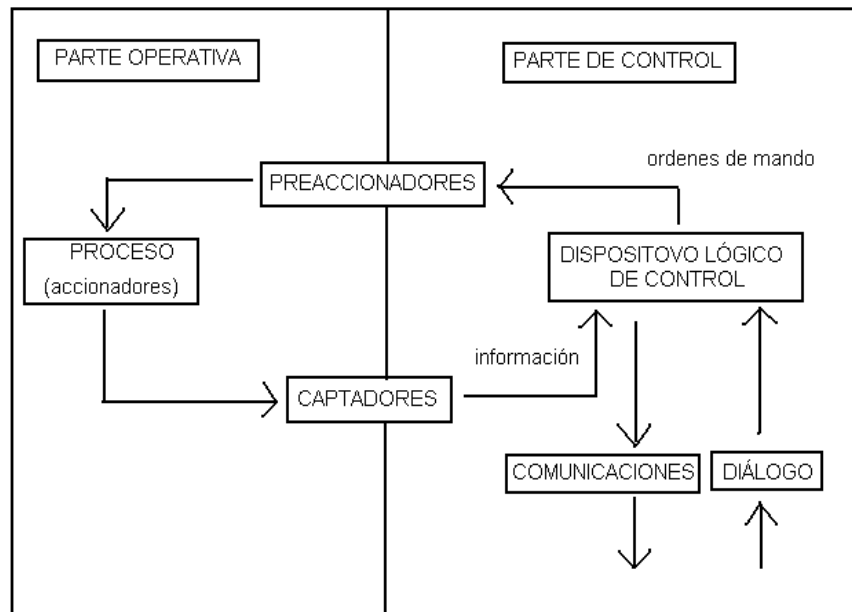


Imagen 7: Modelo estructural de un sistema automatizado.

✓ Tipos de control.-

1. Control de lazo cerrado.

Según Cosco (2008), se denomina sistema de control de lazo cerrado, al sistema que en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida del sistema y el valor deseado o set point, esto se logra midiendo la variable controlada mediante los captadores o sensores para luego convertirla en señal y finalmente retroalimentarla al sistema con el fin de compararla con la señal de entrada referencial que es la señal que se espera obtener; la diferencia entre la señal referencial y la señal retroalimentada constituye la señal de error, la cual es empleada por la unidad de control para calcular la variación a realizar en la variable manipulada y

mediante los accionadores o actuadores restablecer la variable controlada en su valor de referencia.

Del mismo modo Mora (2008), indica que en los sistemas de control de lazo cerrado la acción de control está en función de la señal de salida, y se caracterizan por su propiedad de retroalimentación además de ser más estables a perturbaciones y variaciones internas.

Un control de lazo cerrado se compone de un proceso, el sistema de medición de la variable controlada, el sistema de control y el elemento final de control.

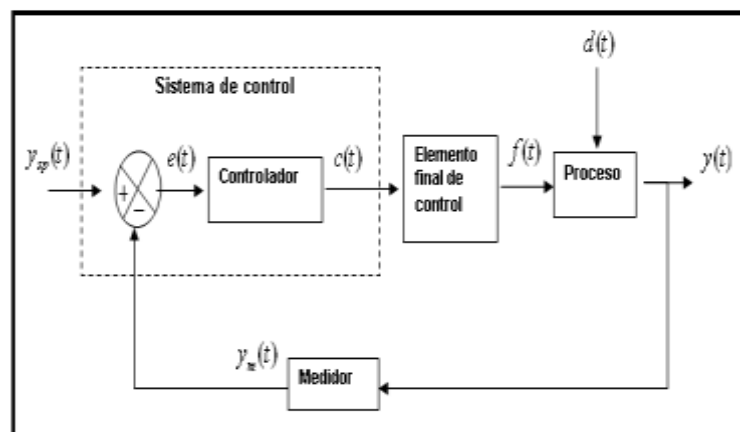


Imagen 8: Diagrama de bloques de un control de lazo cerrado

El proceso descrito en el diagrama de bloques de la figura 7, puede tener dos posibles entradas: **f (t)** que es la variable manipulable **yd(t)** que representa a las perturbaciones. Las perturbaciones pueden ser una entrada en cualquier punto del lazo de control, pero normalmente son debidas al proceso. La respuesta del

proceso es la variable controlada que normalmente se indica cómo $y(t)$. Esta variable es la respuesta global del sistema formado por todos los elementos del lazo de control.

El valor de la variable controlada se mide con un sensor, en este caso será un LM35, cuya dinámica viene descrita por la función de transferencia G_m . Como salida de este proceso se obtiene la variable controlada medida $y_m(t)$.

El valor de y_m se compara con la consigna $y_{sp}(t)$ para obtener el error $e(t)$. Este error es la entrada del controlador, cuya función de transferencia es G_c . Esta acción de control $C(t)$ modifica al elemento final de control G_f . Si el sistema de control funciona correctamente este cambio de la variable controlada debe tender a eliminar el error.

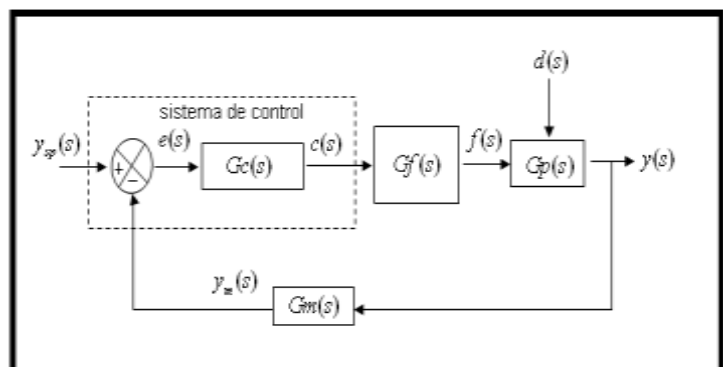


Imagen 9: Función de transferencia en control de lazo cerrado.

2. Control de lazo abierto.

En estos sistemas la salida no afecta la acción de control, es decir que en este tipo de control no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada ya que la información o variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección, por lo tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija, lo que obliga a que la precisión del sistema sea dependiente de la calibración del mismo.

Un ejemplo de este tipo de sistemas de control es el calentador eléctrico de agua que usamos a diario en nuestras casas. Cuando lo conectamos a la red de energía eléctrica, lo encendemos y abrimos la llave del agua, esta comienza a pasar a través de una resistencia eléctrica la cual va calentando gradualmente el agua.

Es por ello que los sistemas de lazo abierto la salida no afecta la acción de control además no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas.

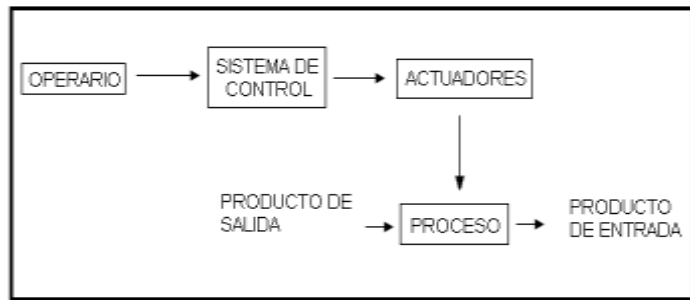


Imagen10: Diagrama de bloques de un control de lazo abierto.

✓ Acciones de control.-

1. Control PI.

En este tipo de controlador la acción de control es:

$$c(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) dt + C_s$$

Donde τ_I es el tiempo integral o tiempo de reset. Se suele expresar como minutos por repetición y se suele encontrar entre $0.1 \text{ min} \leq \tau_I \leq 50 \text{ min}$. También se puede expresar como $\frac{1}{\tau_I}$ (repeticiones por minuto) y se conoce como la velocidad de reset. K_c es la ganancia del controlador, tal como ocurre con el controlador proporcional. Al conjunto $\frac{K_c}{\tau_I}$, a veces, se le conoce como la ganancia integral K_I .

A τ_I se le conoce como el tiempo de reset porque es el tiempo necesario para que el controlador repita la acción de control inicial:

$$\frac{K_c}{\tau_I} \int_0^{\tau_I} \varepsilon dt = \frac{K_c}{\tau_I} \varepsilon \tau_I = K_c \varepsilon$$

Para un error constante con el tiempo, como por ejemplo, el debido a un escalón. La función de transferencia de este tipo de controladores es:

$$G_{(s)} = K_{(c)} \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} \right)$$

El tiempo integral τ_I ajusta la acción del control, mientras que un cambio en el valor de K_c afecta las partes integral y proporcional de la acción de control.

El inverso del tiempo integral τ_I se denomina velocidad de reajuste, que es la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto.

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero, con una acción integral, un error pequeño positivo siempre nos daría una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control sería decreciente.

Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI, ya que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

2. Control ON – OFF.

La acción del controlador de dos posiciones tiene un simple mecanismo de construcción, por esa razón este tipo de controladores es de los de más amplio uso, y comúnmente utilizados en sistemas de regulación de temperatura.

La salida del controlador ON-OFF, o de dos posiciones, solo puede cambiar entre dos valores al igual que dos estados de un interruptor, el controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado pues el controlador produce una continua desviación del valor de referencia.

Un controlador on-off opera sobre la variable manipulada solo cuando esta cruza la temperatura deseada SP, en este caso la salida tiene solo dos estados, completamente activado (on) y

completamente desactivado (off); un estado es usado cuando la temperatura está en cualquier lugar sobre el valor deseado y el otro cuando la temperatura está en cualquier punto debajo de la temperatura deseada SP.

II.2.3. Descripción del equipamiento electrónico propuesto en el diseño del sistema automático para optimizar el proceso de termoterapia para erradicar fitovirus.

- **Controladores Lógicos Programables – PLC's.**

Según Mora (2001), un PLC es una máquina electrónica programable por personal no informático, destinada a cumplir en un ambiente industrial y en tiempo real funciones de automatismos lógicos, combinatorios y secuenciales.

Del mismo modo la IEC 61131, define un autómata programable como un sistema electrónico, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucción es orientadas al usuario, además de poder implantar soluciones específicas como: funciones lógicas, secuencia, temporización, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas digitales y análogas diversos tipos de máquinas y procesos.

Entre los tipos de PLC's según Mateos (2000), encontramos:

- Compactos, ya que en un solo bloque se encuentran la CPU, la fuente de alimentación, la sección de entradas y salidas, y el puerto de comunicación; este tipo de PLC se utiliza cuando

nuestro proceso a controlar no es demasiado complejo y no requerimos de un gran número de entradas y/o salidas ó de algún módulo especial.

- Semimodulares, a este tipo de autómatas se les puede integrar módulos de entradas y salidas digitales y analógicas.
- Modulares, estos se montan sobre Rack's, y la CPU es independiente de la fuente de alimentación así como de las entradas y salidas digitales y analógicas, este tipo de autómata se arma de acuerdo a las necesidades del proceso y por su estructura suelen ser más flexibles que los anteriores.

Finalmente Reyes (2008), indica que la configuración del autómata, llamada arquitectura interna, como en todo sistema basado en un microprocesador, incluye fundamentalmente los siguientes cuatro bloques básicos: una CPU o unidad central de proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM), y las interfaces de entradas y salidas conectadas al bus interno. A su vez, tanto la CPU como la memoria de programa están conectadas a dicho bus interno.

- **Logo! de Siemens.-**

El Logo! de la marca SIEMENS es un micro PLC que destaca por su facilidad de manejo, alta capacidad de almacenamiento y un uso eficiente de la memoria, además de poder gestionar todo un proceso sin instalaciones complejas ya que podemos usar

sus módulos de ampliación. Integra la unidad de control, unidad de mando y visualización con retro iluminación, fuente de alimentación, interfaz para módulos de ampliación, interfaz para módulo de programación, cable para PC, funciones básicas habituales pre-programadas, temporizador, marcas digitales y analógicas, entradas y salidas en función del modelo.

Una amplia gama de módulos permite ampliar LOGO! De manera personalizada hasta 24 entradas digitales, 16 salidas digitales, 8 entradas analógicas y dos salidas analógicas. También pueden incluirse módulos de comunicación para AS-Interface y KNX, también es compatible con funciones especiales como el regulador PI, la función de rampa y el multiplexado analógico.

Con Logo! pueden utilizarse cuatro de las ocho entradas digitales disponibles por hardware como entradas analógicas y otras cuatro como entradas rápidas de contador hasta una frecuencia de 5 kHz. Con memoria para 200 bloques de función, estos módulos ofrecen capacidad suficiente para un gran número de aplicaciones independientes con 12/24 V DC. Para una mayor comodidad de manejo en la práctica, se ofrecen hasta 50 textos de aviso de cuatro líneas, con 32 caracteres por línea, que representan con toda claridad los parámetros de máquina relevantes. A ello contribuyen también opciones bien estudiadas como el texto en desplazamiento horizontal, los gráficos de barras o los parámetros de estado. Los bloques de

función para aritmética y la modulación de ancho de impulso abren también un gran abanico de posibilidades.

En los nuevos modelos básicos Logo! OBA7, podemos encontrar dos módulos de expansión adicionales y en estos nuevos modelos la interfaz usada hasta ahora ha sido sustituida por una interfaz Ethernet situada en la parte inferior, siendo esta la característica más destacada de estos nuevos modelos. Sirve como interfaz de programación y para la comunicación con otros módulos básicos LOGO! OBA7 o componentes de automatización SIMATIC como CPU SIMATIC S7, paneles HMI y PC. A través de la interfaz Ethernet pueden conectarse en red hasta ocho módulos LOGO!, además hay ahora una ranura para tarjetas SD en el lado derecho del frente, que pueden usarse para copiar programas, almacenar datos o proyectos y sus correspondientes comentarios, también la memoria de programas se ha ampliado a 400 bloques de función, y en lugar de respaldo por pila opcional se ha prolongado el respaldo interno del reloj en tiempo real hasta un periodo de 20 días.

A pesar de estos cambios externos, los nuevos modelos son compatibles con todos los módulos E/S existentes, así en los nuevos equipos LOGO! pueden usarse también programas de las generaciones anteriores.



Imagen 71: Micro PLC LOGO! - Display LOGO! TD.

- **LogoSoft Comfort.**

El LogoSoft Comfort es un software de programación, ligado al micro PLC Logo de Siemens, que ofrece una simulación en PC de un Logo. Con el software de programación los programas de conmutación se pueden elaborar, ensayar, modificar, archivar e imprimir directamente en el PC. Esta elaboración offline del programa de conmutación aumenta muy notablemente la facilidad de manejo del Logo!, debido a que la pantalla de un PC refleja una imagen del equipo a programar además de poder transferir los programas entre el PC y el Logo!.

A través de este software se pueden elaborar programas de dos formas de representación, el esquema de contactos KOP y el diagrama de funciones FUP de forma más eficiente, confortable y clara colocando los elementos de programación libremente en una plataforma de programa y uniéndolos entre sí para luego en la simulación offline verificar el estado de las funciones

especiales así como también la documentación con calidad profesional de los programas elaborados, permite además simular inmediatamente segmentos sueltos de programa para poder optimizarlos y más adelante poder integrarlos en la funcionalidad global.

- **Sensor de temperatura LM 35.-**

El LM35 es un sensor de temperatura que tiene precisión calibrada aproximada de 1°C. Su rango de medición puede ir desde -55°C hasta 150°C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV.

Las características del LM35 más importantes son:

- ✓ Mide la temperatura directamente en grados Celsius.
- ✓ El voltaje de salida es proporcional a la temperatura.
- ✓ Tiene una precisión de 0.5°C a 25°C.
- ✓ Trabaja entre 4 y 30 volts de alimentación.
- ✓ Tiene una baja impedancia de salida.
- ✓ Tiene una baja corriente de alimentación (60uA aproximadamente).
- ✓ Es de bajo costo.

Es importante destacar que el sensor LM35 no requiere de circuitos adicionales para calibrarlo externamente ya que su tensión de salida lineal es proporcional a la temperatura del ambiente en grados Celsius. La baja impedancia de salida, su Salida lineal y su precisa calibración hace posible que esté integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control.

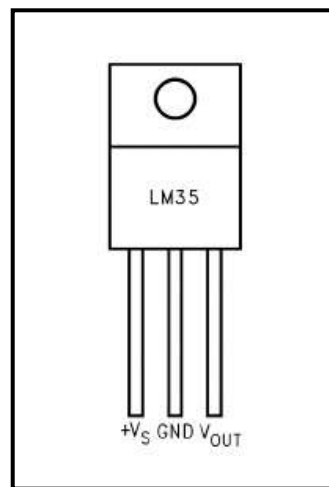


Imagen 82: Sensor de temperatura LM 35TD.

CAPITULO III:

Diseño del sistema.

CAPITULO III:

III. Diseño del sistema.

III.1. Descripción del Sistema Existente.-

La cámara de termoterapia existente en el instituto de biotecnología de la UNPRG cuenta con equipos analógicos y de control manual que necesitan mantenimiento para corregir anomalías en su funcionamiento, además de presentar daños en su estructura que deben corregirse a fin de maximizar la calidad del tratamiento.

III.1.1. Descripción Física De La Cámara:

➤ Tamaño.

A continuación se presentan las medidas de la cámara de termoterapia existente en el instituto de biotecnología de la UNPRG.

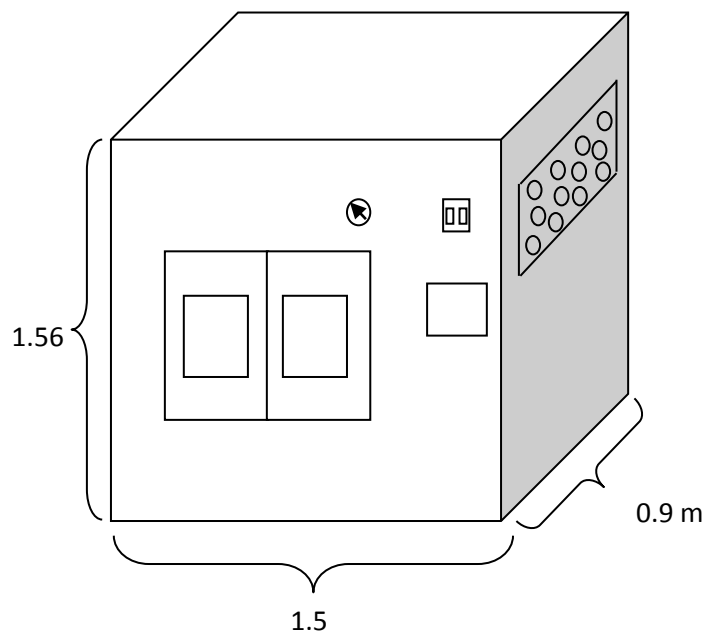


Imagen 93: Dimensiones de la cámara de termoterapia

Como se puede observar en la figura anterior la cámara de termoterapia existente posee las siguientes medidas:

Largo = 1.57 m.

Alto = 1.56 m.

Profundidad = 0.9 m.

Lo que da un volumen total de:

Volumen = Largo x Alto X Profundidad.

$V = 1.57 \text{ m} \times 1.56 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$

$V = 2.2 \text{ m}^3$



Imagen14: Cámara de termoterapia.

➤ **Equipos.**

A continuación se presentan los equipos de medición y control que posee la cámara de termoterapia existente en el instituto de biotecnología de la UNPRG.

– **Termómetro.-**

La cámara de termoterapia cuenta con un termómetro bimetalico ASHCROFT, estos termómetros bimetalicos miden la temperatura de manera mecánica mediante la contracción y expansión de dos distintas aleaciones metálicas de alto y bajo coeficiente de dilatación, están constituidos por un tubo de acero inoxidable en cuyo interior está colocada una espiral helicoidal bimetalica dicha espiral está soldada por un extremo a la parte inferior del tubo y por otra a una varilla de transmisión, a su vez conectada a una aguja indicadora.

El termómetro bimetalico ASHCROFT posee las siguientes especificaciones técnicas:

- Precisión: +/- 1% a escala completa ASME B40.200 (B40.3 Grade A).
- Tamaño: 2", 3" y 5".
- Conexiones traseras e inferiores.
- Protección IP65



Imagen 1510: Termómetro ASHCROFT.

– Ventilador.-

La cámara de termoterapia posee un motor de polo sombreado DAYTON, usualmente utilizados en casos muy específicos, como el acondicionamiento de ventiladores o sopladores, que tienen requerimientos de potencia muy bajos.

Un motor de polos sombreados es básicamente un pequeño motor de jaula de ardilla en el que el devanado auxiliar se compone de un anillo de cobre o una barra que rodea una porción de cada polo. Este devanado auxiliar de una sola vuelta se denomina bobina de sombra. Las Corrientes inducidas en esta bobina por el campo magnético, crean una segunda fase eléctrica, al retrasar la fase de cambio de flujo magnético, para que el polo siguiente para proporcionar una segunda fase de campo magnético giratorio. El sentido de

giro es desde el lado sin sombra para el lado sombreado del poste. Puesto que el ángulo de fase entre las secciones sombreadas y no sombreadas es pequeño, estos motores producen sólo un pequeña par de arranque con respecto al par de torsión a toda velocidad.

Este motor DAYTON es utilizado para transportar aire desde el exterior al interior de la cámara y posee las siguientes especificaciones técnicas.

- Potencia: 1/25 HP.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Rotación: 1610 RPM
- Voltaje: 230v
- Amperaje de carga total: 0.75/0.72 amp.
- Tipo de motor: Polo sombreado.



Imagen 16: Motor de polo sombreado DAYTON.

- Electric water heater time switch.-

El electric water heater time switch de la marca intermatic es un temporizador eléctrico para calentadores de agua que controla el uso de energía eléctrica y permite un ahorro de hasta un 26 %. Es usado en la cámara de termoterapia para controlar el flujo de energía eléctrica hacia los fluorescentes, y simular el día y la noche así la planta podrá evolucionar de manera adecuada dentro de la cámara mientras dure el tratamiento. El temporizador está programado de manera tal que los fluorescentes se enciendan durante el día y se apaguen durante la noche.

Especificaciones técnicas:

- Posee un conveniente interruptor de anulación externa.
- Capacidad de 10000Watts a 40Amp. / 250V / 60Hz.
- Caja de acero para una mayor durabilidad.
- Se puede establecer horarios en la mañana y en la noche, cuando se necesite elevar la temperatura.



Imagen 117: Electric water heater time switch Intermatic, vista general.

– Resistencia Eléctrica.-

La resistencia eléctrica existente en la cámara de termoterapia tiene como propósito calentar el aire entrante a la misma, a fin de conseguir la temperatura adecuada para el tratamiento de la planta.

Esto se consigue haciendo circular una corriente eléctrica a través de la resistencia de este modo se transfiere energía desde las cargas eléctricas que circulan por la resistencia hacia el medio ambiente. Esta transferencia se manifiesta

como calentamiento de la resistencia y de su medio ambiente, fenómeno que se denomina Efecto Joule, en honor a su descubridor el físico británico James Prescott Joule, que lo estudió en la década de 1860.

La cantidad de calor Q , producida al paso de una corriente eléctrica por un conductor es proporcional a la resistencia R , al cuadrado de la intensidad I y al tiempo t :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = P \cdot t$$

Dónde:

- P = Potencia eléctrica (W).
- I = Corriente eléctrica (A).
- R = Resistencia del material (Ω)
- Q = Energía calorífica producida por la corriente (J)
- T = Tiempo (S).

En este efecto se basa el funcionamiento de diferentes electrodomésticos como los hornos, las tostadoras y las calefacciones eléctricas, y algunos aparatos empleados industrialmente como soldadores, hornos de aceros, etc., en los que el efecto útil buscado es, precisamente, el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente.



Imagen 18: Resistencia eléctrica en la cámara de termoterapia vista frontal.

– Lámparas fluorescentes.-

La cámara de termoterapia cuenta además con 5 fluorescentes de 40w cada uno, que brindan la luminosidad necesaria para que la planta realice su fotosíntesis de manera correcta, es decir que proporcionan un ambiente propicio para que la planta termotratada se desarrolle con normalidad dentro de la cámara de termoterapia.

