



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

MODELAMIENTO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO HÍBRIDO
PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE.

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORA: MORAYMA NATALY CUJI SECAIRA

TUTOR: DR. JOSÉ RIGOBERTO MUÑOZ CARGUA

Riobamba - Ecuador

2018

©2018, Morayma Nataly Cuji Secaira

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo a la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de proyecto técnico: MODELAMIENTO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO HIBRIDO PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE. De responsabilidad de la Ing. Morayma Nataly Cuji Secaira, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Santillán C. VICEDECANO FIE.	-----	-----
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	-----	-----
Dr. Rigoberto Muñoz C. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
Ing. Freddy Chávez V. MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----

Yo, Morayma Nataly Cuji Secaira soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Morayma Nataly Cuji Secaira

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios y a mi familia quienes han sabido apoyarme y confiar en mí para realizar con éxitos cada etapa de mi vida, permitiéndome progresar de manera personal y académicamente.

Morayma

AGRADECIMIENTO

Tengo que agradecer a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo por abrirme las puertas de saber. A mi tutor Dr. José Rigoberto Muñoz Cargua por ser la guía y brindarme su asesoría que ayudo a la elaboración de este trabajo de titulación.

A mi familia quienes me han apoyado ya sea moral o económicamente para seguir por el sendero de la vida y salir de cada dificultad que he encontrado.

A mis maestros por su paciencia y compartir sus conocimientos los cuales han servido para llegar a la conclusión de este documento.

A todos aquellos que confiaron y creyeron en mi les agradezco desde el fondo de mi corazón.

Morayma

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1. Leche	6
1.1.1. <i>Composición nutricional de la leche</i>	6
1.1.2. <i>Propiedades nutricionales</i>	6
1.1.3. <i>Tipos y Utilización</i>	7
1.1.4. <i>Utilidades</i>	8
1.2. Pasteurización	8
1.2.1. <i>Definición</i>	8
1.2.2. <i>Tipos de pasteurización</i>	9
1.2.3. <i>Equipo de pasteurización</i>	9
1.3. Transferencia de calor	10
1.3.1. <i>Transferencia de calor por convección</i>	10
1.3.2. <i>Transferencia por conducción</i>	12
1.3.3. <i>Transferencia por radiación</i>	12
1.4. Energía termosolar de baja temperatura	13
1.4.1. <i>Energía Solar</i>	13
1.4.2. <i>Radiación solar</i>	13
1.4.2.1. <i>Radiación directa</i>	14
1.4.2.2. <i>Radiación difusa</i>	14
1.4.2.3. <i>Radiación reflejada</i>	14
1.4.2.4. <i>Radiación global</i>	14
1.4.3. <i>Declinación solar</i>	14
1.4.4. <i>Coordenadas solares</i>	15

1.4.4.1.	<i>Elevación solar (γ_s)</i>	15
1.4.4.2.	<i>Acimut solar (ψ_s)</i>	16
1.4.4.3.	<i>Angulo o distancia cenital (θ_{zs})</i>	16
1.4.5.	<i>Radiación en cuerpos negros</i>	17
1.4.6.	<i>Emisividad</i>	17
1.4.7.	<i>Absortividad</i>	17
1.4.8.	<i>Reflectividad</i>	17
1.4.9.	<i>Radiación en la provincia de Chimborazo</i>	18
1.4.10.	<i>Clasificación de los sistemas termosolares de baja temperatura</i>	18
1.4.11.	<i>Captación de la energía solar</i>	19
1.4.11.1.	<i>Colectores planos</i>	19
1.4.11.2.	<i>Colectores de tubos al vacío</i>	20
1.4.11.3.	<i>Colectores de concentración</i>	21
1.4.12.	<i>Instalación solar de baja temperatura</i>	21
1.4.13.	<i>Aplicaciones y ventajas de la energía solar térmica</i>	22
1.5.	Calentadores de agua a gas	23
1.5.1.	<i>Calefones</i>	23
1.5.2.	<i>Como seleccionar el calefón adecuado</i>	24
1.6.	Control automático	24
1.6.1.	<i>Sistema de control retroalimentado</i>	26
1.6.2.	<i>Sistema de control en lazo abierto</i>	26
1.6.3.	<i>Sistema de control en lazo cerrado</i>	26
1.7.	Modelamiento de sistemas automáticos	26
1.7.1.	<i>Modelamiento</i>	26
1.7.2.	<i>Modelos matemáticos</i>	26
1.7.3.	<i>Proceso de modelado</i>	27
1.8.	Sistemas Híbridos	27
1.9.	Software usado en la automatización y modelado	28
1.9.1.	<i>Matlab</i>	28
1.9.2.	<i>Labview</i>	29
1.10.	El sistema SCADA en la automatización industrial	29
1.10.1.	<i>Características de un sistema SCADA</i>	30