La lámpara fluorescente normal consta de un tubo de vidrio de un cierto diámetro y longitud variable según la potencia, recubierto internamente de una capa de sustancia fluorescente.

Las lámparas fluorescentes, como todas las de descarga, presentan una resistencia al paso de la corriente que disminuye a medida que esta se incrementa. Este efecto las

llevaría a la autodestrucción si no colocáramos algún elemento que controle la intensidad que circula por ellas, este elemento es una reactancia cuyo nombre específico para este caso es balasto.

Las funciones que debe cumplir una reactancia, en el orden en que se realizan al poner en funcionamiento un tubo fluorescente, son:

- Proporcionar la corriente de arranque o precalentamiento de los filamentos para conseguir de éstos la emisión inicial de electrones.
- Suministrar la tensión de salida en vacío suficiente para hacer saltar el arco en el interior de la lámpara.
- Limitar la corriente en la lámpara a los valores adecuados para un correcto funcionamiento.



Imagen 129: Reactancia de los fluorescentes.



Imagen 2013: Fluorescentes de la cámara de termoterapia.

III.1.2. Descripción del funcionamiento de la cámara:

La cámara de termoterapia actualmente ubicada en el instituto de biotecnología de la UNPRG, tiene como fin la obtención de plantas libres sin virus a fin de garantizar semillas sanas que posteriormente produzcan frutos de alto nivel nutritivo para el consumo nacional e internacional. Esto se logra utilizando la técnica de termoterapia que consiste en someter a plantas o partes de ellas a tratamientos térmicos por determinados periodos de tiempo a fin de destruir o disminuir la velocidad de replicación del virus sin matar a la planta de manera que el tejido nuevo queda libre del agente causal de la enfermedad produciendo tejidos libres de virus los cuales son extraídos y aislados para su posterior cultivo in-vitro.

Este proceso térmico que se da dentro de la cámara de termoterapia se basa en la transmisión de calor por convección y comienza con la absorción de aire del exterior hacia el interior a través del motor de polo sombreado DAYTON, esta masa de aire antes de ingresar a la cámara pasa a través de unos filtros de aire que impiden el paso de partículas o elementos del ambiente perjudiciales para el proceso. Una vez que el aire es filtrado atraviesa por una resistencia eléctrica que lo calienta e ingresa a circular dentro del área de tratamiento de la planta produciéndose el intercambio térmico por convección entre el aire caliente, recién en circulación, y el aire frío. Esta temperatura es mostrada por el termómetro ASHCROFT.

El tiempo que la resistencia eléctrica está calentando el aire a su paso, para llegar a una temperatura establecida, está regulado por el operario a través de la observación directa del termómetro ASHCROFT por lo tanto cuando el operario observe que la temperatura dentro de la cámara sobrepasa el límite requerido para un tratamiento adecuado sin dañar la planta desconectará la resistencia y la temperatura comenzará a disminuir, así mismo cuando el operario observe en el termómetro una lectura por debajo del nivel requerido para un tratamiento adecuado de eliminación de virus volverá a encenderla.

Finalmente para que las plantas realicen su normal crecimiento dentro de la cámara de termoterapia, mientras dura el tratamiento de eliminación de virus, se debe simular el día y la noche, esto se

logra a través del switch intermatic, que es programado por el operario para encender los fluorescentes durante el día y se apaguen en la noche, de esta manera la planta realiza su fotosíntesis de manera adecuada.

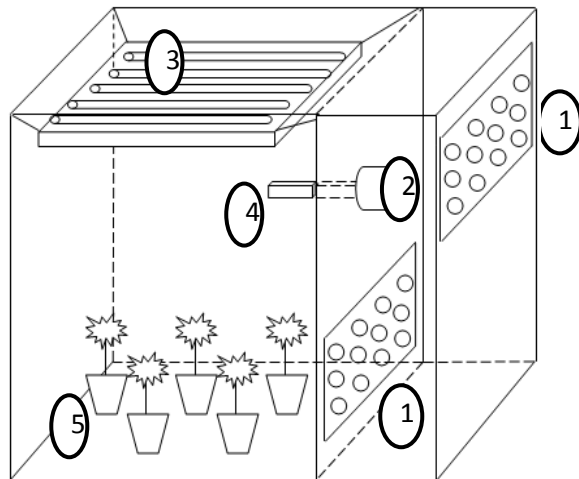


Imagen21: Detalle de la cámara de termoterapia.

Dónde:

- 1.- Filtros de aire.
- 2.- Motor de polo sombreado Dayton.
- 3.- Fluorescentes.
- 4.- Resistencia Eléctrica.
- 5.- Plantas en tratamiento.

III.1.3. Descripción del proceso actual:

A continuación se presenta un diagrama de bloques el cual expone el proceso térmico del sistema actual.

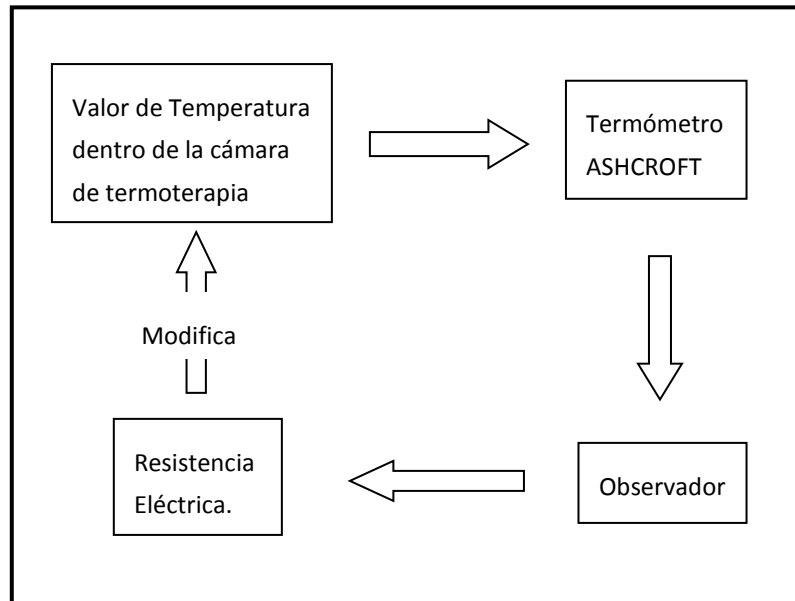


Imagen22: Diagrama del proceso térmico actual.

Como podemos observar en el diagrama anterior, la temperatura dentro de la cámara de termoterapia depende únicamente del observador, el cual tendrá la decisión de dejar pasar o no el flujo eléctrico hacia la resistencia, siguiendo a través de la observación directa, las lecturas del termómetro ASHCROFT.

De lo que concluimos, que el control de temperatura está basado en el operador, lo que presenta limitaciones que repercuten en el tratamiento termoterapéutico de la planta, debido a que las condiciones térmicas necesarias para una adecuada eliminación de virus y supervivencia durante el tratamiento no están aseguradas ya que sólo la pronta reacción de un operador experimentado media entre una evolución normal del proceso y otra errática.

III.2. Descripción del Sistema Propuesto.-

El sistema a diseñar deberá medir la temperatura a través de un sensor, y a partir del valor deseado introducido por el operador, realizar las operaciones lógicas y aritméticas necesarias en base al algoritmo PI para determinar la salida.

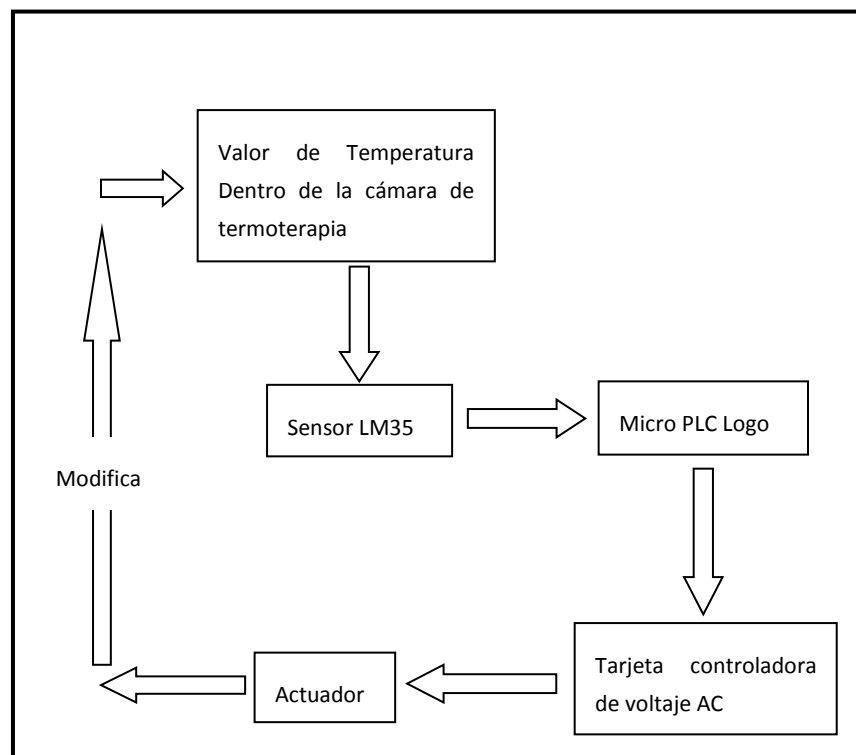


Imagen 143: Diagrama del proceso térmico propuesto.

Como se puede observar en el diagrama, el valor de la temperatura dentro de la cámara de termoterapia, es recogido por el sensor LM 35 para luego enviarlo hacia el micro PLC logo de siemens, el cual a través de un controlador PI compara el valor deseado(set point) de temperatura con el valor sensado, de no haber diferencia no se efectúan cambios en el actuador caso contrario el controlador PI enviara señales correctivas según lo establecido por el programador,

hacia la tarjeta controladora de voltaje AC para modificar a través del actuador el valor actual de la temperatura haciéndolo coincidir con el valor deseado.

Como elemento actuador se tiene una resistencia eléctrica de espiral alojada en una estructura de cerámica.

Para el control de luminarias las cuales simulan el día mientras están encendidas y de lo contrario la noche, se ha realizado un control ON/OFF, el cual a partir del horario establecido mantiene las luminarias activas para luego desactivarlas y así la planta se desarrolle adecuadamente dentro de la cámara, mientras dure el tratamiento de eliminación de virus.

Finalmente se tendrá una luminaria para indicar un funcionamiento normal del sistema y otra para indicar un funcionamiento errado que a su vez será apoyada por una alarma de sonido

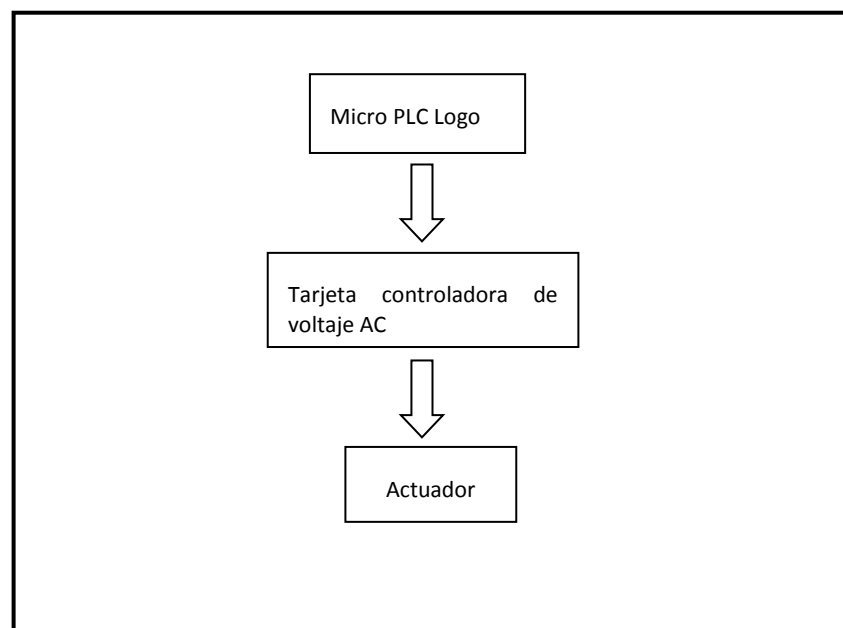


Imagen 24. Diagrama del proceso lumínico propuesto.

III.2.1. Condiciones térmicas.

Para un correcto tratamiento de las plantas infectadas con virus se deben cumplir ciertos requerimientos ambientales dentro de la cámara de termoterapia que permitan una correcta eliminación o inhibición de virus y permitan la supervivencia de la planta durante el tratamiento. Estos parámetros son luminosidad y temperatura, siendo este último el más importante ya que su correcta manipulación permitirá destruir o disminuir la velocidad de replicación de los virus sin matar la planta lo que resulta en la obtención de material de propagación certificado genética y sanitariamente que garantice producciones altas y de buena calidad.

Este parámetro no es una constante sino que varía de acuerdo a la planta y al virus que se esté tratando, y se optimiza con el análisis de los resultados obtenidos en cada tratamiento; es por ello que en la presente investigación se diseña un controlador en el cual el operador será el encargado de introducir el set point o la temperatura a la cual se desea realizar el tratamiento, de manera sencilla siguiendo unos pasos que se detallaran más adelante.

De esta forma, en la cámara de termoterapia, se podrán tratar diversas plantas de la región y diferentes tipos de virus, además de poder realizar pruebas térmicas ante la aparición de virus no estudiados o con fin de actualizar la base de datos sobre las temperaturas apropiadas para su erradicación, lo que constituye una importante ventaja para el personal del Instituto de

Biotecnología encargado del área de Fitopatología ya que se amplía el ámbito de investigación y aumenta la posibilidad de obtener semillas sanas y de calidad contribuyendo en gran medida al desarrollo agrícola en la región Lambayeque.

III.2.2. Medición de la temperatura.

Para medir la temperatura dentro de la cámara de termoterapia se propone el uso de uno de los sensores de temperatura más usados, confiables y económicos del mercado, el LM35.

➤ LM 35.

El sensor que se decidió utilizar es el LM35 por las siguientes ventajas: por su tamaño apropiado, por el precio bajo en el mercado, por su fácil manejo y sobre todo porque se puede acondicionar un rango de operación cuyos valores de tensión puedan ser manejables en el micro PLC de siemens logo OBA7. Este sensor es muy conocido en el manejo de temperatura, su salida se da en mV de acuerdo a la temperatura que va censando, el LM35 tiene una precisión calibrada aproximada de 1°C, siendo su salida lineal donde un grado centígrado equivale a 10 mV.

Entre sus características que sobresalen son:

- Medición en grados Celsius
- Precisión de 0.5°C a 25°C
- Voltaje de alimentación 4 a 30 V
- Impedancia de salida baja

- Corriente de alimentación baja.

La configuración tomada para el LM35 es la siguiente:

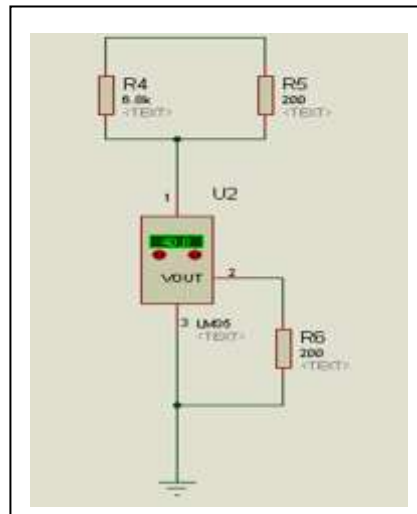


Imagen25: Circuito LM35.

III.2.2.1. Acondicionamiento de la señal de entrada.

El sensor de temperatura LM35 el cual entrega una salida lineal en el orden de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, en la figura 30 muestra el diseño recomendado por el fabricante para obtener voltaje (mV), en función de la temperatura, cuyo rango de trabajo es de 2°C a 40°C .

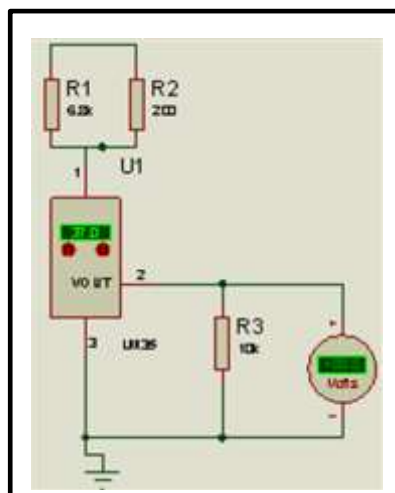


Imagen 26: Circuito recomendado por el fabricante

Tabla 2: Valores entregados por el sensor LM35.

Temperatura(°C)	Voltaje (mV)
5	20
10	100
15	150
20	200
25	250
30	300
35	350
40	400

Debido a que la entrada analógica del micro PLC Logo admite solo valores comprendidos entre 0 y 10 Voltios, se realizó un circuito de acondicionamiento de la señal entregada por el sensor LM35 que consiste en la amplificación de la señal entregada por el sensor con un factor aproximado de 20.

Para la amplificación de la señal de entrada se utilizó un amplificador operacional LM74, en la figura 31 se configuro el amplificador como no inversor, con resistencia de 200Ω y $2K\Omega$, cuyo factor de amplificación es de 20, obteniendo la señal en el rango de 0.94V a 8.06V

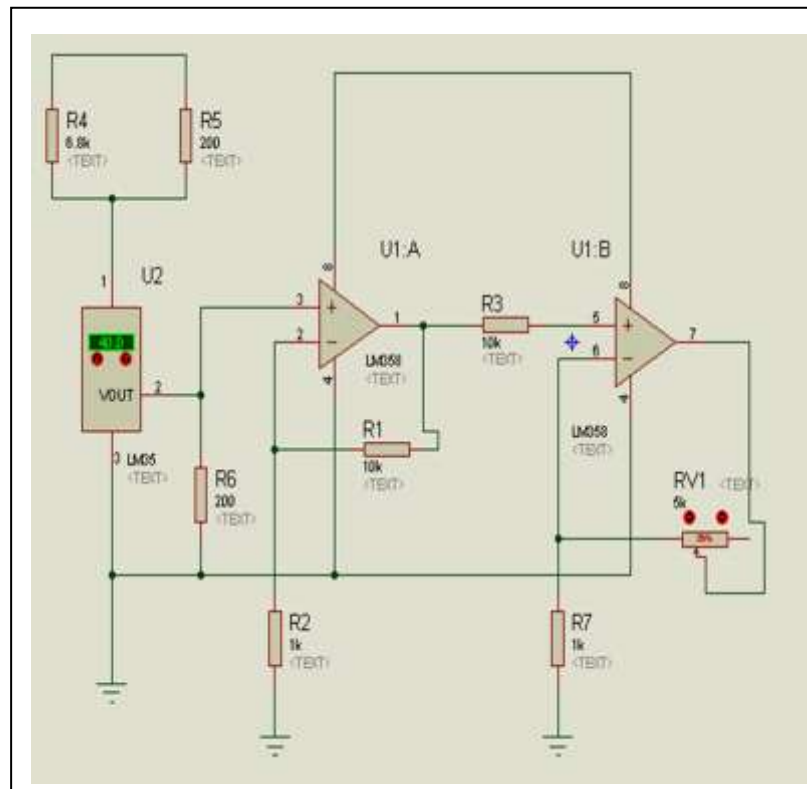


Imagen27: Circuito amplificador para el sensor LM35

III.2.3. Controlador para el proceso térmico.

Como dispositivo controlador del proceso se ha optado por usar el micro PLC logo de siemens.

➤ Micro PLC Logo.

El controlador que se decidió utilizar es el micro-PLC logo de la marca siemens debido a que presenta las alternativas más confiables y las características necesarias para este proceso.

Entre las ventajas por lo que se utilizó el micro-PLC Logo OBA7 de siemens podemos destacar:

- Posee una ranura para insertar una memoria micro SD la cual nos permite grabar los valores de temperatura en el proceso de eliminación de virus.
- Comunicación Ethernet, lo que permite la comunicación maestro/maestro o maestro/esclavo con otros PLCs.
- Programación sencilla y rápida mediante interfaz en programa logosoft o mediante el uso del panel frontal del equipo.
- Posee una función ya definida para el Control integrado PI, la cual es utilizada en el diseño de este sistema.

III.3. Función de transferencia de un sistema térmico.

Tomando como referencia el estudio realizado por el Sr. Felix Suarez en la investigación, diseño y construcción de un sistema de control para una incubadora de aves de corral, se describe a continuación el modelado de un sistema térmico sencillo que permite comprender la dinámica en general de cualquier proceso térmico.

La figura siguiente muestra un esquemático del sistema y todas las variables involucradas en el proceso:

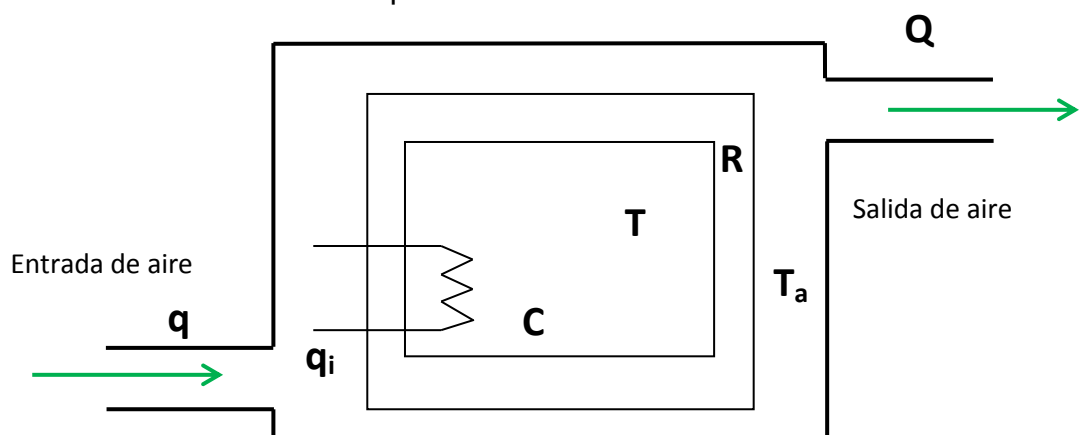


Imagen 158: Proceso térmico.

Dónde:

q_i = Flujo de calor entrante al sistema.

T_a = Temperatura ambiente.

T = Temperatura en el interior del sistema.

R = Resistencia térmica.

C = Capacitancia térmica.

Podemos decir el espacio en el interior es una capacitancia térmica, ya que almacena energía en función de un incremento en la temperatura. El material entre la cavidad interior y el exterior es una resistencia térmica, en virtud de la resistencia que ofrece al flujo de calor. Tomando en consideración estas observaciones se obtiene la red generalizada de la figura siguiente:

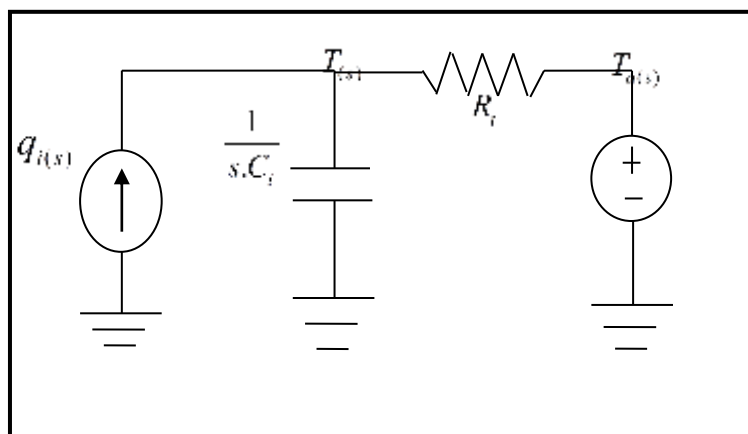


Imagen 29: Red generalizada del proceso térmico.

Donde podemos establecer que:

$q_i(s)$ = Variable manipulada.

$T(s)$ = Temperatura interna.

$T_a(s)$ = Temperatura ambiente.

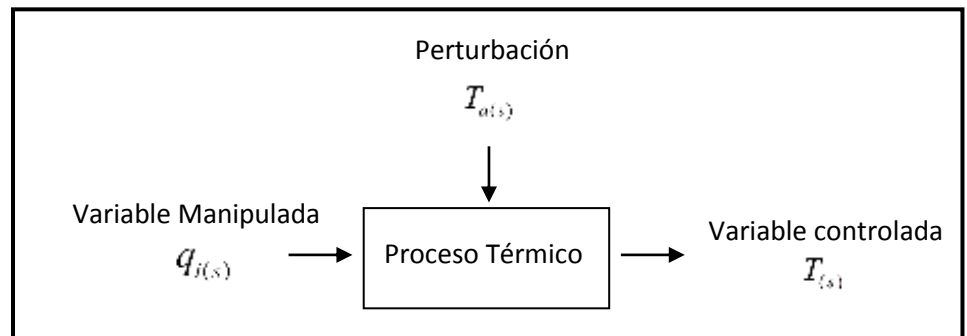


Image30: Diagrama de bloques del proceso térmico.

Del análisis del circuito mostrado en la figura 35. Se desprende la función de transferencia del proceso dada por la siguiente ecuación:

$$T(s) = \left(\frac{R_t}{R_t \cdot C_t \cdot s + 1} \right) \cdot q_i(s) + \left(\frac{1}{R_t \cdot C_t \cdot s + 1} \right) \cdot T_a(s) \quad \text{Ecu. (1)}$$

Al considerar únicamente el valor deseado que corresponde al flujo de calor entrante, se tiene la siguiente función de transferencia dada por la siguiente ecuación:

$$T(s) = \left(\frac{R_t}{R_t \cdot C_t \cdot s + 1} \right) \cdot q_i(s) \quad \text{Ecu. (2)}$$

Nótese que la respuesta del proceso al considerar únicamente el valor deseado es de primer orden.

Del mismo modo al considerar únicamente la perturbación se tiene la siguiente función de transferencia.

$$T(s) = \left(\frac{1}{R_t C_t s + 1} \right) T_a(s) \quad \text{Ecu. (3)}$$

De igual forma la respuesta del proceso al considerar únicamente la perturbación es de primer orden.

Podemos establecer que se trata de un proceso auto regulado que comprende únicamente un elemento almacenador de energía, la capacitancia térmica y un elemento disipador de energía la resistencia térmica y que está caracterizado por la constante de tiempo .

$$T = R_t C_t$$

III.4. Diseño del controlador PI.

III.4.1. Obtención del modelo matemático del sistema.

Según el análisis desarrollado anteriormente podemos establecer que un sistema térmico puede ser descrito mediante un circuito RC, lo que representa un sistema de primer orden. Por consiguiente el modelo más adecuado para el análisis del sistema térmico en investigación será también de primer orden.

Función de transferencia:

$$T(s) = \left(\frac{R_t}{R_t \cdot C_t \cdot s + 1} \right) \cdot q_i(s) + \left(\frac{1}{R_t \cdot C_t \cdot s + 1} \right) \cdot T_a(s) \quad \dots\dots\dots (I)$$

Debido a que las perturbaciones térmicas, establecidas en la ecuación (I) como $T_a(s)$, dentro de la cámara de termoterapia son despreciables se suprimirá el segundo sumando quedando la ecuación (I) de la siguiente forma:

$$T(s) = \left(\frac{R_t}{R_t \cdot C_t \cdot s + 1} \right) \cdot q_i(s) \quad \dots\dots\dots (II)$$

A continuación se presenta la Función de Transferencia que describe el funcionamiento térmico de la cámara de termoterapia:

$$F.T = \frac{T_{(s)}}{q_{i(s)}} = \frac{R}{RCS + 1} \quad \dots\dots\dots (III)$$

Dónde:

- R = Resistencia Térmica $\left(\frac{^{\circ}C \cdot Seg}{Kcal} \right)$.
- C = Capacitancia térmica del aire que contiene la cámara de calefacción $\left(\frac{Kcal}{^{\circ}C} \right)$.

Además tenemos las siguientes igualdades:

- $G \cdot C' = \frac{1}{R} \quad \dots\dots\dots (IV)$

- $C = MC' \dots\dots\dots (V)$

Dónde:

- G = Flujo de masa de aire a través de la cámara de calefacción. $\left(\frac{Kg}{Seg}\right)$.
- C' = Calor específico del aire $\frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}$.
- M = Masa de aire que contiene la cámara de calefacción (Kg).

Por datasheet Tenemos:

- Caudal del ventilador $= 400 \frac{l}{min}$.
- Densidad del aire a $20^{\circ}C = 1.1993 \frac{Kg}{m^3}$.

Convertimos los $\left(400 \frac{l}{min}\right)$ a $\left(\frac{Kg}{Seg}\right)$. Utilizando el método de eliminación por equivalencias:

$$400 \frac{l}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} \times \frac{0.001 m^3}{1 l} \times \frac{1.1993 Kg}{1 m^3}$$

$$400 \frac{l}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} \times \frac{0.001 m^3}{1 l} \times \frac{1.1993 Kg}{1 m^3} = 7.995(10^{-3}) \frac{Kg}{Seg}$$

Por lo tanto: $G \cong 0.008 \frac{Kg}{Seg}$.

Por teoría se sabe que el calor específico del aire es:

$$C' = 1012 \frac{J}{Kg.^{\circ}K} \quad \diamond \quad C' = 0.24 \frac{17 Kcal}{Kg.^{\circ}C}$$

Reemplazamos G y C' en (IV) obtenemos:

$$\frac{1}{R} = G.C' = (0.008)(0.2417) = 0.0019336$$

Por lo tanto:

$$R = 517.17 \left(\frac{^{\circ}\text{C} \cdot \text{Seg}}{\text{Kcal}} \right)$$

Por datasheet tenemos el volumen de la caja calefactora:

$$V = A \times L = (5.03)(10^{-3})(20)(10^{-2})$$

$$V = (1.006)(10^{-3})\text{m}^3$$

Calculamos la masa de aire en la caja calefactora, para ello usamos la ecuación de la densidad:

- Densidad del aire: $1.29 \text{Kg} / \text{m}^3$.

$$\rho = \frac{M}{V} \Rightarrow M = \rho \cdot V = (1.29)(1.006)(10^{-3})\text{Kg}.$$

Por lo tanto tenemos que la masa de aire en la caja calefactora es:

$$M = 1.298(10^{-3})\text{Kg}.$$

Ahora reemplazamos el valor de M en la ecuación (V):

$$C = M \cdot C' = 1.298(10^{-3})(0.2412) \left(\frac{\text{Kcal}}{^{\circ}\text{C}} \right)$$

Por lo tanto la Capacitancia térmica del aire que contiene la cámara de calefacción es:

$$C = 3.137(10^{-4}) \left(\frac{\text{Kcal}}{^{\circ}\text{C}} \right)$$

Reemplazando C y R en la Función de transferencia dada en la ecuación (III):

$$F.T = Q_{0(s)} = \frac{517.17}{(517.17)(3.137)(10^{-4})s + 1} = \frac{517.17}{0.1622s + 1}$$

Desarrollando la ecuación tenemos la siguiente función de transferencia para la planta:

$$Q_{0(s)} = \frac{3187.76}{s + 6.16} \dots\dots\dots (VI)$$

III.4.2. Obtención del modelo matemático del sistema controlado por un controlador PI.

El controlador PI presenta la siguiente ecuación característica:

$$C_{PI} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) = \frac{K_p s + K_i}{s}$$

Dónde:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

Hallamos la función de transferencia del sistema controlado:

$$F.T = \frac{\left(\frac{K_p s + K_i}{s}\right) \left(\frac{3187.76}{s + 6.16}\right)}{1 + \left(\frac{K_p s + K_i}{s}\right) \left(\frac{3187.76}{s + 6.16}\right)(1)}$$

Desarrollando la ecuación tenemos la función de transferencia del sistema térmico controlado a través de un controlador PI:

$$F.T = \frac{3187.76K_p s + 3187.76K_i}{s^2 + (6.16 + 3187.76K_p)s + 3187.76K_i} \dots\dots\dots (VII)$$

A continuación calculamos ganancias por el método de la cancelación de polos:

$$\frac{(K_p s + K_i)}{s} = \frac{K_p}{s} \left(s + \frac{1}{T_i}\right)$$

Se cancela el polo de la planta con el cero del controlador PI

$$s + \frac{1}{T_i} = s + 6.16$$

Por lo tanto:

$$T_i = 0.162$$

A continuación hallaremos **K_p**, función de transferencia de la planta:

$$\frac{3187.76}{s + 6.16} = \frac{517.17}{0.1622s + 1}$$

Del miembro de la derecha podemos establecer que:

$$K' = 517.17 \Rightarrow \text{Ganancia de la planta}$$

$$T_i = T = 0.162 \Rightarrow \text{Constante de tiempo de la planta}$$

Ahora por dato sabemos que en un control PI para un proceso térmico de primer orden se puede establecer la siguiente relación:

$$K_p = \frac{T'}{K' \cdot T_c}$$

Donde T_c es el tiempo en que se espera tener una estabilidad:

$$T_c = \frac{M}{G}$$

$$T_c = \frac{M}{G} = \frac{1.298(10^{-3})Kg}{0.008Kg/s}$$

Por lo tanto:

$$T_c = 0.162seg$$

Con los datos obtenidos procedemos a hallar K_p :

$$K_p = \frac{T'}{K' T_c} = \frac{0.162}{(517.17)(0.162)}$$

Por lo tanto:

$$K_p = 0.00193$$

Ahora hallamos K_i :

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.0019}{0.162}$$

Por tanto:

$$K_i = 0.0117$$

Reemplazamos los valores de K_i y K_p en la ecuación (VII)

$$F.T = \frac{3187.76K_p s + 3187.76K_i}{s^2 + (6.16 + 3187.76K_p)s + 3187.76K_i}$$

$$F.T = \frac{(3187.76)(0.00193)s + 3187.76(0.0117)}{s^2 + (6.16 + 3187.76(0.00193))s + 3187.76(0.0117)}$$

Obtenemos finalmente la función de transferencia del sistema controlado.

$$F.T = \frac{6.152s + 37.297}{s^2 + 12.312s + 37.297} \dots\dots\dots \text{(VIII)}$$

Del análisis anteriormente establecemos:

1. Ecuación de la planta:

$$\boxed{Q_{0(s)} = \frac{3187.76}{s + 6.16}} \dots\dots\dots \text{(VI)}$$

2. Ecuación del sistema controlado por un controlador PI:

$$\boxed{F.T = \frac{6.152s + 37.297}{s^2 + 12.312s + 37.297}} \dots\dots\dots \text{(VIII)}$$

III.4.3. Simulaciones en Matlab.

A continuación analizaremos cada una de las funciones de transferencia, tanto de la planta sin controlador y del sistema controlado.

Para ello se estimulara cada función a través de una entrada escalón.

➤ **Función de transferencia de la planta.-**

Desarrollo en Matlab.-

```
>> num1=[3187.76];
```

```
>> den1=[1 6.16];
```

```
>> FTP=tf(num1,den1);
```

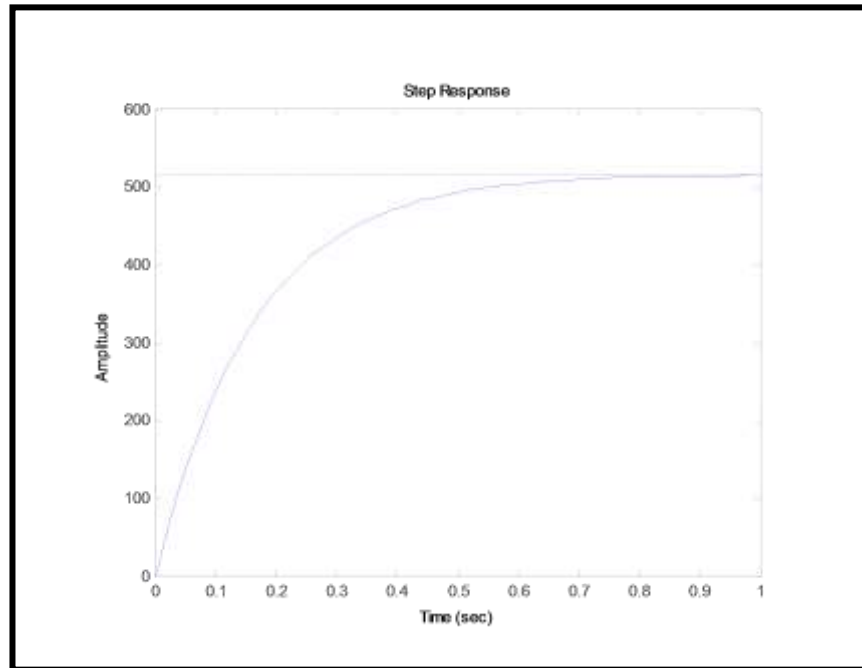


Imagen31: Gráfica en Matlab de la planta

Tabla 3: Características del gráfico de la planta

	Peak Response			Settling Time	Rise Time	Steady State	Tao
Descripcion	valor Pico	Overshoot	Tiempo de Pico	Tiempo de establecimiento	Tiempo de subida	Valor final de estado permanente	Constante de tiempo en que se alcanza el 0.632 veces del valor final
Valor	516	0%	>1	0.635 seg.	0.357 seg.	517	0.163 Seg.

➤ **Función de transferencia del sistema controlado.-**

Desarrollo en Matlab.

```
>> num=[6.152 37.297];
```

```
>> den=[1 12.312 37.297];
```

```
>> FTPC=tf(num,den);
```

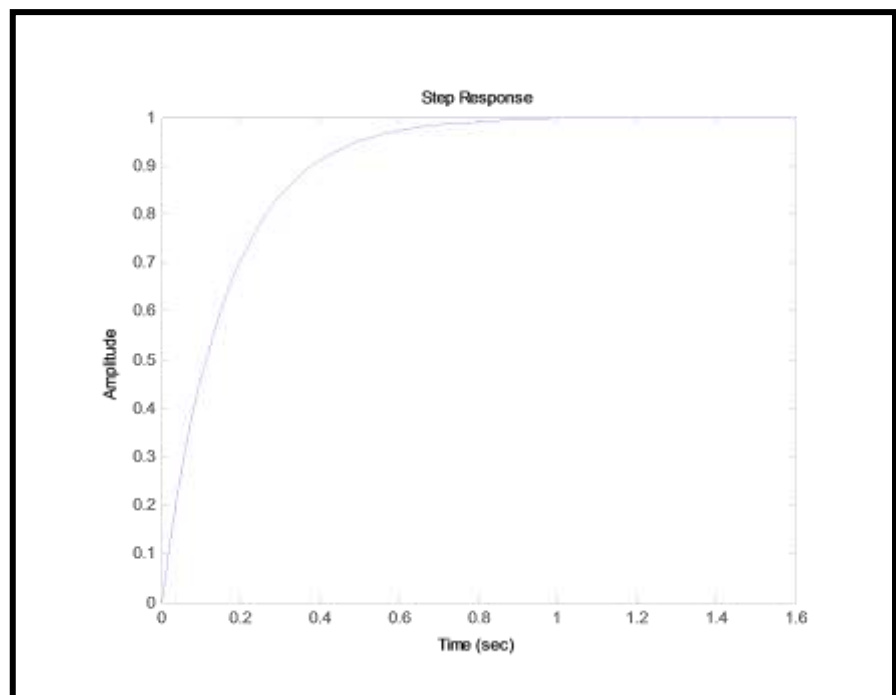


Imagen32: Gráfica en Matlab de la Planta Controlada.

Tabla 4: Características del gráfico de la planta controlada.

	Peak Response			Settling Time	Rise Time	Steady State	Tao
Descripcion	valor Pico	Overshoot	Tiempo de Pico	Tiempo de establecimiento	Tiempo de subida	Valor final de estado permanente	Constante de tiempo en que se alcanza el 0.632 veces del valor final
Valor	1	0%	>1.6	0.656 seg.	0.364 seg.	1	0.164 Seg.

III.5. Programación del Controlador.

Para programar el micro PLC logo de siemens se usó el software Logo softcomfort V7, el cual ofrece dos métodos para crear programas, el esquema de contactos (KOP) y el diagrama de funciones (FUP).

En este proyecto se optó por usar el método de diagrama de funciones o lenguaje FUP.

Las funciones utilizadas , se explican a continuación:

- **Temporizador Semanal.** Cada temporizador semanal tiene tres levass que pueden utilizarse para configurar una histéresis de tiempo. Las horas de conexión y desconexión se especifican en los parámetros de la función.

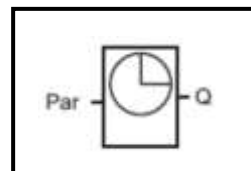


Imagen 163: Función temporizador

Función dentro del Programa.

El temporizador semanal fue utilizado para controlar el sistema en dos turnos que son el día y la noche ya que en cada uno de ellos, los valores de temperatura dentro de la cámara varían de acuerdo al tratamiento que recibe la planta, por lo tanto el sistema necesita

saber en tiempo real cuando es de día y cuando es de noche para aplicar los parámetros correspondientes.

Se utilizaron dos temporizadores.-

- Temporizador Día.- Activo desde las 6:00 horas hasta las 18:00 horas.
- Temporizador Noche.- Activo desde las 18:00 horas hasta las 6:00 horas.

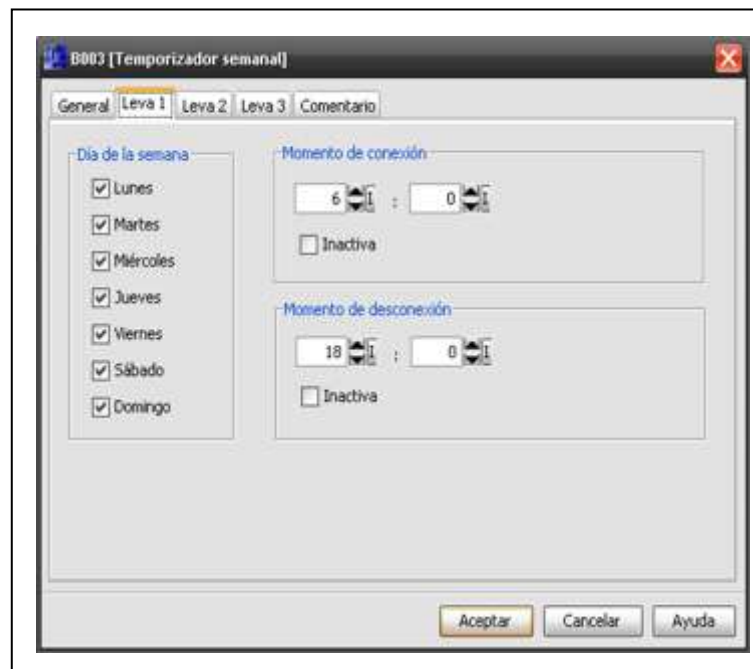


Imagen34: Función B00 - Temporizador Día.

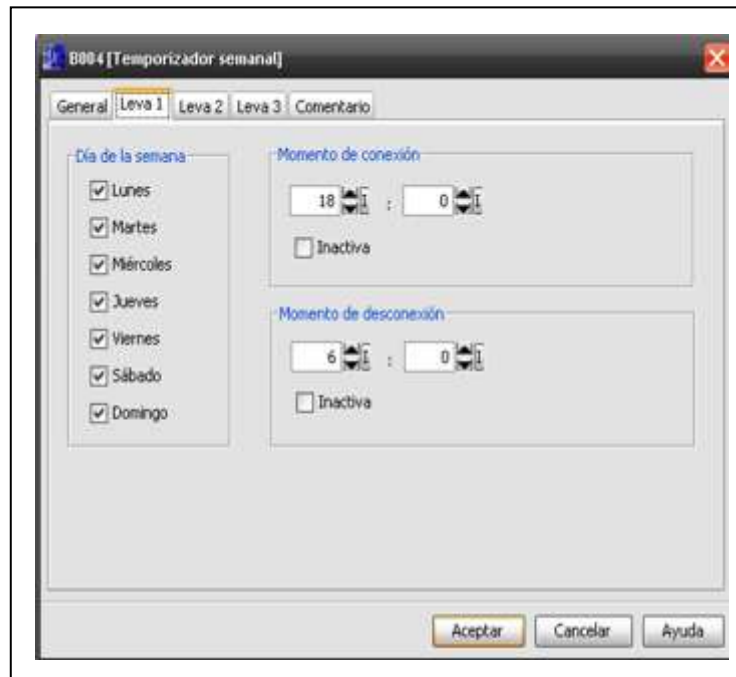


Imagen35: Función B004 - Temporizador Noche.

➤ **Texto de aviso.**

El bloque de función de textos de aviso permite configurar un aviso que incluya texto y otros parámetros que Logo! debe visualizar en modo run en su display integrado. De igual manera Logo! softcomfort ofrece numerosas funciones para textos de aviso como representación de datos en diagramas de barras, nombres de estados de E/S digitales y otros.

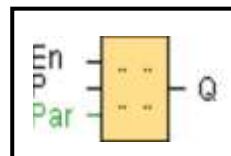


Imagen 176: Función texto de aviso.

Función dentro del Programa

Se usaron textos para mostrar los parámetros de temperatura requeridos, la temperatura actual de la cámara y el aviso de un error en la función aritmética.

Se utilizaron los siguientes Textos.-

- Texto 1.- Parámetros de la temperatura en el día desde las 6:00 horas hasta las 18:00 horas.
- Texto 2.- Parámetros de la temperatura en la noche desde las 18:00 horas hasta las 6:00 horas.
- Texto 3.- Exceso de temperatura, avisando un error en la función de instrucción aritmética.

Siendo además:

Req. = Temperatura requerida.

Act. = Temperatura actual.

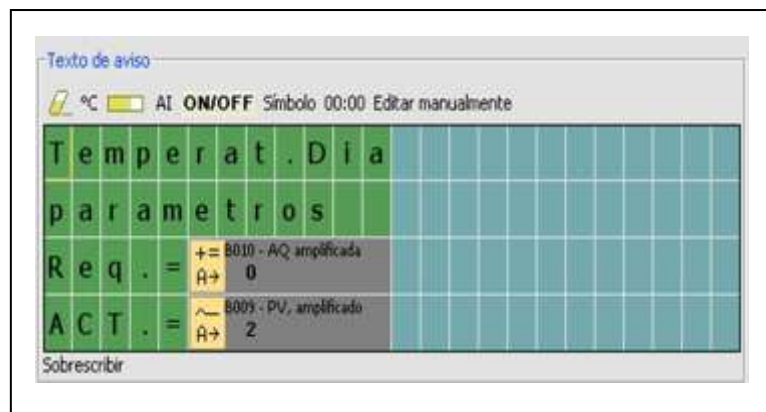


Imagen 37: Función B002 - Texto de aviso para el día.

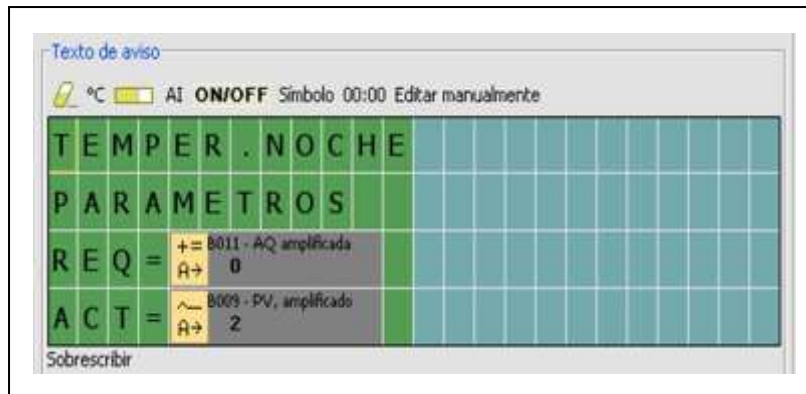


Imagen38: Función B005.- Texto de aviso para la noche.