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	31
2.1.	Modelamiento del colector solar	32

2.1.1.	<i>Dimensionamiento del colector</i>	37
2.2.	Modelamiento del sistema auxiliar	41
2.3.	Modelamiento del sistema térmico en la olla pasteurizadora	43
2.3.1.	<i>Control de temperatura</i>	43
2.3.1.1.	<i>Suposiciones del sistema</i>	44
2.3.1.2.	<i>Compensación del sistema</i>	46
2.3.1.3.	<i>Sensor</i>	47
2.4.1.	Acondicionamiento de la señal	47
2.4.1.1.	<i>Controlador PID</i>	49
2.5.	Válvula	50
2.5.1.	<i>Proceso</i>	52
2.6.	Simulación de modo Scada del sistema de pasteurización de leche	54

CAPITULO III

3.	Marco de resultados, análisis y discusión	58
3.1.	Análisis del sistema híbrido	58
3.1.1.	<i>Sistema principal</i>	58
3.2.1.1.	<i>Control de temperatura</i>	64
3.2.2.	<i>Sistema auxiliar</i>	66
3.3.	Simulación del sistema híbrido	66
3.4.	Análisis de los requerimientos de los componentes principales para realizar el sistema de control	68
3.5.	Análisis de los costos estimados de inversión	68
3.5.1.	<i>Costo estimado de los materiales</i>	69
3.5.2.	<i>Costo de mano de obra</i>	70
3.6.	Comparación del material de la olla pasteurizadora	70
3.7.	Impacto ambiental	71
3.8.	Resultados	71
	Conclusiones	71
	Recomendaciones	72

Bibliografía

Anexos

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
δ_n	Día del año
mf	Flujo de masa
C_p	Calor específico de agua
$q_{\text{absorbido}}$	Energía absorbida
q_{perdido}	Energía perdida
U_{perdido}	Coefficiente de pérdida de calor
T_{amb}	Temperatura Ambiente
Q	Caudal
v	Velocidad del fluido
h_f	Perdidas por fricción
HMI	Human-Machine Interface
Re	Número de Reynolds
μ	Viscosidad
d	Diámetro
r	Radio
m	Masa
β	Angulo de inclinación
I	Irradiación
A	Área
g	Gravedad
Cd	Capacidad diaria
T_a	Temperatura de acumulación en el tanque (60 ⁰ C)
T_e	Temperatura entrada o ambiente (10 ⁰ C)
I_h	Irradiación media en Riobamba
G	Producción de energía térmica turbulenta.
μ_t	Viscosidad turbulenta.
k_t	Conductividad térmica turbulenta
P	Potencia del calefón
t	Tiempo para que se caliente el agua
ΔT	Variación de temperatura la del suministro y confort.
V	Volumen relativo del fluido
Si	Silicio