Imagen39: Función B013.- Texto de aviso para error de la función aritmética.

➤ Instrucción aritmética.

Esta función combina cuatro operandos y tres operadores para formar una ecuación. El operador puede ser uno de los cuatro operadores básicos, suma, resta, multiplicación o división. Para cada operador es preciso ajustar una prioridad unívoca, ya sea alta, media o baja. La operación con la prioridad alta es la primera

que se ejecuta, luego la operación con la prioridad media y, por último, la operación con la prioridad baja.

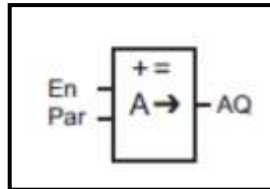


Imagen 40: función instrucción aritmética.

Función dentro del Programa

Se usó la función interrupción aritmética para introducir la temperatura promedio a la cual se desea realizar el tratamiento durante el día y durante la noche. Este parámetro será introducido por el operador encargado del área previa capacitación en el uso del software.

Se utilizó la instrucción aritmética de la siguiente manera.-

Tabla 5: Temperaturas promedios

Variable	Valor	Operador	Prioridad	Descripción
V1	24	(+)	Alta	Se desarrolla primero La suma entre V1 y V2
V2	27	(/)	Media	El resultado se divide entre V3
V3	2	(*)	Baja	Finalmente el resultado se multiplica por V4
V4	1	Ninguno	Ninguna	Ninguna

Obteniéndose la ecuación siguiente, para la temperatura promedio del tratamiento durante el día:

$$\frac{(V1+V2)}{V3} * V4$$

Los valores de las variables son introducidos por el operador de la cámara según se requiera el tratamiento.

B010 [Instrucción aritmética]

Parámetros Comentario

Nombre de bloque

V1 24 Referencia

Operador 1 + Prioridad 1 H

V2 27 Referencia

Operador 2 + Prioridad 2 M

V3 2 Referencia

Operador 3 * Prioridad 3 L

V4 1 Referencia

Decimales en el texto de aviso 0 +12345

Si En="0", la salida es ☒ 0 ☐ Último valor

☐ Protección activa

Aceptar Cancelar Ayuda

Imagen41: Función B010 - Temperatura promedio durante el día.

B011 [Instrucción aritmética]

Parámetros Comentario

Nombre de bloque

V1 18 Referencia

Operador 1 + Prioridad 1 H

V2 21 Referencia

Operador 2 + Prioridad 2 M

V3 2 Referencia

Operador 3 * Prioridad 3 L

V4 1 Referencia

Decimales en el texto de aviso 0 +12345

Si En="0", la salida es ☒ 0 ☐ Último valor

☐ Protección activa

Aceptar Cancelar Ayuda

Imagen42: Función B011.- Temperatura promedio durante la noche.

➤ **Multiplexor Analógico.**

Esta función especial devuelve en la salida analógica uno de cuatro valores analógicos predefinidos, o bien 0.

Si se activa la entrada En, la función emite en la salida AQ uno de los cuatro posibles valores analógicos desde V1 a V4 en función del valor de S1 y S2. Si la entrada En no se activa, la función emite el valor analógico 0 en la salida AQ.

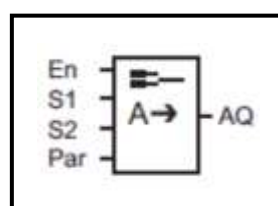


Imagen 183: Función instrucción aritmética.

Función dentro del Programa

Se usó el multiplexor analógico para conmutar entre dos valores de temperatura, de día almacenada en B010 y de noche almacenada en B011.

El valor que resulte del multiplexor será almacenado en B008 y recogido en B009 como el valor consigna de temperatura en el controlador PI.

Tabla 6: función multiplexor

	S1	S2	Descripcion
V1	0	0	No usada
V2	0	1	Instrucción Aritmetica (B011)
V3	1	0	Instrucción Aritmetica (B010)
V4	1	1	No usada



Imagen44: Función B008 - Conmutador de Día/Noche.

➤ **Regulador PI.**

Regulador proporcional y regulador integral, se puede utilizar ambos tipos de regulador individualmente o combinados.

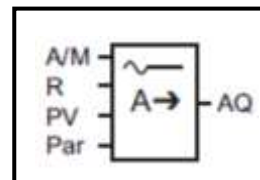


Imagen45: Función regulador PI.

Función dentro del Programa

El regulador PI se usó para controlar el voltaje que llega a la resistencia eléctrica y de esta manera regular la temperatura dentro de la cámara de termoterapia. Al controlar el voltaje que recibe la resistencia eléctrica se controla además la corriente que consume y de esta forma la energía que se transforma en calor no es ni

máxima ni mínima sino la necesaria según sea el requerimiento establecido por el operario para eliminar cierta clase de virus en una planta determinada.

Se utilizó el Regulador PI de la siguiente manera.

- Sensor:

Voltaje = De 0 a 10V

- Rango de medida:

Temperatura Mínima = 2°C

Temperatura Máxima = 42°C

- Consigna:

SP = B008 [multiplexor Analógico]

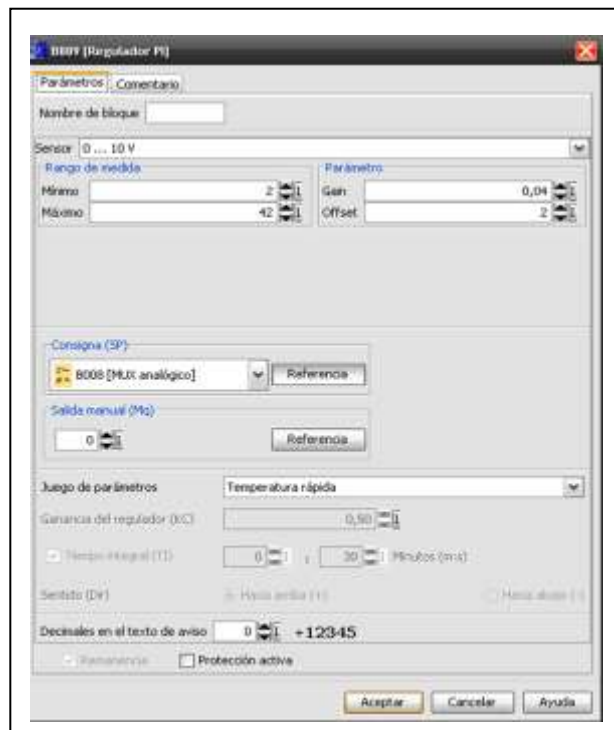


Imagen 19: Controlador PI.

➤ **Registro de datos.**

Con logo softcomfort sólo se puede configurar un registro de datos para el programa.

El registro de datos se utiliza para registrar variables de medición de proceso de los bloques de función seleccionados.

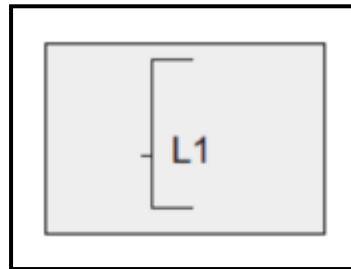


Imagen 47: Función regulador PI.

Función dentro del Programa.

Se requiere un registro de la variación de temperatura durante el proceso a fin de tener una base de datos que permita realizar un estudio posterior en caso se presentara alguna anomalía o se desee tomar como modelo para realizar tratamientos a otras plantas.

Se utilizó el Regulador PI de la siguiente manera.-

- Se tomaron como funciones para registrar los datos la salida y entrada analógica.

Salida Analógica = AQ1.

Entrada Analógica = AI1.

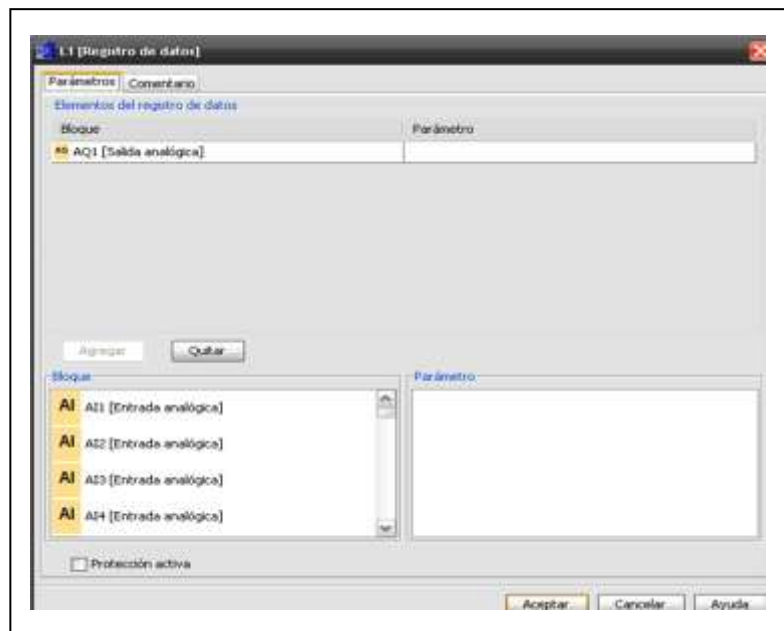


Imagen 48: función registro de datos.

➤ **Detección de error de la instrucción aritmética.**

El bloque de detección de error de la instrucción aritmética activa la salida si ocurre un error en el bloque de función de instrucción aritmética referenciado. La función se puede programar de manera que la salida se active cuando ocurra un error de división por cero, un error de desbordamiento, o cualquiera de estos errores.

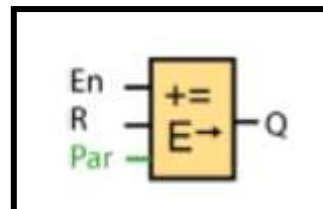


Imagen 49: la función error de la instrucción aritmética

Función dentro del Programa

Se requiere saber si el programa de control está realizando las operaciones matemáticas dadas para hallar la temperatura promedio a la que se debe mantener la cámara de termoterapia y asegurar un correcto tratamiento ya que de presentarse el error y no identificarlo podríamos dañar a la planta.

Se utilizó la detección de error de la instrucción aritmética de la siguiente manera.-

- Se tomó por errores a detectar el error de división por cero y por desbordamiento, en cada una de la funciones de instrucción aritmética aplicadas.

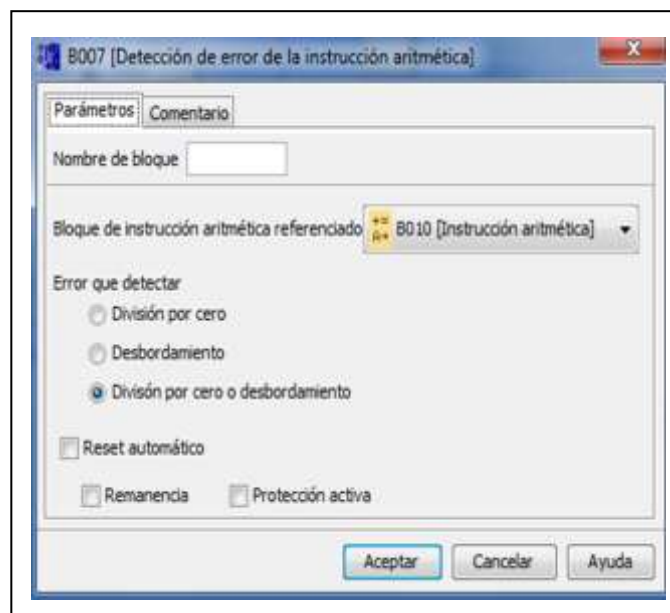


Imagen 50: Función B007 Día - Detección de error de instrucción aritmética

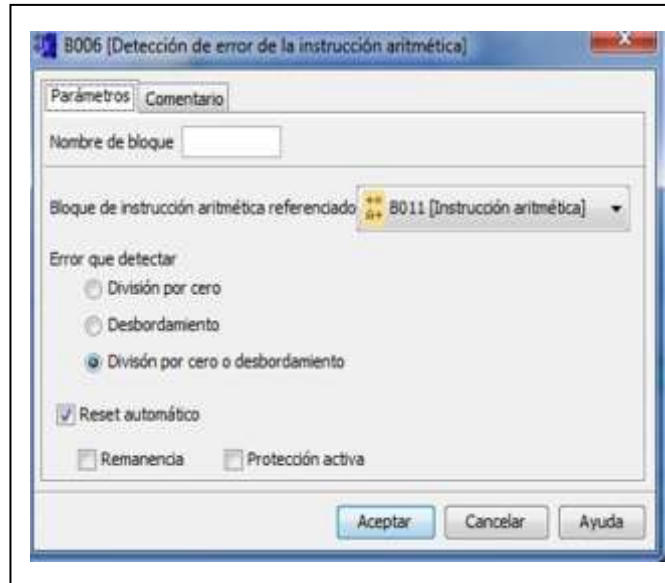


Imagen 51: Función B006 Noche.- Detección de error de instrucción aritmética.

➤ **Contador de horas de funcionamiento.**

El contador de horas de funcionamiento vigila la entrada En. Mientras esta señal sea 1, LOGO! calcula el tiempo expirado y el tiempo restante MN y los visualiza en el modo de configuración. Si el tiempo restante es igual a cero, la salida se pone a 1.

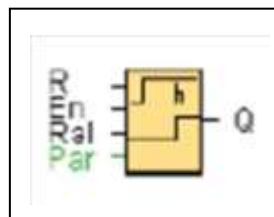


Imagen 52: Función Contador de horas

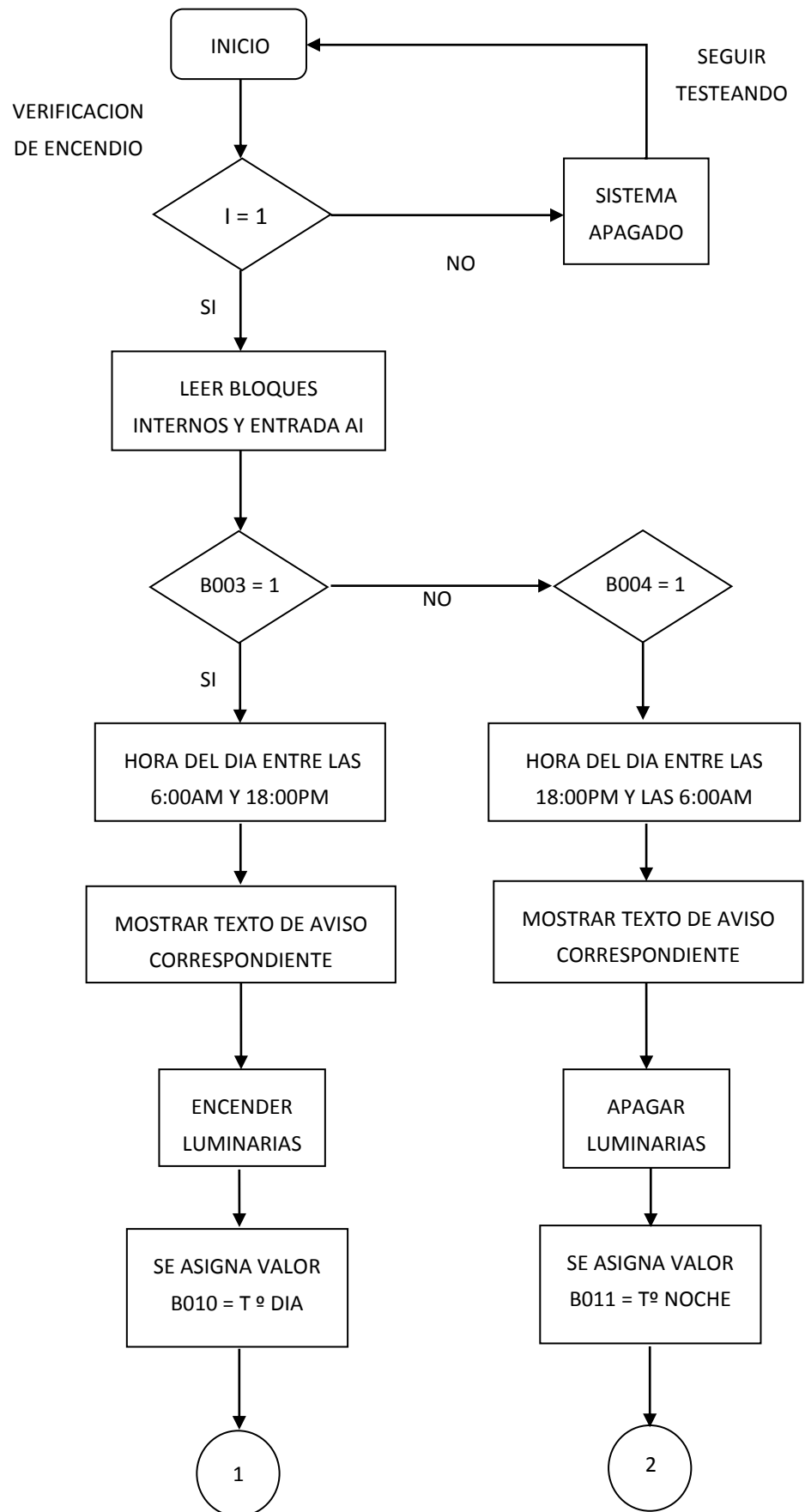
Función dentro del Programa.

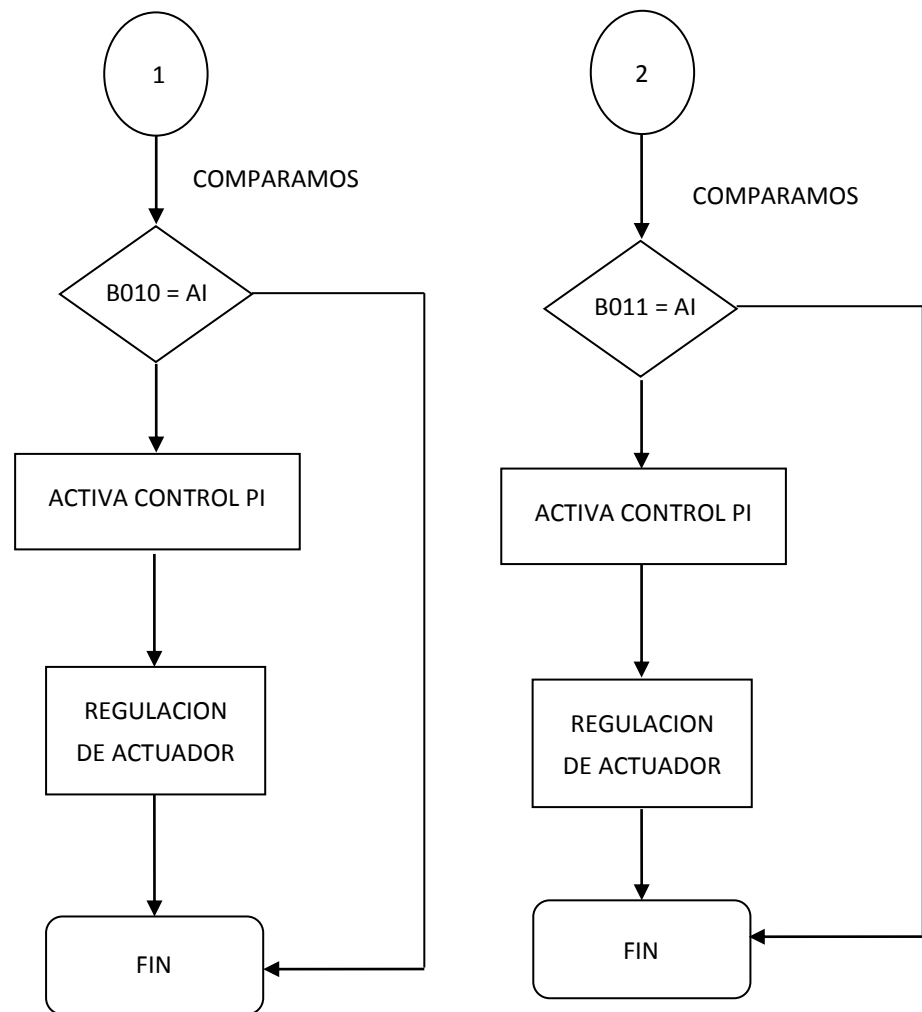
Se requiere programar el micro PLC Logo, para que se mantenga activo durante el tiempo que perdure el tratamiento termoterapeutico, pasado este tiempo el sistema debe pasar a estado inactivo automáticamente, evitando de esta manera daños en los vegetales.

Tabla 7: Funcionamiento contador de horas

Parámetro	Descripción
Intervalo de mantenimiento	Se programa en horas y minutos el tiempo de tratamiento termoterapeutico.
Tiempo de arranque	Se deja en cero.

A continuación se describe el funcionamiento del programa realizado en logo Softconfort, a través de un diagrama de flujo.





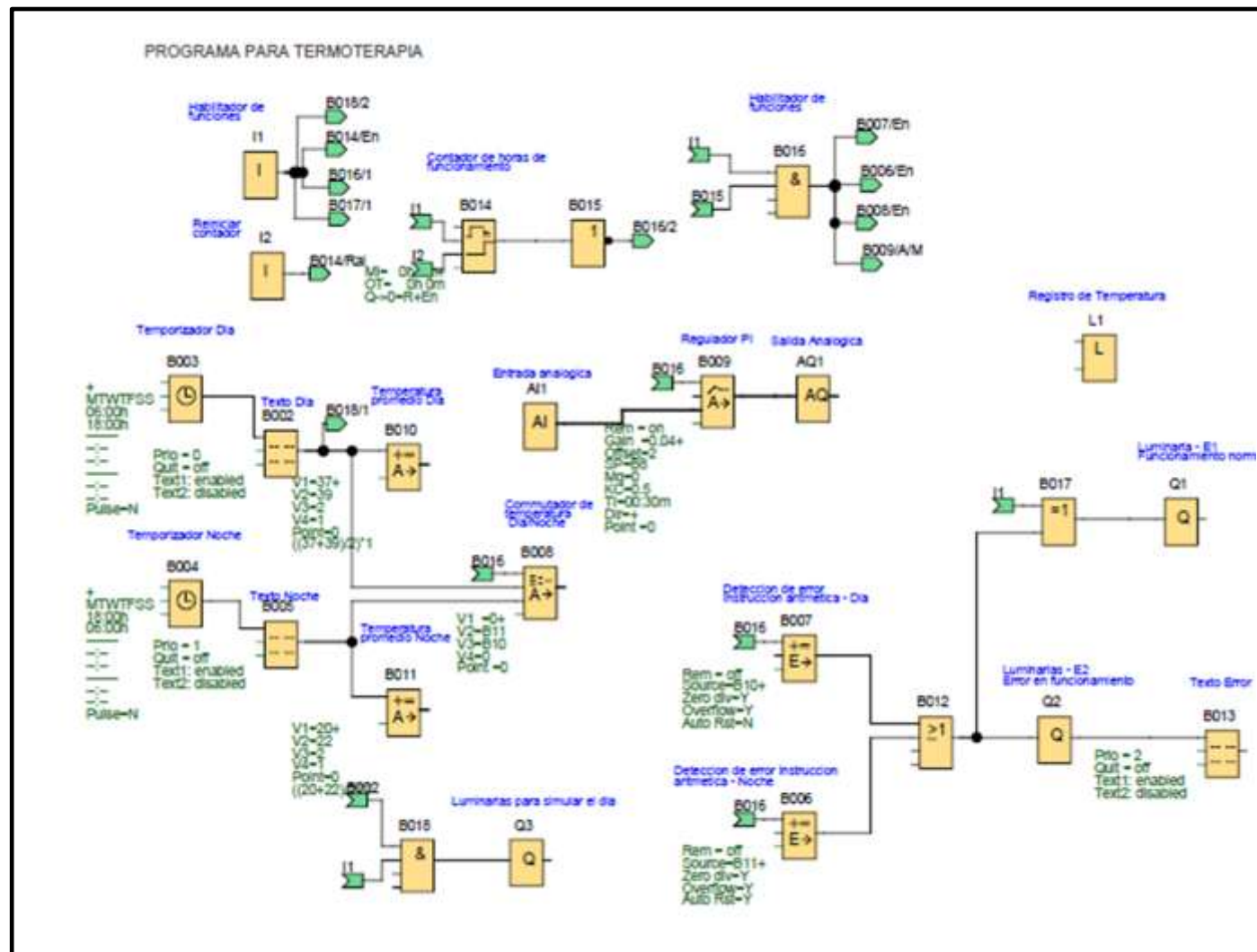


Imagen 203: Programación para sistema automático de termoterapia

III.5.1. Explicación del Programa desarrollado.