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Composición de la leche (100g)	6
Tabla 2-1:	Concentraciones minerales y vitaminas en la leche (mg/100ml)	7
Tabla 3-1:	Valores típicos de Coeficiente de convección	11
Tabla 1-2:	Datos de Radiación	31
Tabla 2-2:	Coeficiente de pérdidas y eficiencia óptica a diferentes inclinaciones	33
Tabla 3-2:	Dimensiones del colector según el número de tubos	38
Tabla 1-3:	Ventajas y desventajas de los colectores	59
Tabla 2-3:	Requerimientos sistema de control	68
Tabla 3-3:	Costos	69
Tabla 4-3:	Mano de Obra	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Olla Pasteurizadora	10
Figura 2-1:	Convección	11
Figura 3-1:	Conducción	12
Figura 4-1:	Radiación	12
Figura 5-1:	Energía solar térmica	13
Figura 6-1:	Declinación solar	15
Figura 7-1:	Elevación solar	16
Figura 8-1:	Acimut solar	16
Figura 9-1:	Angulo Cenit	17
Figura 10-1:	Colector plano	19
Figura 11-1:	Colector plano con cubierta	20
Figura 12-1:	Colector plano sin cubierta	20
Figura 13-1:	Colector tuvo al vacío	20
Figura 14-1:	Colectores de concentración	21
Figura 15-1:	Instalación de un sistema de baja temperatura	21
Figura 16-1:	Elementos del calefón	24
Figura 17-1:	Workspace Matlab	28
Figura 18-1:	Logo Labview	29
Figura 1-2:	Funcionamiento colector tuvo al vacío	32
Figura 2-2:	Angulo de inclinación	37
Figura 3-2:	Dimensiones Colector	38
Figura 4-2:	Control de temperatura	43
Figura 5-2:	Control de temperatura	44
Figura 6-2:	Comportamiento del sistema sección 1	44
Figura 7-2:	Compensación en Matlab	46
Figura 8-2:	Termocupla tipo J	47
Figura 9-2:	Función de transferencia	48
Figura 10-2:	Acondicionamiento de señal	48
Figura 11-2:	Acondicionamiento Proteus	49
Figura 12-2:	Acondicionamiento señal	49
Figura 13-2:	PID	50
Figura 14-2:	Estructura de la válvula	51
Figura 15-2:	Válvula Simulink	52

Figura 1-3:	Porcentaje sistema Híbrido	58
Figura 2-3:	Tuvo al Vacío	60
Figura 3-3:	Rendimiento del colector solar	61
Figura 4-3:	Curva del factor de ángulo	62
Figura 5-3:	Colectores en paralelo	62
Figura 6-3:	Radiación en central ESPOCH	63
Figura 7-3:	Compensación de temperatura	64
Figura 8-3:	Grafica final sin compensación	65
Figura 9-3:	Compensación del sistema en lazo cerrado	65
Figura 10-3:	Proceso usando Calefón	67
Figura 11-3:	Porcentaje de funcionamiento con calefón	67
Figura 12-3:	Emisión CO ₂	71

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Ley de enfriamiento convección	11
Ecuación 2-1:	Ley de Fourier Calor	12
Ecuación 3-1:	Cálculo de la declinación por día	15
Ecuación 1-2:	Flujo de masa	32
Ecuación 2-2:	Energía colectada	32
Ecuación 3-2:	Calor Absorbido	33
Ecuación 4-2:	Calor Perdido	33
Ecuación 5-2:	Conservación de la Energía	34
Ecuación 6-2:	Relación Caudal Y Fricción	34
Ecuación 7-2:	Flujo Laminar	35
Ecuación 8-2:	Viscosidad en función Reynolds	35
Ecuación 9-2:	Calor perdido	37
Ecuación 10-2:	Modelo del colector solar	37
Ecuación 11-2:	Área del colector	38
Ecuación 12-2:	Continuidad	41
Ecuación 13-2:	Momento lineal	41
Ecuación 14-2:	Energía cinética tub respecto k	41
Ecuación 15-2:	Energía cinética tub respecto E	41
Ecuación 16-2:	Energía flujo turbulento	42
Ecuación 17-2:	Resistencia térmica	45
Ecuación 18-2:	Función transferencia térmica	45
Ecuación 19-2:	Compensador en adelanto	47
Ecuación 20-2:	PID	50
Ecuación 21-2:	Válvula	51