A continuación se detalla el funcionamiento del programa desarrollado en Logosoft comfort, para el control de temperatura en la cámara de termoterapia del Instituto de Biotecnología de la UNPRG-Lambayeque.

En el programa se debe accionar el interruptor I1 que a su vez habilita las funciones B009 y B008 que son del regulador PI, y el conmutador de temperatura Día/Noche. Observamos también que mientras exista un periodo de tratamiento se mantendrá una luminaria encendida a través de B001.

➤ Durante el día.

Si la hora se encuentra entre las 6:00 y 18:00 horas la función temporizador noche estará inactiva mientras que la función temporizador día se activara, enviando un pulso positivo que accionara la función Texto Día mostrándose de esta manera los avisos pre-programados para este intervalo de tiempo. Se habilita también la función Temperatura promedio día, la cual contiene la temperatura ingresada previamente por el operador para el tratamiento. A través de función conmutador de temperatura dia/noche se intercambia según corresponda entre la temperatura para el tratamiento durante el día y durante la noche para posteriormente enviarla a la función Regulador PI como set point iniciar el proceso de control.

Simulación.

Como podemos observar las líneas rojas indican las funciones habilitadas y el recorrido de sus salidas. A la mano derecha observamos el texto de aviso que muestra la temperatura actual y la temperatura requerida y a la mano izquierda observamos la curva del regulador PI realizando la acción de control.

En la parte inferior observamos una barra de herramientas donde en el ítem AI1 podemos variar la temperatura del proceso y observar variaciones en la curva del controlador PI.

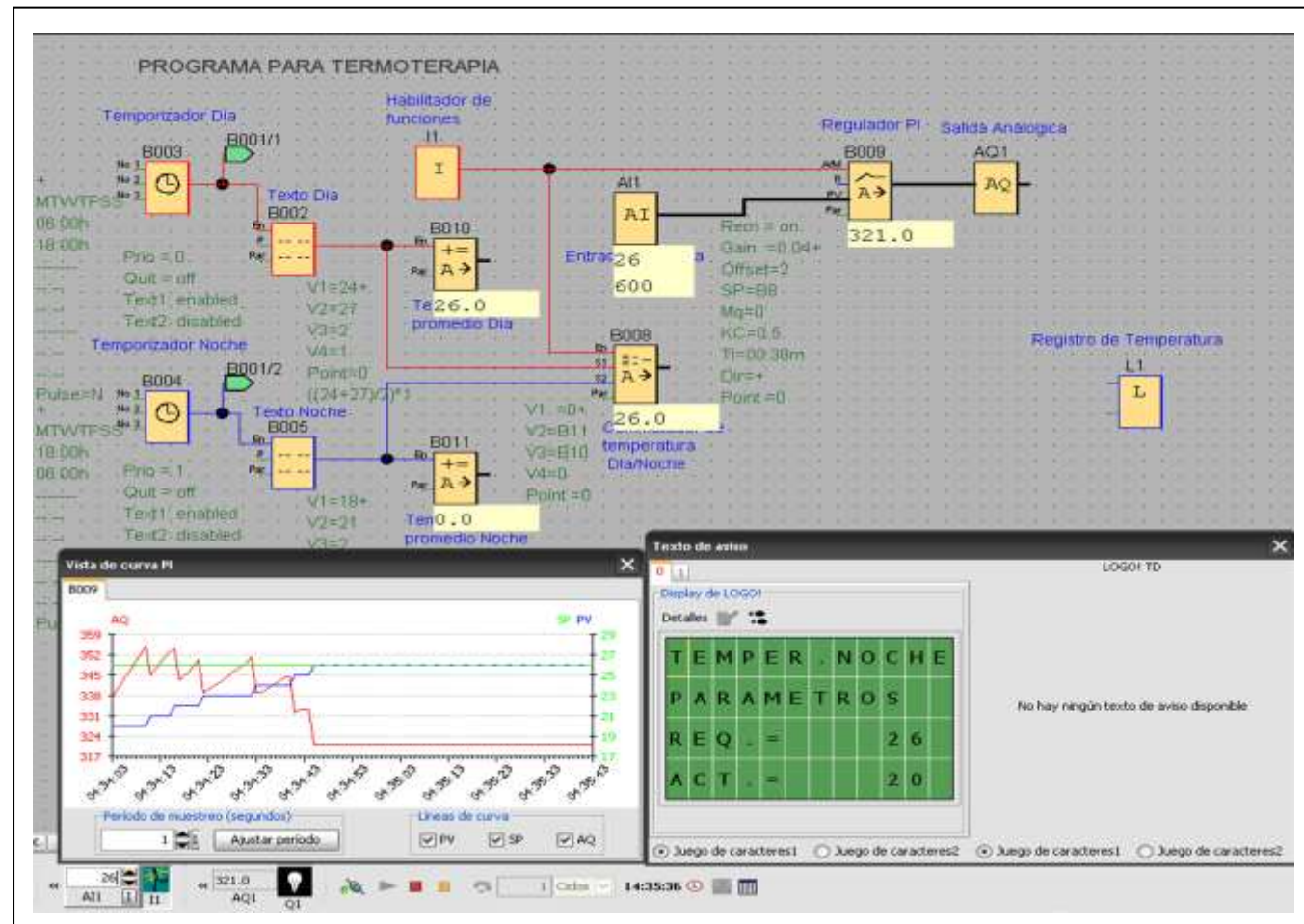


Imagen 21: Simulación - horario día

➤ Durante la noche.-

Si la hora se encuentra entre las 18:00 y 6:00 horas la función temporizador día estará inactiva mientras que la función temporizador noche se activara, enviando un pulso positivo que accionara la función Texto Noche mostrándose de esta manera los avisos pre-programados para este intervalo de tiempo. Se habilita también la función Temperatura promedio noche, la cual contiene la temperatura ingresada previamente por el operador para el tratamiento. A través de función conmutador de temperatura dia/noche se intercambia según corresponda entre la temperatura para el tratamiento durante el día y durante la noche para posteriormente enviarla a la función Regulador PI como set point e iniciar el proceso de control.

Simulación.

Como podemos observar las líneas rojas indican las funciones habilitadas y el recorrido de sus salidas. A la mano derecha observamos el texto de aviso que muestra la temperatura actual y la temperatura requerida y a la mano izquierda observamos la curva del regulador PI realizando la acción de control.

En la parte inferior observamos una barra de herramientas donde en el ítem AI1 podemos variar la temperatura del proceso y observar variaciones en la curva del controlador PI.

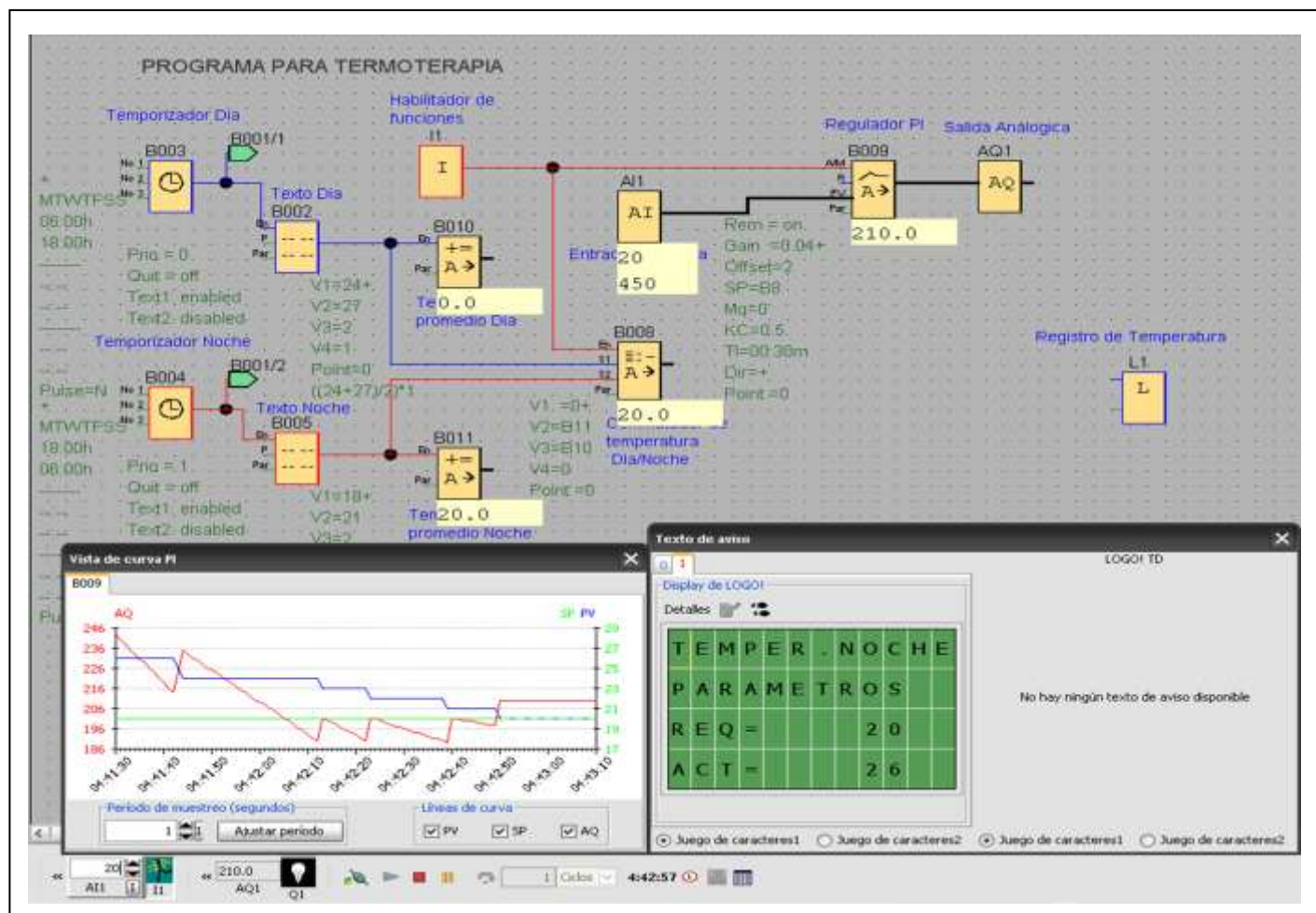


Imagen54: Simulación Horario noche

Tabla 8: Asignación de funciones

Nombre de la función especial usada	Nombre en el programa	Número
Temporizador semanal	Temporizador Día. Temporizador Noche.	B003 B004
Texto de aviso	Texto Día Texto Noche.	B002 B005
Instrucción Aritmética	Temperatura promedio Día Temperatura promedio Noche.	B010 B011
Mux analógico	Conmutador de temperatura Día/Noche.	B008
Regulador PI	Regulador PI	B009

III.7. Acondicionamiento y potencia de la señal de salida.

Tomando como referencia los estudios realizados por los Sres. Digo Ochoa y Brean Leon en la investigación, Identificación y diseño del controlador para un sistema de control de Control de temperatura de agua en un tanque, y con el propósito de tener un mejor control en el proceso de termoterapia, el voltaje AC suministrado a la resistencia calefactora será regulado variando los pulsos de disparo mediante un Triac.

Este circuito de disparo compara una señal de referencia, que es la señal entregada por el controlador, con una señal diente de sierra, para luego activar un MOC el cual accionara el Triac, según corresponda.

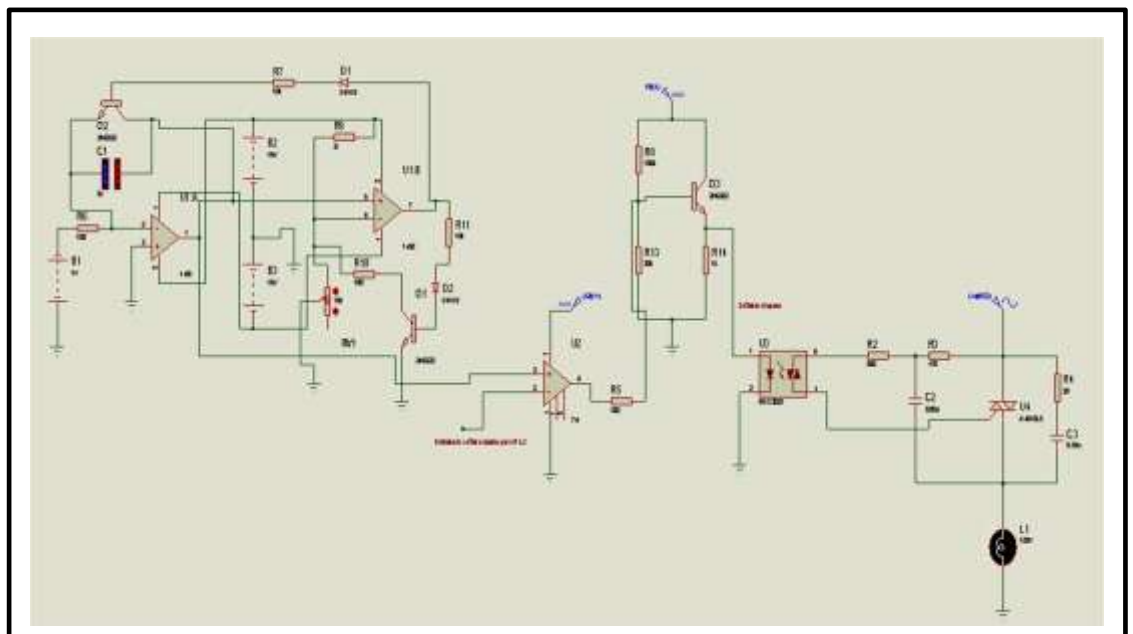


Imagen 23: Circuito para control de resistencia eléctrica.

A continuación se muestra el circuito generador de onda diente de sierra con conteo de partes bajas.

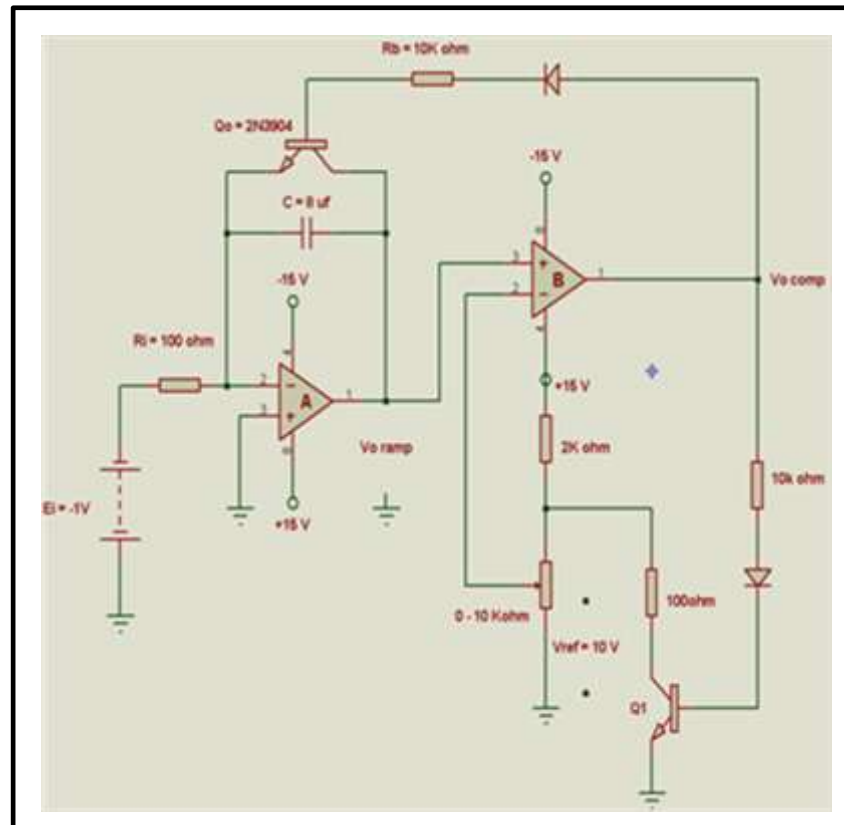


Imagen 24: Circuito Generador de inda diente de sierra.

El Amplificador operacional A es un generador de rampa y como E_i es negativa, $V_{o\ ramp}$ solo puede aumentar.

La tasa de aumento de voltaje de rampa es constante en:

$$\frac{V_{0 \text{ ramp}}}{t} = \frac{E_i}{R_i C}$$

El voltaje rampa es monitoreado por la entrada (+) del comparador B; si V_{0_ramp} está por debajo de V_{ref} la salida del comparador es

negativa y los diodos protegen a los transistores contra una polarización inversa excesiva.

Cuando $V_{0 \text{ ramp}}$ aumenta lo justo para exceder V_{ref} , la salida de $V_{0 \text{ comp}}$ pasa a saturación positiva, esta polarización directa hace que el transistor Q_0 pase a saturación, el transistor saturado actúa como corto a través del capacitor integrador C y C se descarga rápido a través de Q_0 hacia 0v.

Cuando $V_{0 \text{ comp}}$ pasa a positivo, Q_1 se activa para poner en corto al potenciómetro de 10 k Ω , esto reduce V_{ref} hasta casi 0v.

A medida que C se descarga hasta 0v, lleva a $V_{0 \text{ ramp}}$ hasta 0v muy rápido; $V_{0 \text{ ramp}}$ cae por debajo de V_{ref} , lo que causa que el valor de $V_{0 \text{ comp}}$ pase a negativo y desactive Q_0 mientras C se comienza a cargar linealmente y se inicia la generación de una nueva onda diente de sierra.

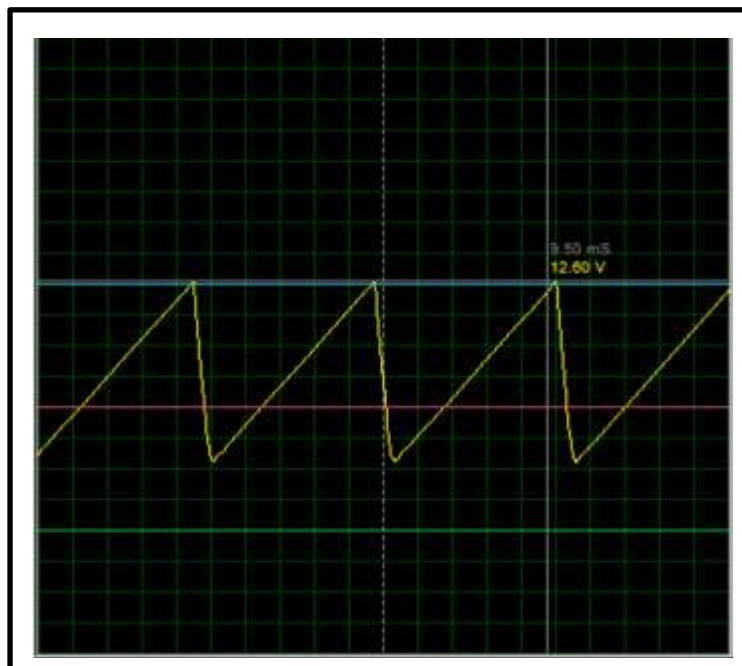


Imagen 25: Onda diente de sierra.

Consideraciones de diseño.

- Se diseña un divisor de voltaje de referencia $V_{ref.} = 10V$, debido a que la señal de referencia se va a comparar con una salida analógica del micro PLC que esta entre los valores de 0-10V.
- Se procede a calcular los valores de R_i y C para un valor de frecuencia de 125HZ. de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{R_i C} \left(\frac{E_i}{V_{ref}} \right)$$

- Reemplazando para R_i un valor de 100ohm. y para f un valor de 125Hz. obtenemos la siguiente ecuación:

$$125Hz = \frac{1}{(100\Omega)(C)} \left(\frac{1}{10V} \right)$$

- Por lo tanto para C resulta un valor de 8uf.

III.7.2. Diseño del circuito comparador.

Se diseño un circuito comparador, entre la señal diente de sierra y el voltaje que entrega el sensor de temperatura LM35, cuyo resultado fue amplificado y enviado al MOC para la correspondiente activacion o desactivacion del triac.

Cuando el voltaje enviado por el sensor de temperatura es muy bajo en comparacion con el voltaje de la onda diente de sierra, el tiempo de activacion del MOC es mas prolongado que cuando los voltajes se hacen similares.

Es decir a medida que se vaya calentando la camara de termoterapia el voltaje enviado por el sensor de temperatura sera mayor y en tiempo de conduccion de MOC ira disminuyendo ya que son dos variables inversamente proporcionales.

De esta manera se optimisa el consumo de corriente para calentar la camara de termoterapia.

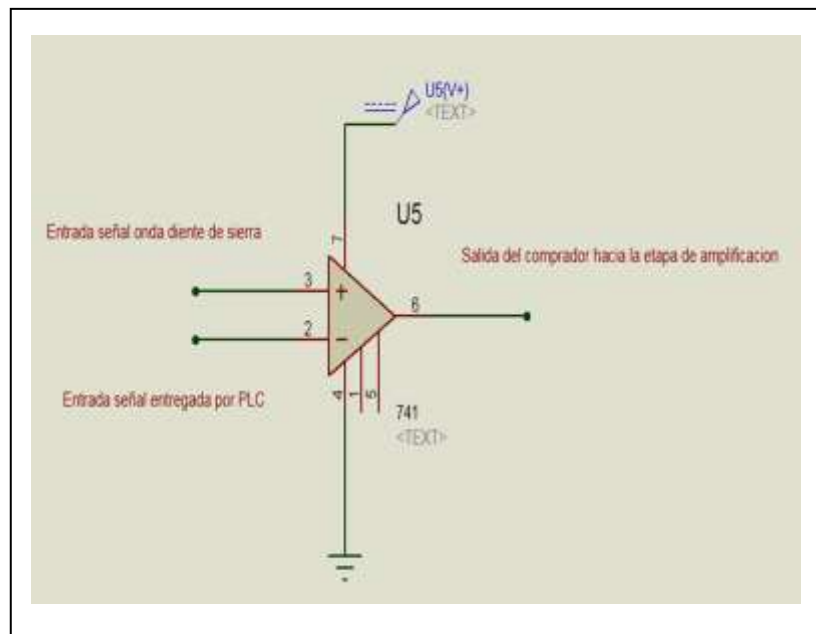


Imagen 26: Circuito comparador

III.7.1. Amplificacion de la señal de control.

Despues de comparar las señal diente de sierra y la señal enviada por el sensor de temperatura a traves de un circuito comparador,

se envía a un arreglo de transistor para amplificar la señal y enviarla al MOC.

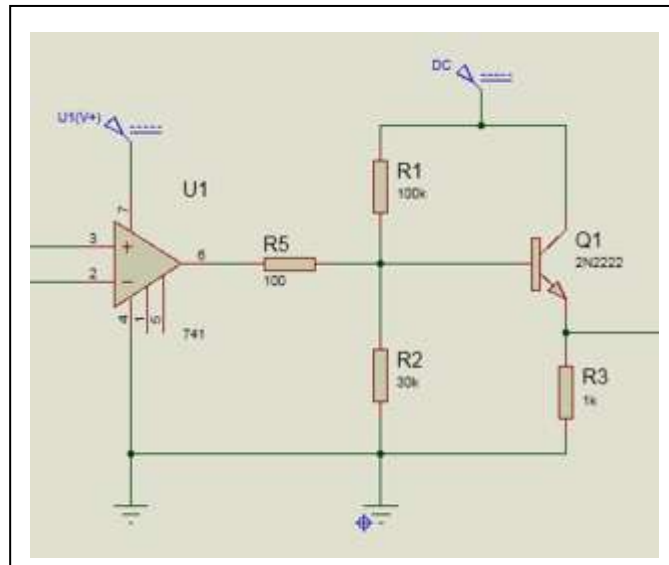


Imagen 27: Circuito amplificador

III.7.1.4. Diseño del circuito de fuerza.