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Mapa de radiación solar Chimborazo
- Anexo B:** Datasheet AD594/AD595
- Anexo C:** Termocuplas comunes
- Anexo D:** Sensor de Nivel
- Anexo E:** Colector de 20 tubos
- Anexo F:** Grafset
- Anexo G:** Llenado del tanque leche
- Anexo H:** Calentamiento de la leche
- Anexo I:** Vaciado y enfriamiento de la leche
- Anexo J:** Vaciado de agua fría y de la leche
- Anexo K:** Simulación en Labview Final
- Anexo L:** Simulación en Labview con acumulador

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el modelamiento y automatización de un sistema híbrido para el proceso de pasteurización de leche. Se analizó el modelamiento de un sistema solar de baja temperatura para la generación de agua caliente sanitaria (A.C.S), para ello se utilizaron los datos de la radiación solar de la ciudad de Riobamba y del centro meteorológico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El eje principal del sistema automático fue conformado por colectores solares de tubos al vacío que trabajan como generador de A.C.S, su modelo se dedujo en base a la forma en la que transforma la energía solar en energía térmica; mediante la utilización del software Matlab y teniendo en consideración las características de fluido que circula en el interior del tubo, se asumió que todas las variables en el sistema son constantes a excepción de la velocidad del fluido, al tener un fluido laminar desarrollado permitió hacer el uso del número de Reynolds, la ecuación de momento y el equilibrio de energía térmica para llegar al modelo matemático. La automatización en base al control de temperatura en la leche fue llevada a cabo con el software Labview lo que mostró de modo gráfico el funcionamiento del sistema automático en la realidad. Se usó un calefón como sistema de apoyo para que el proceso de pasteurización híbrido funcione 100% en caso de que las condiciones ambientales no sean favorables y no sea posible cubrir las necesidades energéticas. La investigación permite concluir que es posible generar mayor producción a menor costo de fabricación preservando el medio ambiente. Se recomienda buscar un almacenador de energía para evitar el desperdicio de la misma en días soleados.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <MEDIO AMBIENTE>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <PASTEURIZACIÓN>, <COLECTOR SOLAR>, <MODELO MATEMÁTICO>, <SIMULACIÓN>.

SUMMARY

The present work of degree consists in the modeling and automation of a hybrid system for the milk pasteurization process. It was analyzed the modeling of a low temperature solar system for the generation of sanitary hot water (S.H.W), in order to do that, they were used the solar radiation data of the city of Riobamba and the meteorological center of the Polytechnic School of Chimborazo. The main axis of the automatic system was made up of solar collectors of vacuum tubes that work as a generator of S.H.W., its model was deduced based on the way in which it transforms solar energy into thermal energy; By using the Matlab software and taking into account the characteristics of the fluid circulating inside the tube, it was assumed that all the variables in the system are constant except for the fluid velocity, since having a developed laminar fluid allowed to make the use of the Reynolds number, the momentum equation and the thermal energy equilibrium to arrive at the mathematical model. The automation based on the temperature control in the milk was carried out with the Labview software which showed in a graphic mode the functioning of the automatic system in reality. A heating system was used as a support system so that the hybrid pasteurization process works 100% in case of that the environmental conditions are not favorable and it is not possible to cover the energy needs. The research allows us to conclude that it is possible to generate more production at a lower manufacturing cost while preserving the environment. It is recommended to look for a storage of energy to avoid the waste of it on sunny days.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <AUTOMATED CONTROL TECHNOLOGY>, <ENVIRONMENT>, <AUTOMATION OF INDUSTRIAL PROCESSES>, <PASTEURIZATION>, <SOLAR COLLECTOR>, <MATHEMATICAL MODEL>, <SIMULATION>.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el estudio de las energías renovables ha tenido un incremento apreciable en las industrias, las cuales buscan generar energía a bajo costos y a su vez tener productos de alta calidad. Según la organización mundial de la salud combustibles fósiles produce grandes impactos ambientales influyendo en el deterioro de la capa de ozono, la presencia de lluvias acidas que producen el deterioro del ambiente y la vida; si bien es cierto los rayos solares producen daños a la piel, pero aquí se presenta una cuestión ¿por qué no usarlos para generar energía? Y es como nacen los colectores solares, paneles solares generando energía térmica y energía eléctrica respectivamente. Los sistemas híbridos han ido teniendo grandes alcances pues se forman de sistemas principales en conjunto de sistemas de apoyo para cumplir con eficiencia todos los procesos industriales.