El circuito de fuerza consta de un MOC y un triac que permanecerá en conducción según la señal entrada entregada por el circuito de disparo.

Ese diseño se aplica a todas las salidas del micro PLC que controlan luminarias de funcionamiento normal o defectuoso y luminarias internas de la cámara.

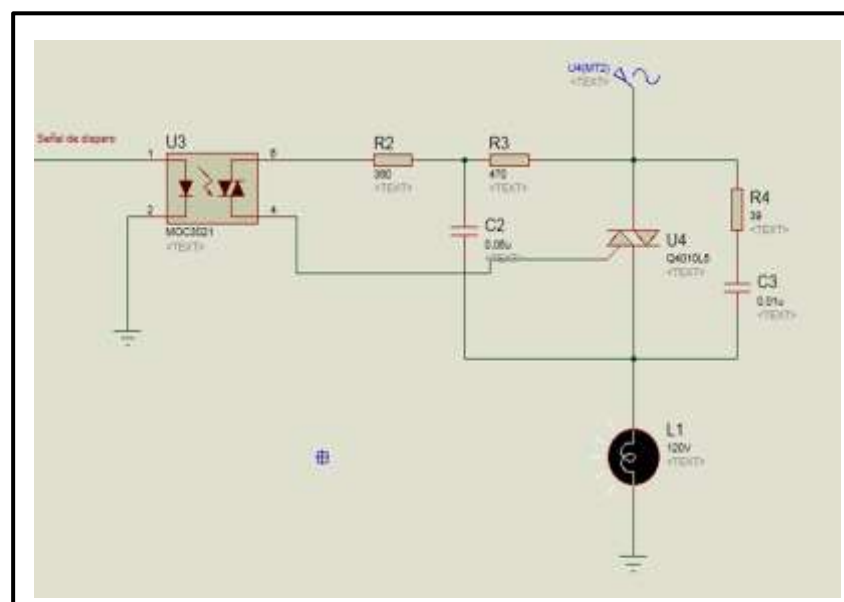


Imagen 28: Circuito de fuerza.

CAPITULO IV:
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

CAPÍTULO IV

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las simulaciones realizadas a las diferentes etapas del proyecto; usando el Software LogoV7 de Siemens para simular el controlador PI desarrollado y el software Isis Protus 8.3 para la etapa de potencia y control de disparo del Triac.

En dichas simulaciones se cambiaron las condiciones térmicas dentro de la cámara de termoterapia, así como también los valores de temperatura deseados para diferentes tipos de tratamiento. Se comprobó la eficiencia del control PI además de comprobarse el buen funcionamiento de la etapa de potencia y control de disparo del Triac.

Es importante resaltar que el diseño se ajusta a temperaturas en el rango de 0 y 40°C.

IV.1. Simulación del Proceso Termoterapéutico.

En las siguientes simulaciones se muestra el comportamiento del controlador PI para diferentes situaciones térmicas, según sea de día o de noche, también se presenta el comportamiento en general del microPLC Logo de Siemens, mostrando los mensajes de texto que se visualizan en su pantalla y los diferentes valores lógicos de sus funciones.

Simulación A.

Condiciones:

- Tiempo: Entre las 6:00 – 18:00 horas.
- Temperatura promedio de tratamiento: 38°C.
- Temperatura actual dentro de la cámara: 26°C
- Tiempo de tratamiento: 4min (para efectos de la simulación).

Como podemos observar se visualiza en la pantalla del microPLC Logo un texto de aviso indicando que estamos de día y se muestran los parámetros de temperatura para este caso que son: temperatura requerida (Req.) y la temperatura actual (Act.)



Imagen 29: Texto de aviso día - Micro PLC LOGO

Se observa además un cuadro de curvas del controlador PI, que muestra el comportamiento de la variable de proceso (PV), el Set point (SP) y el valor de la salida analógica (AQ), que convergerán en una misma recta según vaya acercándose la temperatura actual a la temperatura requerida.



Imagen 30: Temperatura sin llegar al valor deseado.

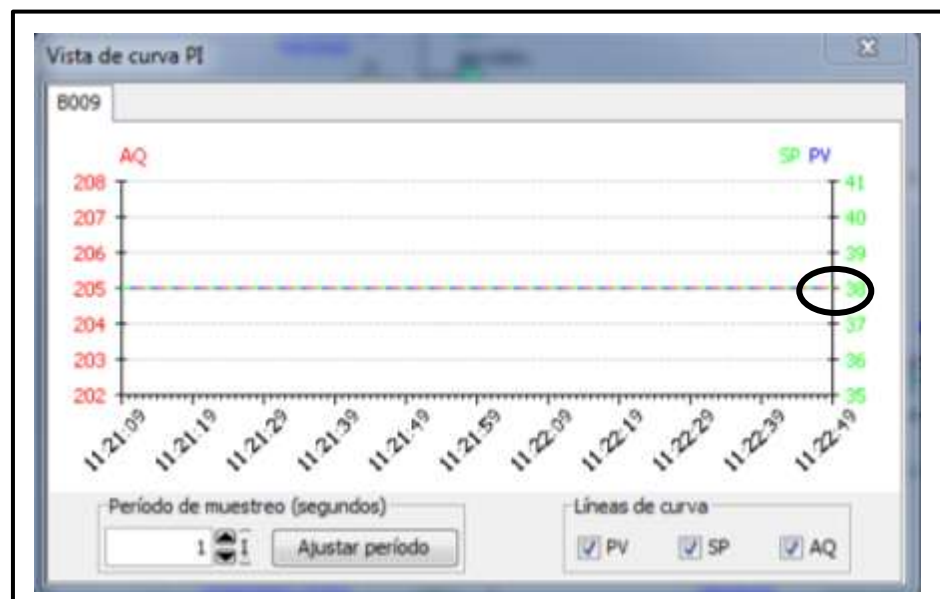


Imagen 31: Temperatura en el valor deseado.

En el programa simulado se observa el tiempo de duración total del tratamiento (cuadro de color rojo), el tiempo transcurrido del mismo (cuadro de color amarillo), el valor de la temperatura dentro de la

cámara y el valor de la salida del controlador PI (cuadro de color verde).

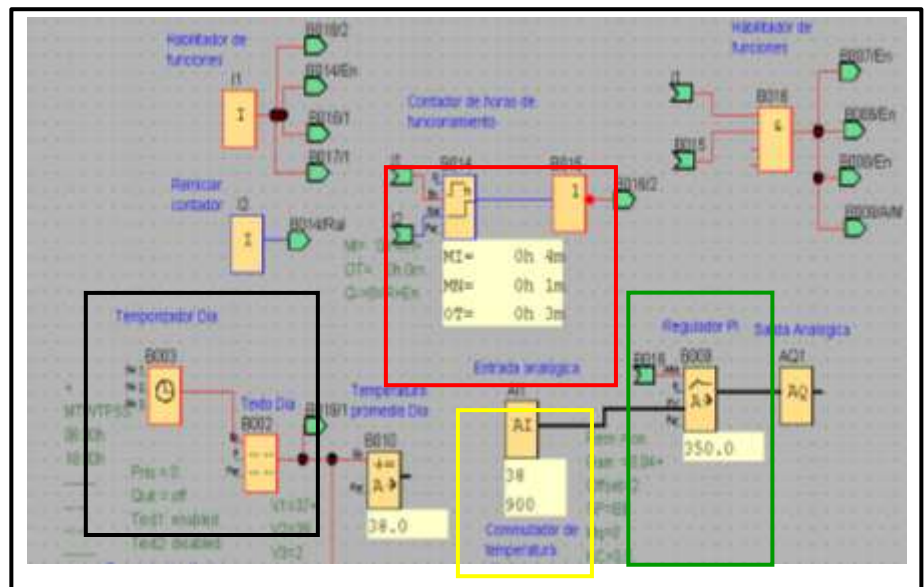


Imagen 32: Simulación del programa durante el día.

Condiciones:

Como podemos observar se visualiza en la pantalla del microPLC Logo un texto de aviso indicando que estamos de día y se muestran los

parámetros de temperatura para este caso que son: temperatura requerida (Req) y la temperatura actual (Act)



Imagen 33: Texto de aviso noche - Micro PLC LOGO

Se observa además un cuadro de curvas del controlador PI, que muestra el comportamiento de la variable de proceso (PV), el Set point (SP) y el valor de la salida analógica (AQ), que convergerán en una misma recta según vaya acercándose la temperatura actual a la temperatura requerida.

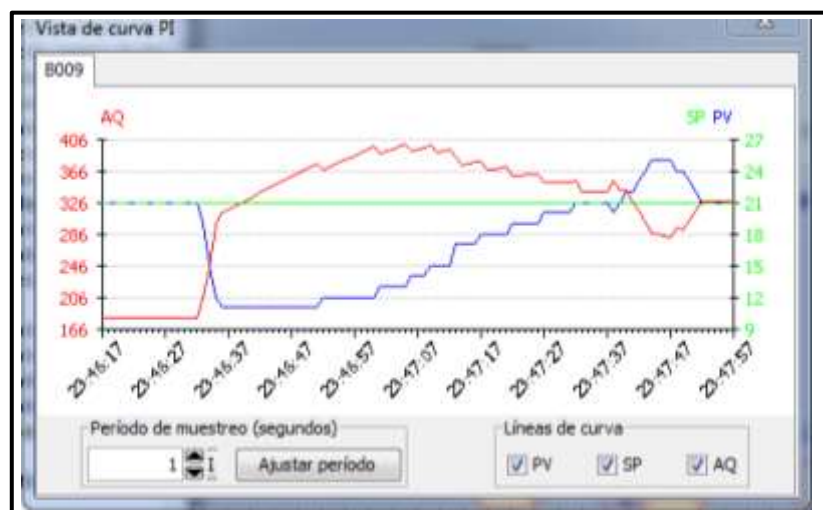


Imagen 34: Temperatura sin llegar al valor deseado.

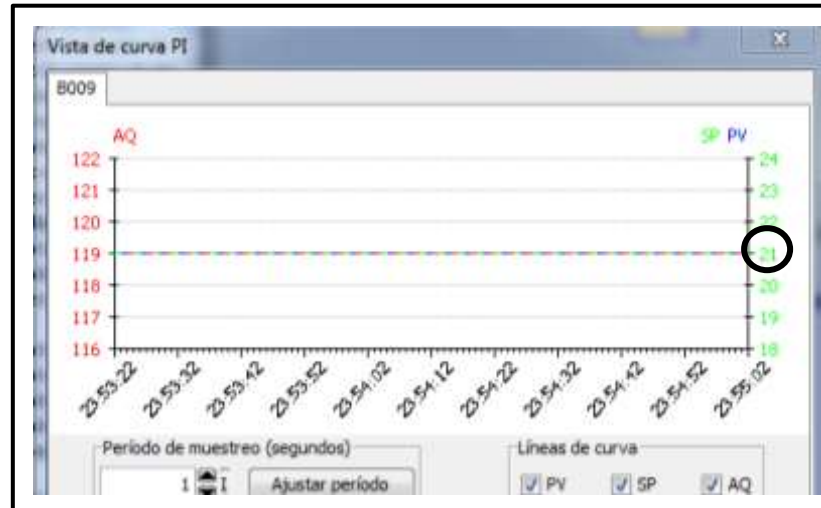


Imagen 35: Temperatura en el valor deseado.

En el programa simulado se observa el tiempo de duración total del tratamiento (cuadro de color rojo), el tiempo transcurrido del mismo (cuadro de color amarillo), el valor de la temperatura dentro de la cámara y el valor de la salida del controlador PI (cuadro de color verde). Así mismo se observa activado el temporizador Noche, eso quiere decir que el tratamiento se da entre las 18:00 y 6:00 horas (cuadro de color negro).

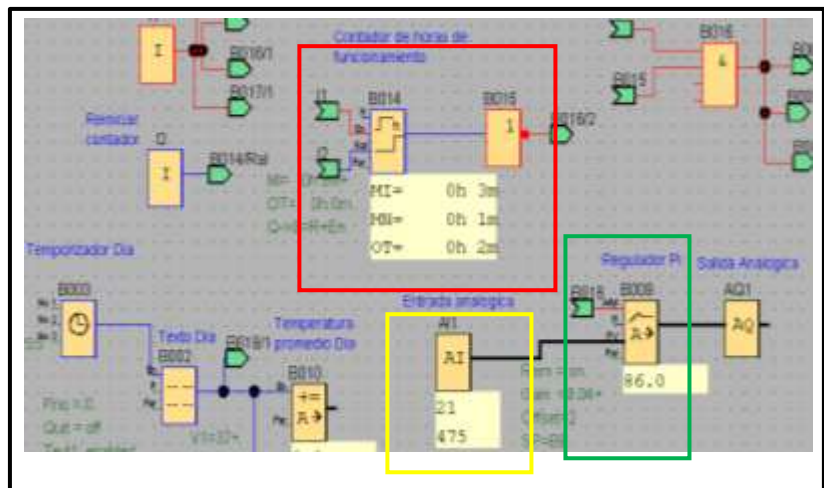


Imagen 36: Programa Simulación noche

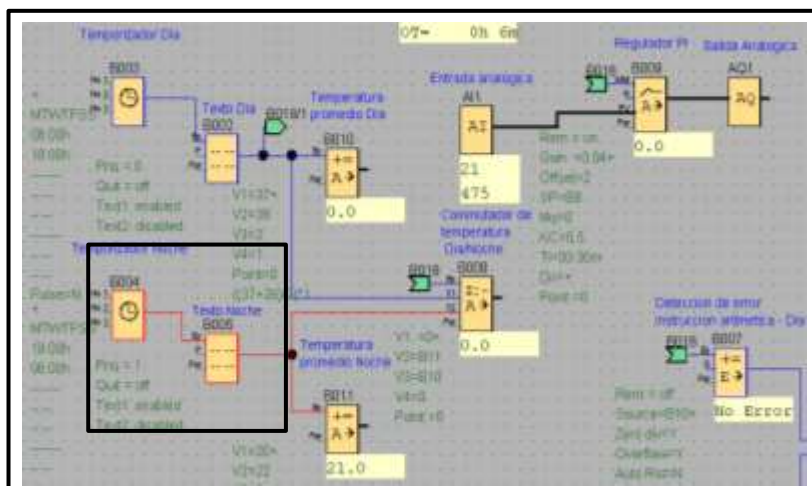


Imagen 37: Simulación temporización noche

IV.2. Control ON/OFF de fluorescentes.

El control ON/OFF de las luminarias dentro de la cámara de termoterapia, permanecerán encendidas desde las 6:00 - 18:00 horas y apagadas el tiempo restante del día. De esta manera se permitirá a la planta realizar el proceso de fotosíntesis.

Simulación A.

- **Durante el Día.-** Entre las 06:00 - 18:00 horas la salida Q3 debe permanecer encendida durante el tiempo que dure el tratamiento termopoterapeutico, simulando el día.

Como se observa, la salida Q3 está activa y el temporizador día también, lo que demuestra la actividad diurna del sistema, a través de la activación de las luminarias.

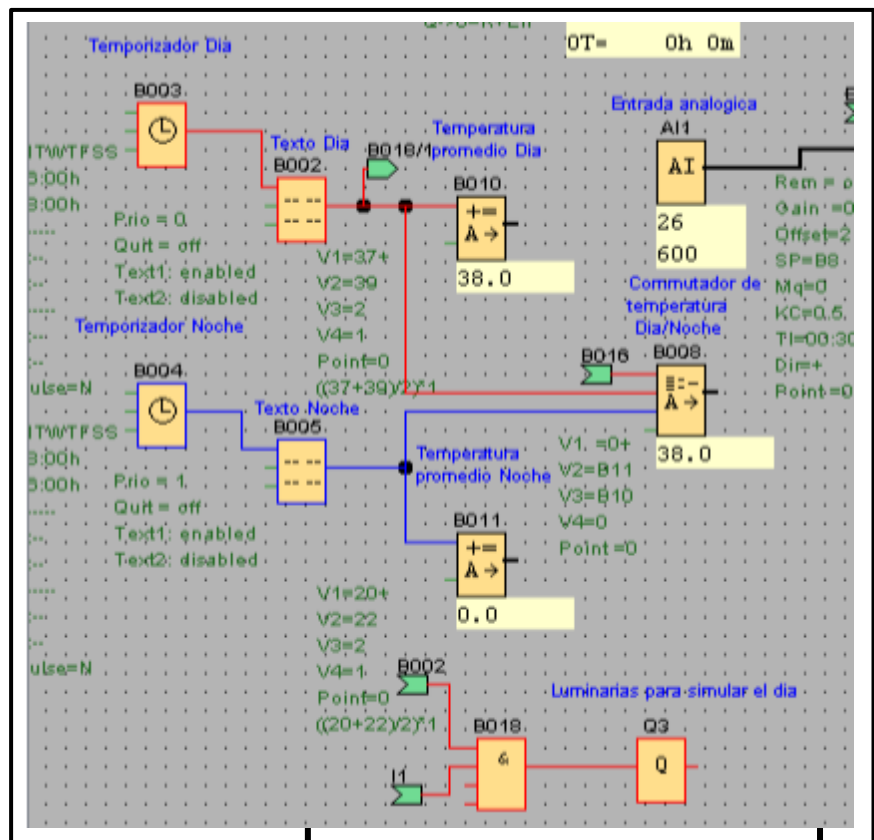


Imagen 38: Simulación iluminación día

Simulación B.-

- **Durante la Noche.-** Entre las 18:00 - 6:00 horas La salida Q3 debe permanecer inactiva, durante el tiempo que dure el tratamiento termopoterapeutico, simulando la noche.

Como se observa, la salida Q3 está inactiva y el temporizador noche activado, lo que demuestra la actividad nocturna del sistema, a través de la desconexión de las luminarias.

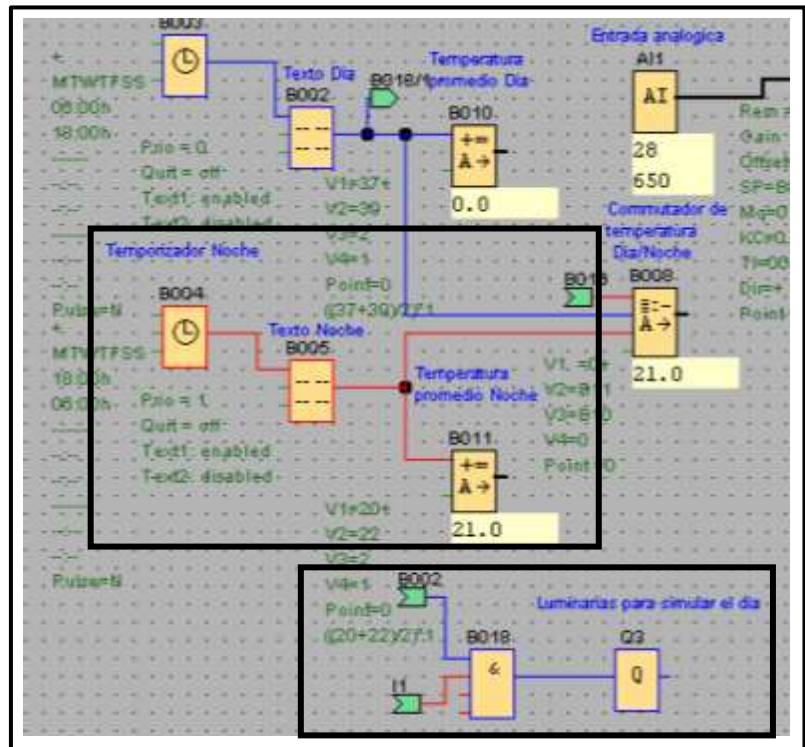


Imagen 39: Simulación iluminación noche

IV.3. Sensor de temperatura y amplificación de señal.-

Esta simulación demostró la validez del sensor LM35 existente en el software Isis Proteus y su correspondiente diseño de amplificación; debido a que el voltaje de salida del sensor de temperatura se encuentra en la escala de los milivoltios, se usó una etapa de amplificación con opamps para elevarla al rango de 0 – 10v, que es el rango de voltajes que acepta el microPLC.

Simulación A.

Como se puede observar se tiene para una temperatura máxima de 40°C una salida de voltaje máximo de 10V, tal como lo requiere el diseño.

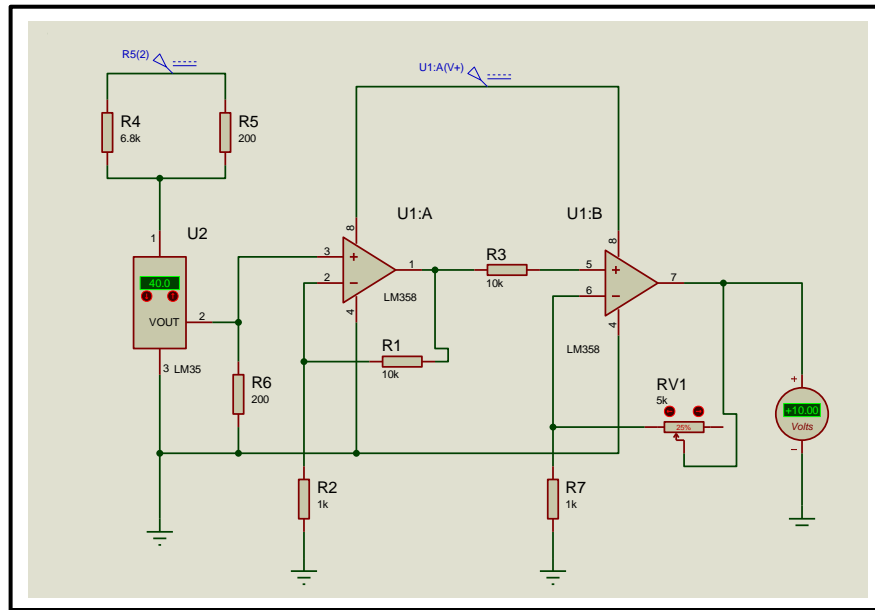


Imagen 40: Acondicionamiento señal de entrada - Rango máximo

Simulación B.

Como se puede observar se tiene para una temperatura mínima de 0°C una salida de voltaje máximo de 0V , tal como lo requiere el diseño.

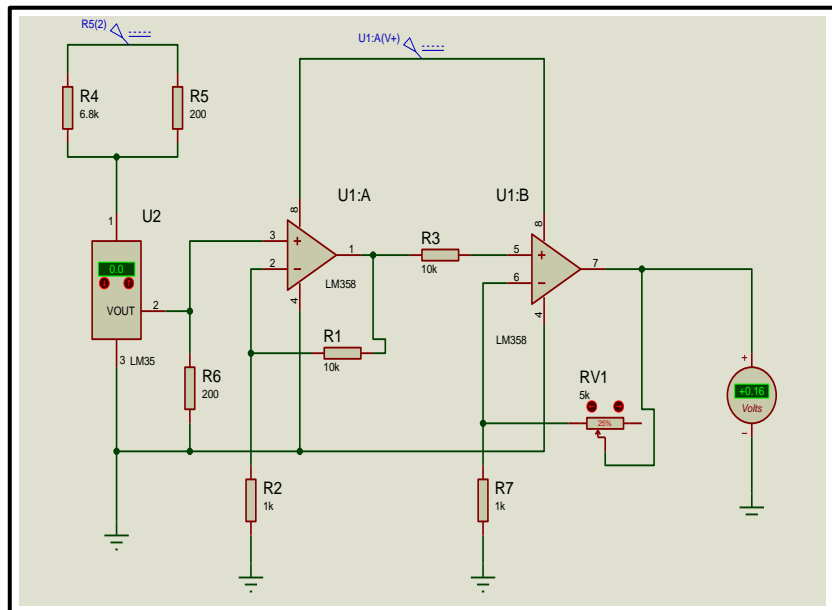


Imagen 41: Acondicionamiento señal de entrada - Rango mínimo

Simulación C.

Como se puede observar para una temperatura en el rango de 0 – 40°C, se tiene una salida de voltaje entre los 0 - 10V, tal como lo requiere el diseño.

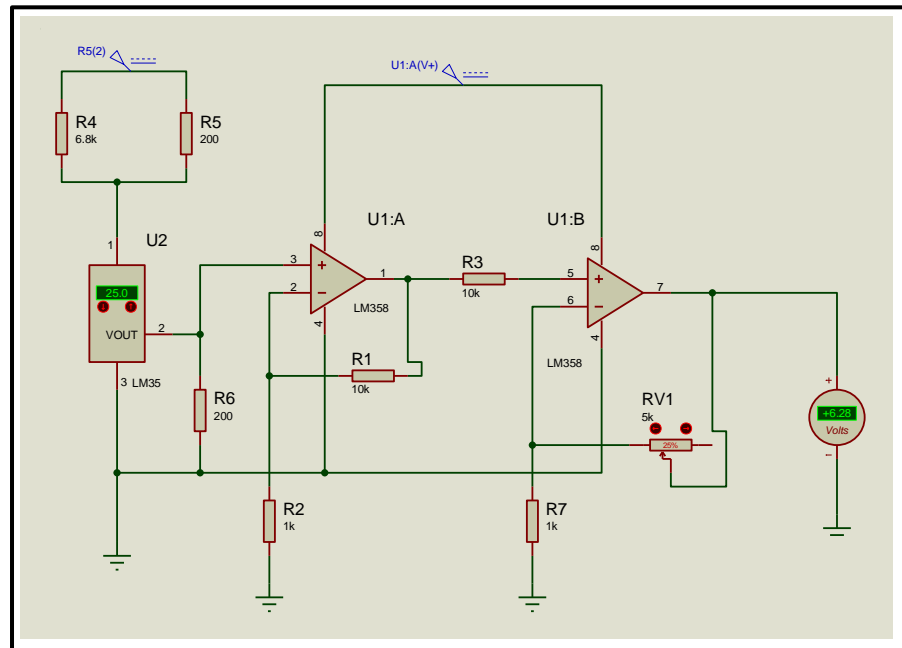


Imagen 42: Acondicionamiento señal de entrada - Rango 0-10V

IV.4. Onda diente de sierra.-

Esta simulación demostró la funcionalidad del diseño de la señal onda diente de sierra la cual es comparada con la señal que entrega el PLC para accionar, según sea el caso, al MOC y por consiguiente el disparo del triac; esta señal posee un valor máximo de 10V y un valor mínimo de 0V, además de tener una frecuencia de 120Hz, esto último debido a que deberá accionarse el disparo del triac en cada semiciclo de la onda sinusoidal del voltaje alterno que recibe la resistencia calefactora.

Simulación A.

Como puede observarse la onda diente de sierra cumple las especificaciones que requiere el diseño.

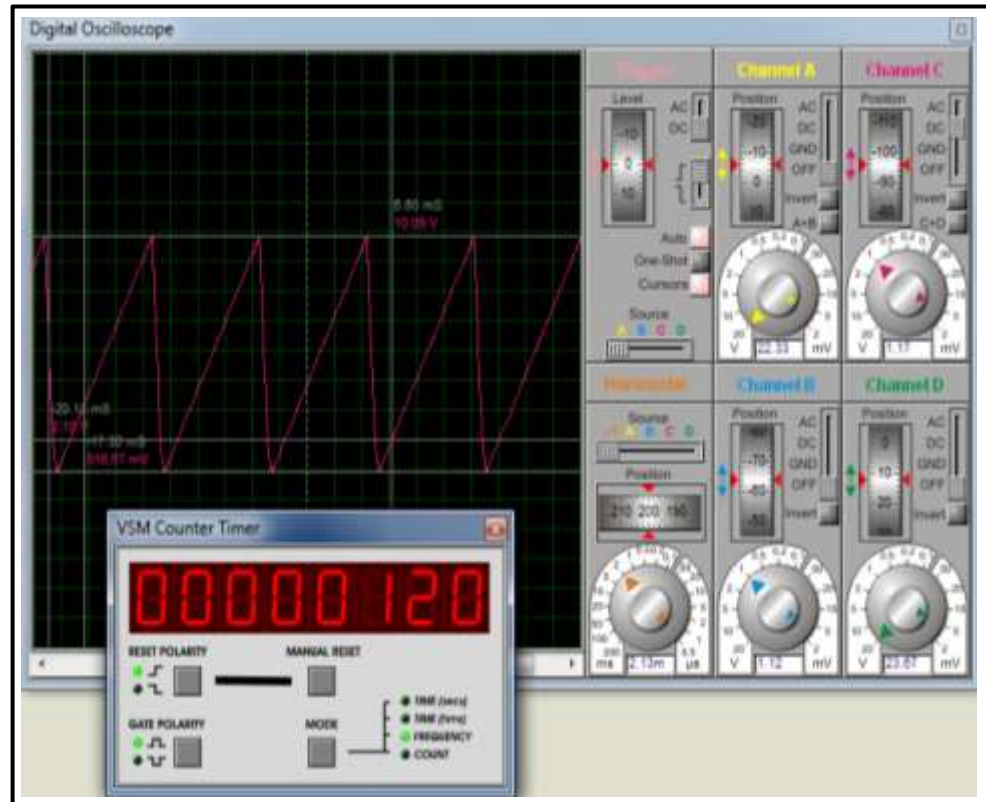


Imagen 43: Simulación onda diente de sierra

IV.5. Circuito de fuerza MOC y Triac.

Esta simulación demostró la funcionalidad del circuito de fuerza diseñado a través de un MOC y un Triac para regular el voltaje de la resistencia térmica.

Simulación A.

Como se puede observar para una señal de activación de tiempo reducido (señal en color azul), se tendrá un tiempo de conducción del

triac también reducido, por lo tanto el voltaje AC enviado a la resistencia eléctrica será de un corto tiempo (señal en color verde).

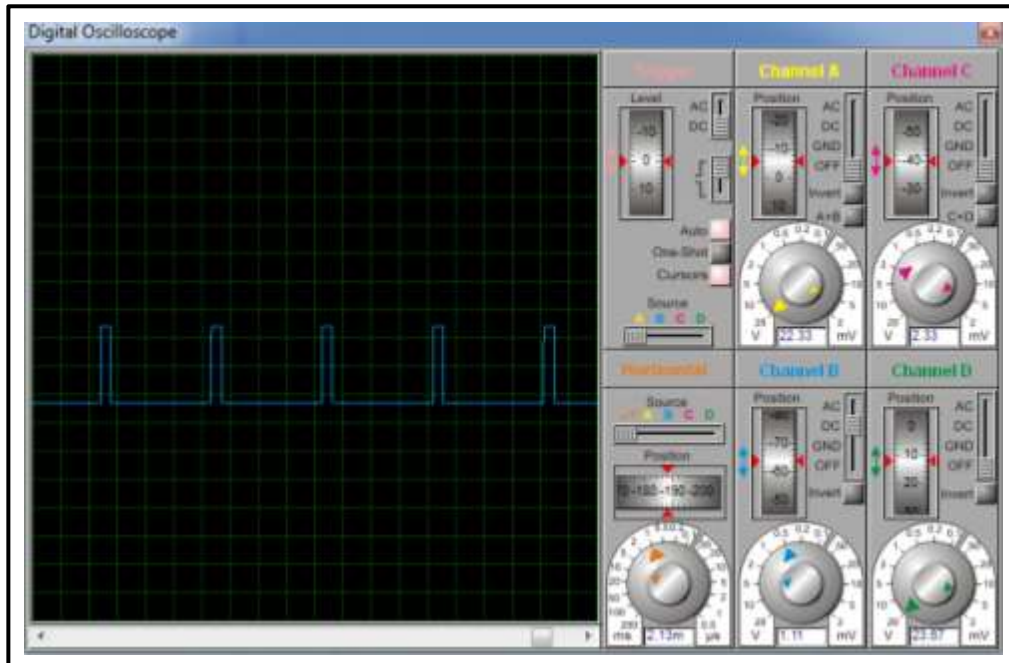


Imagen 44: Señal de activación del triac - simulación A

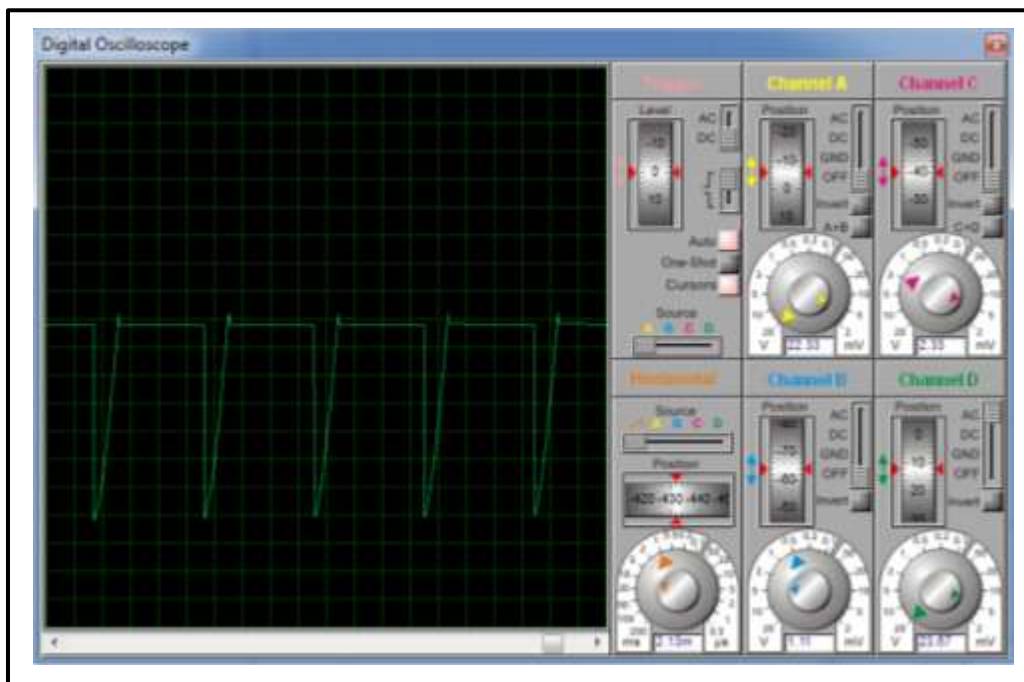


Imagen 45: Señal de conducción del triac - simulación A

Simulación B.

Como se puede observar, para una señal de activación de tiempo prolongado (señal en color azul), se tendrá un tiempo de conducción del triac superior, por lo tanto el voltaje AC enviado a la resistencia eléctrica será de un mayor tiempo (señal en color verde).

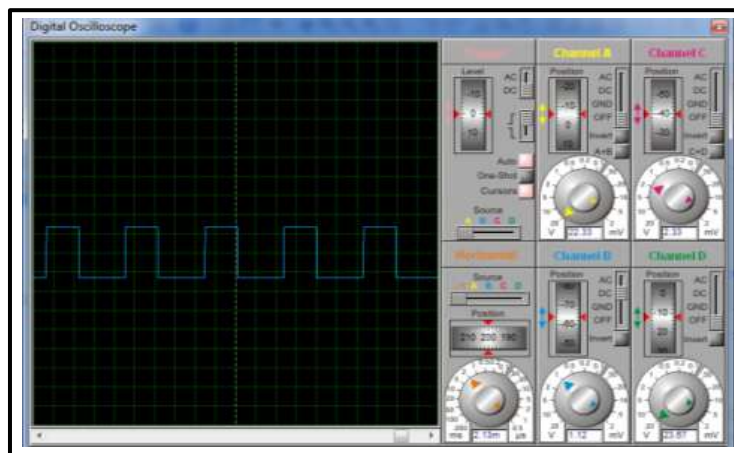


Imagen 46: Señal de activación del triac - simulación B

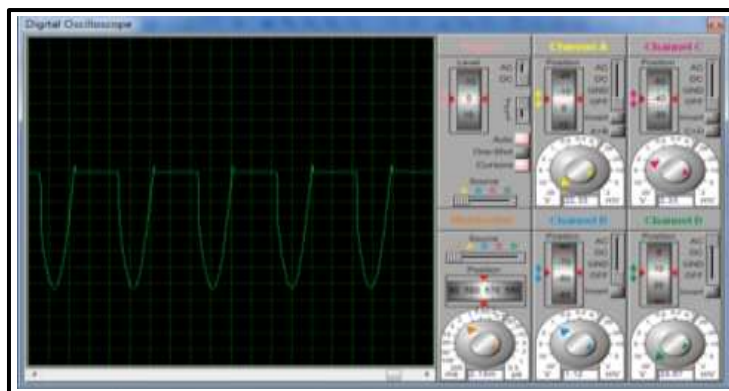


Imagen 47: Señal de conducción del triac - simulación B

Simulación C.

Como se puede observar, para una señal de activación de tiempo muy prolongado (señal en color azul), se tendrá un tiempo de conducción total del triac, por lo tanto el voltaje AC enviado a la resistencia eléctrica será también total (señal en color verde).

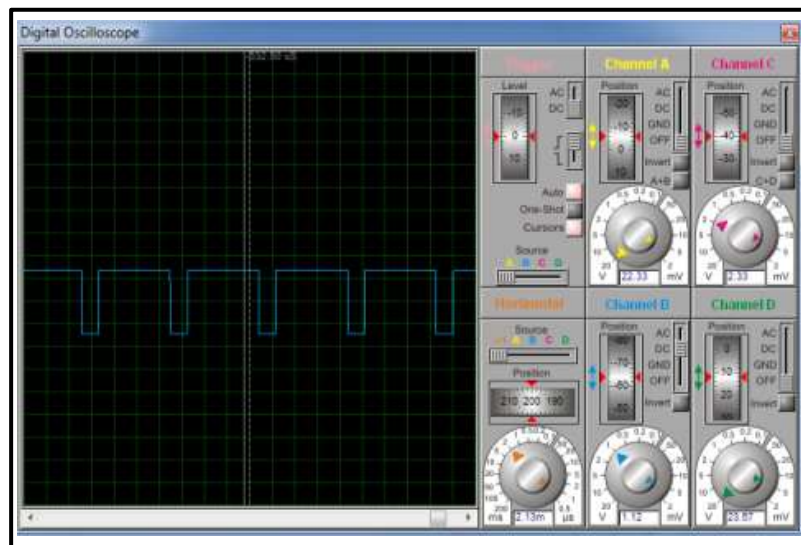


Imagen 48: Señal de activación del triac - simulación C

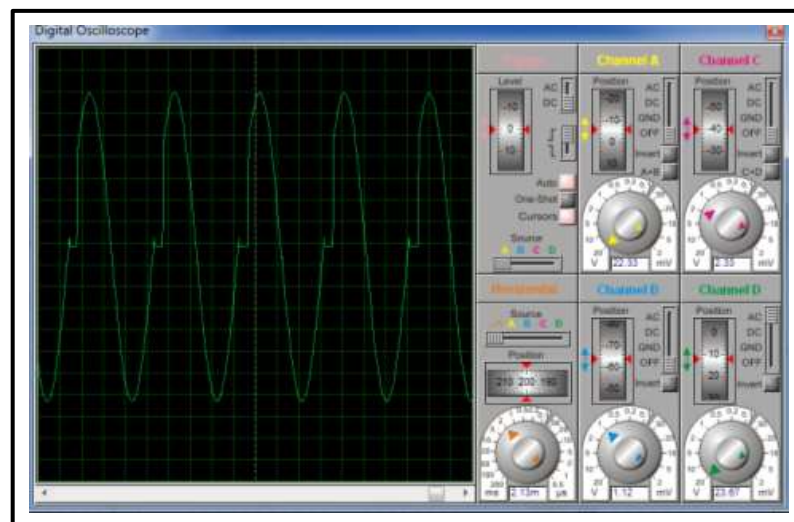


Imagen 49: Señal de conducción del triac - simulación C

CAPITULO V:

Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO V

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1.- CONCLUSIONES

1. Se realizó el diseño de un sistema automático, el cual servirá como base para la optimización en el proceso de termoterapia para la erradicación de fitovirus, en el instituto de biotecnología de la UNPRG – Lambayeque.
2. Se estudió el proceso de erradicación de fitovirus, encontrándose en la termoterapia una técnica confiable para la esto, siendo utilizada en el instituto de biotecnología de la UNPRG.
3. Se logró obtener la función de transferencia de la planta:

$$Q_{0(s)} = \frac{3187.76}{s + 6.16}$$

Además se hallaron los parámetros del controlador PI siendo estos:

- Constante proporcional $K_{(c)} = 0.5$
- Tiempo integral $T_{(i)} = 30\text{seg.}$

Por lo tanto la función de transferencia de la planta con el controlador PI quedara determinada por la siguiente ecuación:

$$F.T = \frac{6.152s + 37.297}{s^2 + 12.312s + 37.297}$$

4. Se diseñó un sistema de control proporcional integral para el proceso de termoterapia en la erradicación de fitovirus.

5. Se seleccionó el equipamiento electrónico adecuado para el control automático de termoterapia, utilizando como controlador el microPLC LOGO OBA7 de SIEMENS y para la etapa de sensado, el sensor de temperatura LM35, por sus características ya mencionadas en el capítulo III.

6. Se logró la simulación del sistema, teniendo las siguientes etapas

6.1. Etapa de sensado: se acondiciono la entrada para que el controlador pueda leer los datos del sensor LM35, la temperatura acondicionada de forma lineal para para que el proceso de sensado sea de 0 a 10V en el rango de temperatura de 0 °C a 40°C, esta etapa fue simulada en el software PROTEUS.

6.2. Etapa de procesamiento: el encargado de esta etapa será el microPLC logo OBA7 de la marca de siemens, el proceso de simulación se realizó en el software LOGOSOFT.

6.3. Etapa de control: El actuador en esta etapa fue una resistencia eléctrico, el proceso de simulación se realizó en PROTEUS.

V.2.- RECOMENDACIONES

1. Capacitación al personal encargado de la supervisión en el proceso de termoterapia, La capacitación debe basarse en el funcionamiento del sistema de control automático y de los equipos utilizados.
2. La cámara de termoterapia actual con la que cuenta el instituto de biotecnología de la UNPRG, no se encuentra en buenas condiciones frente a esto se recomienda realizar mantenimiento en su estructura.
3. los equipos instalados en la cámara deben tener un mantenimiento preventivo una vez al mes, por personal capacitado, frente a esto se propone un plan de mantenimiento preventivo, con la finalidad de conservar el buen estado del sistema de control y de la cámara de termoterapia, lo que evitara tiempos de paros

BIOGRAFÍA

1. Tarn, I., Vera, G. y Olivera, R. (2008). *Tipos, métodos y estrategias de investigación, pensamiento y acción*. 5: pág.145-154.
2. Cruz, W. (2011). *Diseño e implementación del portal web para la parroquia San Nicolás Santuario del Divino Niño Jesús y sus comunidades parroquiales en la ciudad de San Miguel, que permita proyectarse a nivel nacional e internacional*. Tesis para optar al grado de Ingeniero en Sistemas Informáticos. Universidad de Oriente. El Salvador.
3. Montgomery, D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Ediciones Iberoamericana.
4. Zibecchi, C. y Castro, H. (2007). *Geografía mundial y los desafíos del siglo XXI*. Uruguay: Ediciones Santillana.
5. Diouf, J. (2005). *Depósitos de documentos de la FAO*. Obtenida el 15 de Marzo de 2013, de http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/003/t4450s/t4450s01.htm.
6. Consejo Europeo de información sobre alimentación (2005). *Los básicos, sobre la agricultura*. Obtenida el 15 de Marzo de 2013, de <http://www.eufic.org/sp/quickfacts/agricultura.htm>.
7. Villar, F. (2008). *Agricultura peruana: enfrentando el reto del cambio. República del Perú*. Obtenida el 15 de Marzo de 2013, de <http://es.slideshare.net/gueste6de23/agricultura-peruana>.
8. Yovera, D. (2011). *Atlas de la Región Lambayeque*. Obtenida el 15 de Marzo de 2013, de <https://sites.google.com/site/atlaslambayeque/economia>
9. Alvarado, M., Alama, R. y Palacios, B. (2013). *Síntesis económica de Lambayeque: Banco Central de Reserva del Perú sucursal Piura, departamento de estudios económicos*. Obtenida el 16 de Marzo de 2013 <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Piura/2013/sintesis-lambayeque-01-2013.pdf>
10. Vela, L. (2012). *Economía y desarrollo, difusión de temas sobre crecimiento y desarrollo económico*. Obtenida el 16 de Marzo de 2013, de <http://lindonvela.blogspot.com/2012/04/la-economia-de-lambayeque-y.html>.
11. Concytec (2008). *Gobierno Regional Lambayeque, plan estratégico regional del sector agrario de Lambayeque 2009 – 2015*. Obtenida el 18 de Marzo de 2013 de

http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/lambayeque/lambayeque_plan_estrategico_sector_agrario_2009-2015.pdf.

12. Mariñas, P. (2011). *Pequeña agricultura y desarrollo rural* Obtenida el 18 de Marzo de 2013 de <http://blog.pucp.edu.pe/item/123610/pequena-agricultura-y-desarrollo-rural>.
13. Zegarra, E. y J. Tuesta (2009). *Shock de precios y vulnerabilidad alimentaria de los hogares peruanos*. Perú: Ediciones Remanso.
14. Ministerio de agricultura (2010). *Dinámica agropecuaria 1997 - 2009. Oficina de estudios económicos y estadístico*. Obtenida el 18 de Marzo de 2013 de http://www.infoandina.org/sites/default/files/recursos/dinamica_agropecuaria_1997-2009.pdf.
15. Libélula, comunicación, ambiente y desarrollo, (2011). *Diagnóstico de la Agricultura en el Perú, Informe Final*. Obtenida el 22 de Marzo de 2013 de http://www.peruopportunity.org/uploads/posts/34/Diagnostico_de_la_Agricultura_en_el_Peru_-_web.pdf.
16. Ferro, P. y Ruiz M. (2005). *Apuntes sobre Agro-biodiversidad: conservación, biotecnología y conocimientos tradicionales*. Perú: Ediciones Lerma Gómez.
17. Ministerio de Agricultura, (2013). *Problemas de la Agricultura Peruana*. Obtenida el 22 de Marzo de 2013 de <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/vision-general/problemas-en-la-agricultura-peruana?start=3>.
18. Ministerio de comercio exterior y turismo, (2004). *Plan estratégico regional de exportaciones Perx: Lambayeque*. Obtenida el 25 de Marzo de 2013 de http://www.mincetur.gob.pe/comercio/otros/Perx/perx_lambayeque/pdfs/PERX%20LAMBAYEQUE.pdf.
19. DirectoriosChile, (2012). *Revista digital: Fruta*. Obtenida el 25 de Marzo de 2013 de <http://www.directoriofruta.cl/html/la-industria-2/fitosanidad/>.
20. Organización Mundial del Comercio-OMC, (2013). *Módulo de capacitación sobre el acuerdo MSF: ¿En qué consiste una medida sanitaria o fitosanitaria?* Obtenida el 25 de Marzo de 2013 de http://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/sps_agreement_cbt_s/c1s3p1_s.htm.
21. Portal Frutícola. (2013), *la protección fitosanitaria en un mundo globalizado* Obtenida el 25 de Marzo de 2013 de

<http://www.portalfruticola.com/2013/04/16/la-proteccion-fitosanitaria-en-un-mundo-globalizado/?pais=peru>.