La radiación solar es transformada en calor, pero no toda la energía que cae sobre la superficie puede ser aprovechada pues se puede ver distorsionada por diversos agentes como el viento, las nubes, la distorsión atmosférica por las partículas de polvo, etc. En este trabajo de titulación se evaluó el uso del colector solar para la generación de agua caliente sanitaria (A.C.S) la misma que puede ser usada para el proceso de pasteurización de leche.

Para el modelo matemático se analizó el colector de tubos al vacío porque nos ofrece más beneficios para el proceso que deseamos realizar, a diferencia de un colector plano uno de tubos al vacío nos ofrece mayor captación de radiación solar, un colector de tubos a vacío es diseñado para que trabaje en función a las condiciones en las que se lo va a colocar. El modelo matemático del colector en su diseño se evaluó varios requerimientos como que el flujo que circula por los tubos a vacío es laminar desarrollado con velocidad variante, así como la variable más importante que es la radiación solar. Pero un sistema puede tener varios modelos matemáticos dependiendo de la perspectiva que se lo analice. En este punto es muy importante destaca que la transferencia de calor realizada por un colector es por convección y que dentro del tubo en el que circula el agua caliente y fría siempre se va obtener un balance térmico tomado muy en cuenta en el modelo matemático.

El proceso de pasteurización de leche consiste en elevar la temperatura de la leche hasta los 65° , en un lapso de tiempo, transcurriendo este tiempo que más o menos es de 2 horas se procede bajar la temperatura hasta los 45° , para este proceso se diseñó un sistema de control el cual está conformado por un sensor de temperatura para controlar la temperatura de la leche. La pasteurización se lo realiza en una olla doble fondo el mismo que tiene una capacidad de 70 litros en donde se almacena el agua proveniente del colector a una temperatura estimada de 75° .

El proceso de automatización tiene dos elementos un sistema principal formado por el colector que abastecerá en un 85% per cuando las condiciones climáticas son desfavorables necesitamos un sistema auxiliar formado por un calefón abasteciéndonos con un 15% en el proceso, formando un sistema híbrido.

El sistema de control fue realizado en base a un panel de control donde se ve claramente las etapas que se van realizando y la temperatura en la que se encuentra la leche así como la cantidad de caudal existente en el colector.

Los diseños realizados tanto del sistema solar de baja temperatura como del sistema de apoyo fueron modelados mediante simulación en Matlab Y Labview, obteniendo graficas similares a las de las especificaciones de fabricación de cada elemento.

Planteamiento del problema

Antecedentes

Varias investigaciones acerca del aprovechamiento y optimización de los recursos renovables en especial de la energía solar en los últimos años buscaron la forma de mejorar sus diversos usos mediante los sistemas híbridos los cuales permiten obtener mayor eficiencia al absorber los rayos solares que caen en la superficie terrestre.

Según los estudios realizados por INNOVAPORTAL que es una revista en el cual se detalla todas las actualizaciones y nuevas aplicaciones en lo que concierne al campo lácteo, la leche es un producto alimenticio de primera necesidad que aporta varios nutrientes a quienes la consuman.

Barcia Luis Emilio (2015), realizo un estudio comparativo sobre cómo se realiza el proceso de pasteurización en tres formas distintas, baño María, pasteurización en lotes y pasteurización en placa verificando cada uno de los procesos en base a la eliminación de la microbiana establecidos en las normas. Dando como resultado que la mejor opción es por medio de batch posiblemente por ser el mayor en tomar tiempo en su proceso además indico que dependen los litros a pasteurizar cuando se trata de menos a 490 L es recomendable realizarlo a baño María y posteriormente a placas.