22. Arauz, F. (1998). *Fitopatología un enfoque agroecológico*. Costa Rica: Ediciones de la Universidad de Costa Rica.
23. Palomo, A. (2005). *Fitopatología general* Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenida el 25 de Marzo de 2013 de <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fonz/files/fitogeneral.htm>.
24. Arámburo, J. (2005). *Obtención de plantas libres de virus y viroides mediante las técnicas de microinjerto de ápices caulinares in vitro, termoterapia e indexing biológico*. México: Ediciones Multi-Prensa.
25. Conci, V., Cafrune, E., Lunello, P., Canavelli, A., Nome, S., Bracamonte, R., Alochis, P. y Perotto, C. (2007). *Incidencia de los Virus en la Producción de Ajo y su Control*. España: Ediciones Inta.
26. Sánchez, M. (2007). *Los elementos de apoyo técnico de la red de vigilancia fitosanitaria*. España: Ediciones Multi-Prensa
27. Aranzabal, A. (2001). *Electrónica básica*. Obtenida el 28 de Marzo de 2013 de http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/
28. Lozano, C (2011). *Tarea informática: Importancia de la Electrónica*. Obtenida el 28 de Marzo de 2013 de <http://carloslozanocamargo.blogspot.com/>.
29. Sánchez, A. (2003). *Control Avanzado de Procesos teoría y práctica*. España: Ediciones Díaz de Santos.
30. García, E. (1999). *Automatización de procesos industriales*. España: Ediciones: U.P.V
31. Arántegui, A. (2010). *Control de Procesos*. Obtenida el 28 de Marzo de 2013 de http://web.udl.es/usuaris/w3511782/Control_de_procesos/Unidades_files/Unidad%201.pdf.
32. Cosco, J. (2008). *Controles eléctricos y automatización*. Obtenida el 29 de Marzo de 2013 de <http://coscomantauni.wordpress.com/>.
33. Mora, A. (2001). *Instrumentación y control en procesos ambientales*. Obtenida el 29 de Marzo de 2013 de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6qwG21jEIXwJ:luismora.hostei.com/files/Definiciones_basicas.pdf+Instrumentaci%C3%B3n+y+control+en+procesos+ambientales+mora&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe.

34. Ponsa, P. y Granollers, T. (2010). *Diseño y automatización industrial*. Obtenida el 18 de Abril de 2013 de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
35. Mateos, F. (2006). *Autómatas programables: Introducción al estándar IEC – 61131*. Obtenida el 20 de Abril de 2013 de <http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Pres%20IEC%2061131.pdf>.
36. Contreras, A. (2010). *Diseño de un sistema de automatización para el sistema de iluminación de una planta industrial*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP. Perú.
37. Reyes, J. (2008). *Automatización del sistema de control y monitoreo de una autoclave para el proceso de vulcanización del caucho en calzado de lona*. Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Perú.
38. Carrillo, A. y Vázquez, L. (2008). *Automatización de un invernadero con el PLC S7-200*. Tesis de Licenciatura presentada para obtener el título de Ingeniero en Comunicaciones Y Electrónica. Universidad Autónoma de Zacatecas. México.
39. Martínez, A. (2012). *Fitosanidad*. Obtenida el 25 de abril de http://www.concitver.com/14_4fitosanidad.html.
40. Muños, C., Pérez, V., Cobos, P., Hernández, R., Sánchez, G. (2007). *Sanidad Forestal*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
41. Viñas, P. (1999). *Circuitos y dispositivos electrónicos: Fundamentos de Electrónica*. España: Ediciones UPC.
42. Suarez, F. (2009). *Diseño y construcción de un sistema de control de temperatura para nincubadora de huevos de aves de corral*. Proyecto para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Eléctrica. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica.
43. Delgado, J., Montoya, J. y Sandoval, A. (2007). *Control de Temperatura con el PLC S7-200*. Tesis de Licenciatura presentada para obtener el título de Ingeniero en Comunicaciones Y Electrónica. Universidad Autónoma de Zacatecas. México.
44. Ochoa, D. y León, B. *Identificación y diseño del controlador para un sistema de control de temperatura de agua en un tanque*. Tesina para obtener el título de Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial. Ecuador.

ANEXOS

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Tabla 9: PROGRAMA DE PMP

Mantenimiento preventivo	Actividades	Diario	Semanal	Mensual	6 Meses	Anual
Mantenimiento Sistema de Control	Verificación de temperatura					
	Medición de parámetros eléctricos					
	Ajuste de conexiones eléctricas					
	Limpieza de tablero eléctrico					
Mantenimiento Cámara de termoterapia	Limpieza exterior					
	Revisión y limpieza de filtros					
	Pintado					
	Ajuste de conexiones mecánicas					

DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN

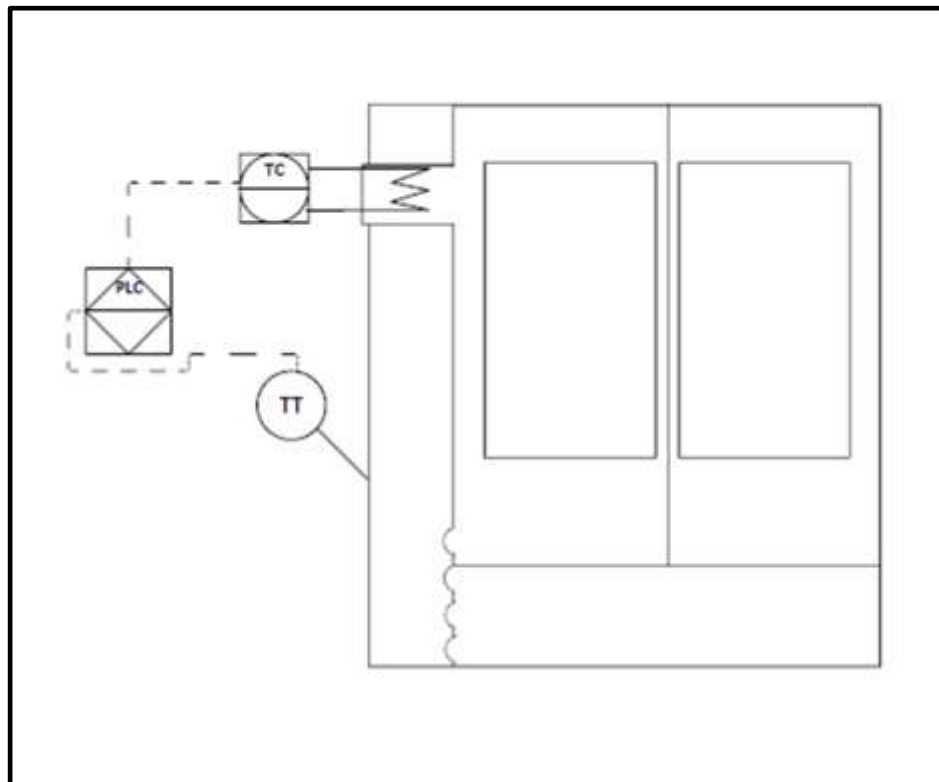


Imagen 50: Diagrama de instrumentación

PLANO DE CÁMARA DE TERMPOTERAPIA

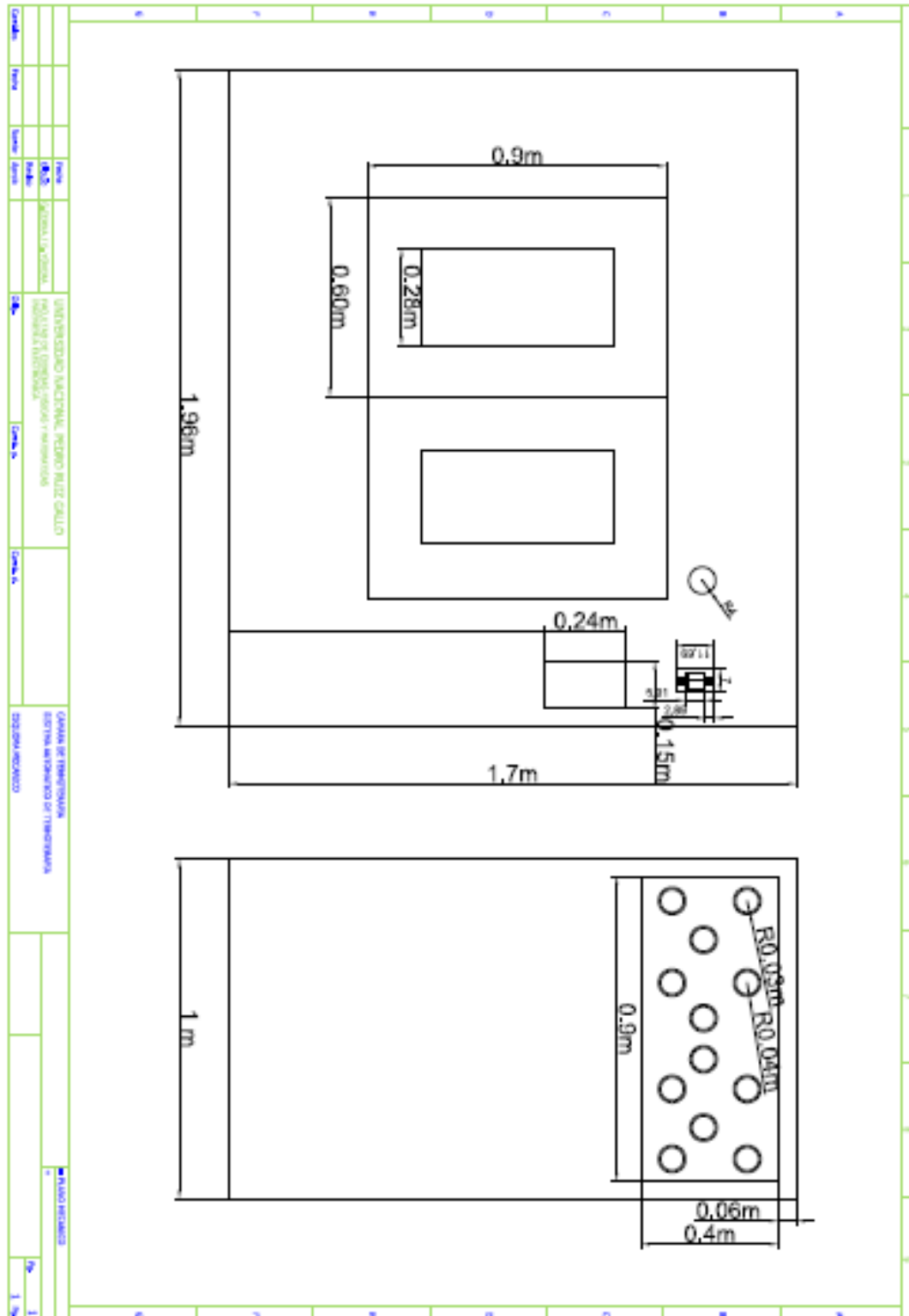


Imagen 51: Plano mecánico - Cámara de termoterapia

PLANO MECÁNICO DE TABLERO DE CONTROL

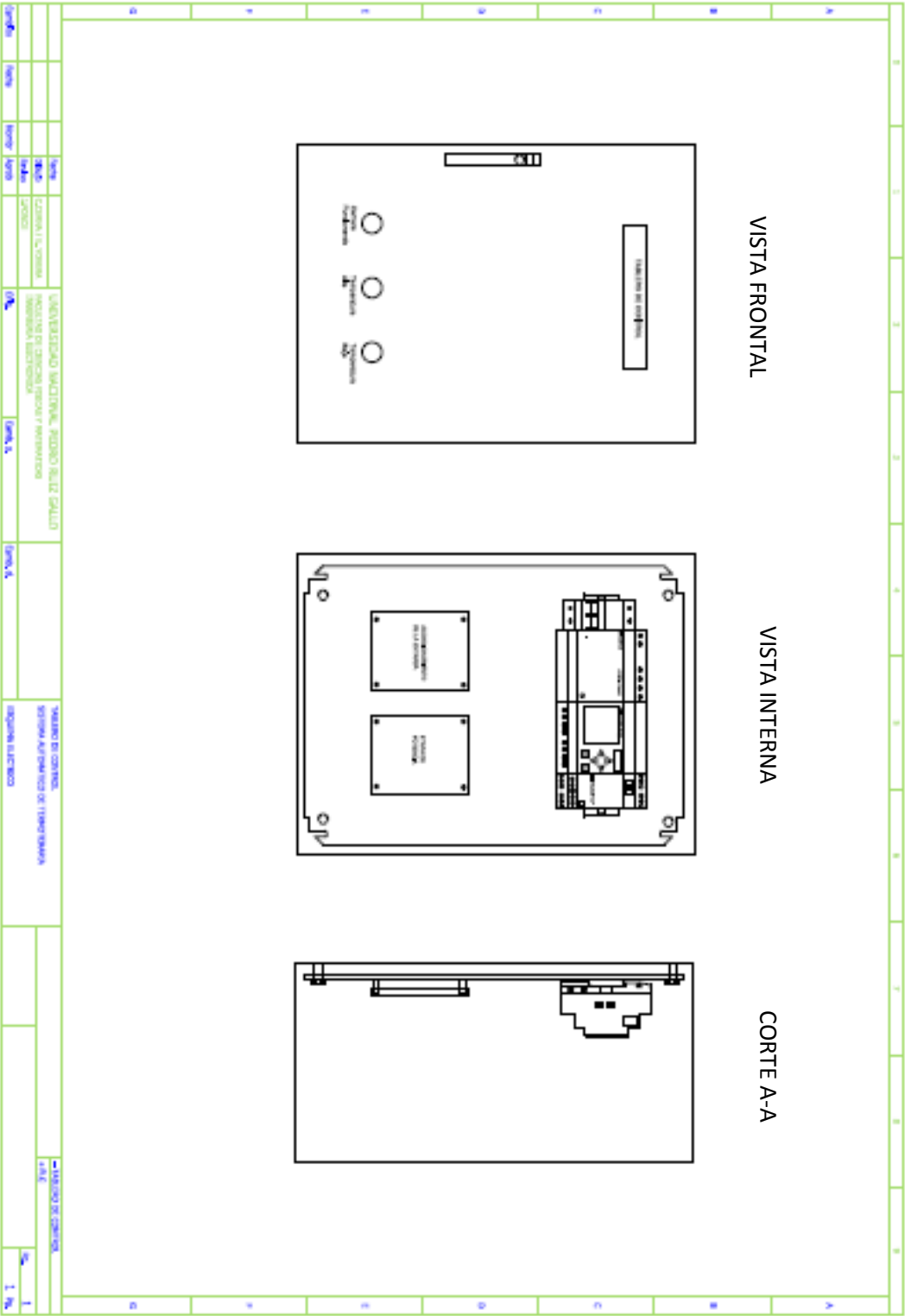
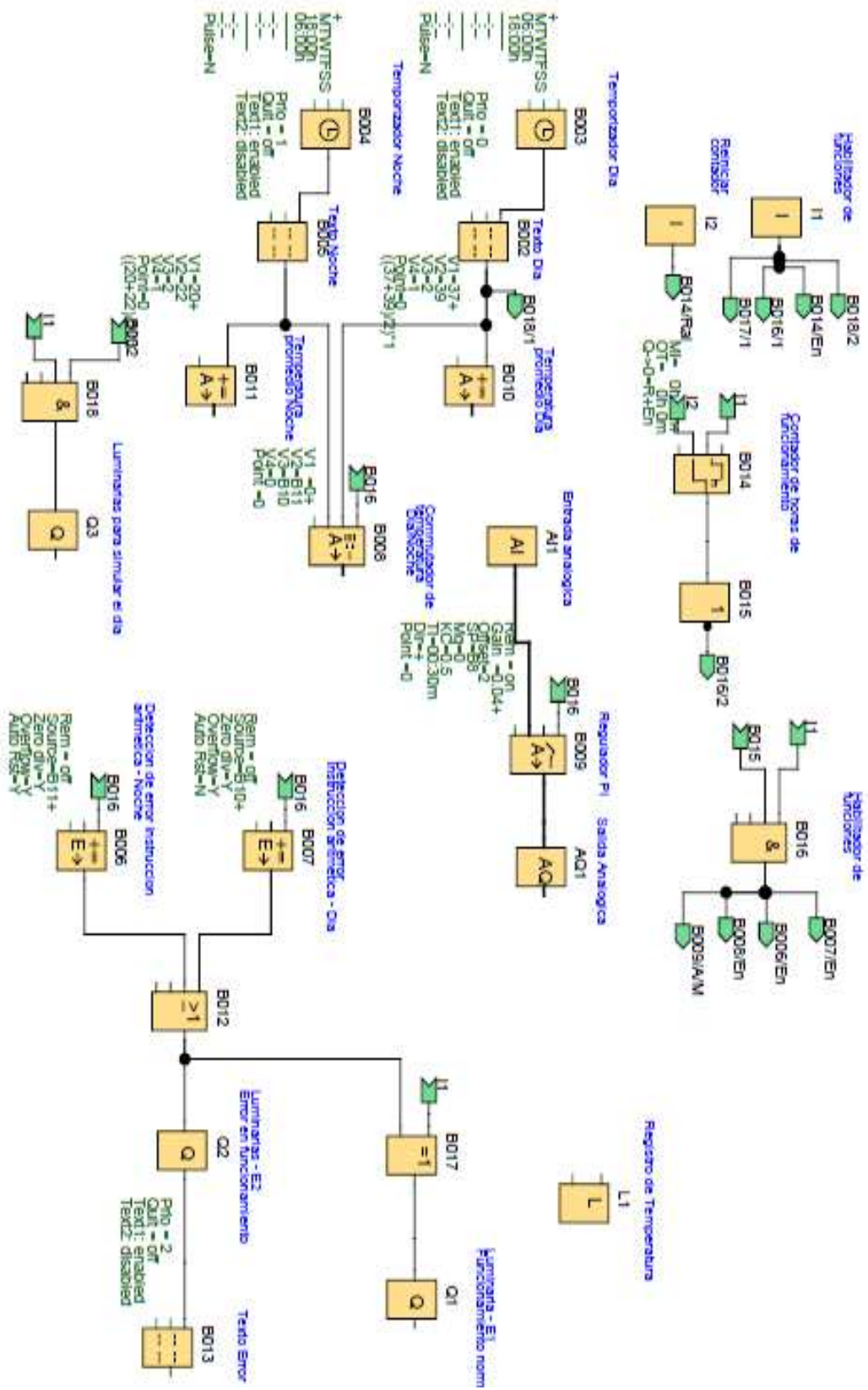


Imagen 52: Plano Mecánico - Tablero de control

Programa bloque de funciones

PROGRAMA PARA TERMOTERAPIA



HOJA DE DATOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:Operacionalización de variables.	21
Tabla 2: Valores entregados por el sensor LM35.	93
Tabla 3: Características del gráfico de la planta	106
Tabla 4: Características del gráfico de la planta controlada.	107
Tabla 5: Temperaturas promedios	113
Tabla 6: función multiplexor	115
Tabla 7: Funcionamiento contador de horas	122
Tabla 8: Asignación de funciones	131
Tabla 9: PROGRAMA DE PMP	164

Índice de imágenes

Imagen 1: Cultivo de meristemas y termoterapia.	36
Imagen 2: Diagrama de una función de transferencia.	46
Imagen 3: Función escalón	50
Imagen 4: Función rampa	51
Imagen 5: Función parabólica	52
Imagen 6: Diagrama de bloques de un control manual.	55
Imagen 7: Modelo estructural de un sistema automatizado.	59
Imagen 8: Diagrama de bloques de un control de lazo cerrado	60
Imagen 9: Funcion de transferencia en control de lazo cerrado.	61
Imagen 10: Diagrama de bloques de un control de lazo abierto.	63
Imagen 11: Micro PLC LOGO! - Display LOGO! TD.	70
Imagen 12: Sensor de temperatura LM 35TD.	72
Imagen 13: Dimensiones de la cámara de termoterapia	74
Imagen 14: Cámara de termoterapia.	75
Imagen 15: Termómetro ASHCROFT.	77
Imagen 16: Motor de polo sombreado DAYTON.	78
Imagen 17: Electric water heater time switch Intermatic, vista general.	80
Imagen 18: Resistencia eléctrica en la cámara de termoterapia vista frontal.	82
Imagen 19: Reactancia de los fluorescentes.	83
Imagen 20: Fluorescentes de la cámara de termoterapia.	84
Imagen 21: Detalle de la cámara de termoterapia.	86
Imagen 22: Diagrama del proceso térmico actual.	87
Imagen 23: Diagrama del proceso térmico propuesto.	88
Imagen 24: Circuito LM35.	92
Imagen 25: Circuito recomendado por el fabricante	92
Imagen 26: Circuito amplificador para el sensor LM35	94
Imagen 27: Proceso térmico.	95
Imagen 28: Red generalizada del proceso térmico.	96
Imagen 29: Diagrama de bloques del proceso térmico.	97

Imagen 30: Gráfica en Matlab de la planta	106
Imagen 31: Gráfica en Matlab de la Planta Controlada.	107
Imagen 32: Función temporizador	108
Imagen 33: Función B00 - Temporizador Día.	109
Imagen 34: Función B004 - Temporizador Noche.	110
Imagen 35: Función texto de aviso.	110
Imagen 36: Función B002 - Texto de aviso para el día.	111
Imagen 37: Función B005.- Texto de aviso para la noche.	112
Imagen 38: Función B013.- Texto de aviso para error de la función aritmética.	112
Imagen 39: función instrucción aritmética.	113
Imagen 40: Función B010 - Temperatura promedio durante el día.	114
Imagen 41: Función B011.- Temperatura promedio durante la noche.	114
Imagen 42: Función instrucción aritmética.	115
Imagen 43: Función B008 - Conmutador de Día/Noche.	116
Imagen 44: Función regulador PI.	116
Imagen 45: Controlador PI.	117
Imagen 46: Función regulador PI.	118
Imagen 47: función registro de datos.	119
Imagen 48: la función error de la instrucción aritmética	119
Imagen 49: Función B007 Día - Detección de error de instrucción aritmética	120
Imagen 50: Función B006 Noche.- Detección de error de instrucción aritmética.	121
Imagen 51: Función Contador de horas	121
Imagen 52: Programación para sistema automático de termoterapia	125
Imagen 53: Simulación - horario día	128
Imagen 54: Simulación Horario noche	130
Imagen 55: Simulación - Horario noche	130
Imagen 56: Circuito para control de resistencia eléctrica.	132
Imagen 57: Circuito Generador de onda diente de sierra.	133
Imagen 58: Onda diente de sierra.	134
Imagen 59: Circuito comparador	136

Imagen 60: Circuito amplificador	137
Imagen 61: Circuito de fuerza.	137
Imagen 62: Texto de aviso día - Micro PLC LOGO	140
Imagen 63: Temperatura sin llegar al valor deseado.	141
Imagen 64: Temperatura en el valor deseado.	141
Imagen 65: Simulación del programa durante el día.	142
Imagen 66: Texto de aviso noche - Micro PLC LOGO	143
Imagen 67: Temperatura sin llegar al valor deseado.	143
Imagen 68: Temperatura en el valor deseado.	144
Imagen 69: Programa Simulación noche	144
Imagen 70: Simulación temporización noche	145
Imagen 71: Simulación iluminación día	146
Imagen 72: Simulación iluminación noche	147
Imagen 73: Acondicionamiento señal de entrada - Rango máximo	148
Imagen 74: Acondicionamiento señal de entrada - Rango mínimo	148
Imagen 75: Acondicionamiento señal de entrada - Rango 0- 10V	149
Imagen 76: Simulación onda diente de sierra	150
Imagen 77: Señal de activación del triac - simulación A	151
Imagen 78: Señal de conducción del triac - simulación A	151
Imagen 79: Señal de activación del triac - simulación B	152
Imagen 80: Señal de conducción del triac - simulación B	152
Imagen 81: Señal de activación del triac - simulación C	153
Imagen 82: Señal de conducción del triac - simulación C	153
Imagen 83: Diagrama de instrumentación	165
Imagen 84: Plano mecánico - Cámara de termoterapia	166
Imagen 84: Plano Mecánico - Tablero de control	167