Pilicita Escobar Daniel (2013), diseño y construyo un equipo para la pasteurización de leche teniendo como objetivo disminuir el esfuerzo físico requerido para realizar este proceso para ello

automatizo el proceso que antes se lo realizaba de forma manual primero realizo cambios en la infraestructura de la microempresa, posteriormente se instalaron los actuadores y equipos necesario para la automatización, utilizando un PLC marca SIEMENS el cual se comunica con una pantalla donde se muestra la temperatura se la leche.

En base al artículo publicado en Enero del 2016 por el Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente - ESPOCH en la Revista Técnica Energía perteneciente a EBSCOhost; donde nos indica que el proceso de pasteurización en las comunidades andinas se pude hacer mediante el uso de colectores solares, pues en la actualidad se lo hace a partir de gas natural o licuado. El uso de energía solar térmica de baja temperatura permitiría a las empresas artesanales lácteas que logren un ahorro económico significativo y principalmente reducir el impacto ambiental que se produce por el uso de combustibles fósiles como gas natural (GLP).

Du construyeron y diseñaron una plataforma experimental para determinar la eficiencia y las correlaciones absorvedoras y receptoras de calor y como es que incide el ángulo de inclinación en el funcionamiento del colector todo esto se lo realizo en la China. La cual consistía en un colector inclinado, un almacenador de agua, un control de temperatura y de flujo, con unos instrumentos de medición. Con todos estos elementos se efectuó la creación de un colector casero y con la ayuda de una bomba el agua del acumular es entregada al colector, luego en las salidas pasa por un intercambiador de enfriamiento y el agua se entrega a un nuevo tanque. Con el fin de reducir pérdidas se aislaron las tuberías y mediante cálculos específicos en función a la variación del sol, probaron que la instalación experimental es confiable y estable.

Con la automatización de los procesos de fabricación y conjuntamente con un sistema hibrido las empresas reducirán costos de fabricación a largo plazo, así como disminuirá el impacto ambiental. Los sistemas híbridos en la actualidad nos ofertan amplia gama de aplicaciones, con la combinación de energías renovables y las energías naturales podremos obtener mejores resultados en el proceso y al modelarlo ayudaremos a investigaciones posteriores. Todos estos antecedentes y aportaciones científicas sirvieron en el desarrollo del sistema automático hibrido para la pasteurización de leche.

Formulación del problema

La leche antes de ser consumida debe ser sometida a tratamientos térmicos conocidos como pasteurización, en la actualidad este proceso se lo realiza de forma artesanal y como fuente de energía se utiliza el gas licuado (GLP), pero al realizarlo de esta manera se vieron varios inconvenientes uno de ellos es el rango de erros al alcanzar la temperatura necesaria para la

eliminación de las bacterias. Otro inconveniente se presenta cuando suministro de energía se agota durante el proceso provocando que existan cambios abruptos alterando su estructura y sabor. Todos estos factores ocasionan pérdidas de producción y alteraciones en la calidad de la misma. Para las grandes y pequeñas industrias la crisis económica las lleva a buscar formas de aumentar su producción a menor precio de elaboración.

Sistematización del problema

1. ¿Cómo automatizar el sistema híbrido?
2. ¿Cómo influye la utilización de sistemas híbridos en los procesos de producción?
3. ¿Cuáles son los resultados al modelar el sistema híbrido?
4. ¿Cuáles son los aspectos de los modelos de cada actuador del sistema?

Justificación

Justificación teórica

Considerando que la producción de leche pasteurizada es un proceso que se lo hace a diario en el cual interviene varios litros que son procesados para obtener un producto terminado de la más alta calidad y partiendo de los estudios realizados se ve conveniente realizar un modelamiento de un sistema híbrido para poder automatizar lo que es el proceso de adquisición de energía para elevar la temperatura de la leche. Cabe señalar que al automatizar el proceso híbrido ahorrará tanto económicamente como en tiempo, pues al realizarlo de forma manual tomara un tiempo para pasarlo de un sistema a otro, mientras que si se lo automatiza será el sistema más eficaz y de mejor rendimiento.

Mediante la aplicación de los conocimientos obtenidos en la automatización de procesos y la modelación de los mismo podemos verificar su desempeño y como seria si se decide implementarlo posteriormente. Para lo que concluyo que es necesario continuar con los estudios realizados por el centro de investigación de energías alternativas para ayudar al proceso de producción con un mejor rendimiento y ahorro.

Justificación aplicativa

Luego de analizar lo que es el modelamiento de sistemas termosolares de baja temperatura para la pasteurización y verificar que el ahorro es significativo he visto necesario realizar el modelamiento de un sistema automático el cual está compuesto de dos subsistemas, el uno consiste en obtener la energía mediante sistemas termosolar o termosifón el cual se prevé que funcionara en un 85%, y para satisfacer el 15% se lo hará mediante la utilización de gas natural o licuado.

Básicamente consiste en que como sistema principal funcionara el sistema termosolar y en caso de que se requiera se hará la utilización del sistema a gas, entonces lo que se requiere es modelar cada sistema y luego automatizarlo para que pase de un sistema a otro de forma automática.

A nivel práctico, este trabajo de titulación viene a representar una oportunidad importante para aumentar la productividad a menor precio. Pues se sabe que los sistemas automáticos se han convertido en una parte fundamental que intervienen cada vez más en la vida diaria solucionando con precisión y bajos costos los problemas que actualmente se presentan en la aplicación de los procesos de control logrando así su permanencia en el tiempo.

Objetivos

Objetivo general

- Modelar un sistema automático híbrido para el proceso de pasteurización de leche.

Objetivos específicos

- Determinar un modelo matemático que indique el comportamiento térmico de los colectores solares para generar agua caliente.
- Establecer el número de colectores solares necesarios para cumplir con el proceso de pasteurización de leche.
- Realizar un sistema de control de temperatura en la olla pasteurizadora de leche.
- Simular la automatización del sistema híbrido.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Leche

La leche es la secreción obtenida de las glándulas mamarias de los mamíferos hembras, la principal función de ésta es la nutrición de sus crías en sus primeros meses de vida otorgándoles nutrientes y vitaminas que ayudan al crecimiento de las mismas. Cuando hablamos de leche lo primero que se viene a la cabeza es la vaca y claro está, ya que los seres humanos es la que comúnmente utilizamos en nuestro consumo diario, pues se sabe que la leche de vaca proporciona calcio, nutrientes según el tratamiento que se le dé y se obtiene diversos derivados como queso, yogurt, nata etc. Siendo uno de los alimentos de primera necesidad que en la mayoría de las cocinas ecuatorianas podemos encontrar.

1.1.1. *Composición nutricional de la leche*

Luego que la vaca tiene su parto la primera secreción mamaria se llama calostro, pero la que los humanos consumimos es la que se obtiene después de 2 a 3 días después del parto; la composición de la leche depende de la alimentación de la vaca, la raza, la época del año y otros factores, pero comúnmente en 100 gramos podemos encontrar los siguientes componentes:

Tabla 1-1: Composición de la leche (100g)

Nutriente	Vaca
Agua, g	88.0
Energía, kcal	61.0
Proteína, gr	3.2
Grasa, gr	3.4
Lactosa, gr	4.7
Minerales, gr	0.72

Fuente: (Ganadería Pro_lechera. (2015). <http://www.agrobit.com>)

Realizado por: **Morayma Cuji 2017**

1.1.2. *Propiedades nutricionales*

La leche aporta varios nutrientes por lo que los seres humanos la toman a diario, nos permite prevenir la osteoporosis, en las mujeres el cáncer de mama, ayuda a dormir mejor y el cuidado de la piel; así como la hidratación y obtención de energía gracias a sus vitaminas como:

Tabla 2-1: Concentraciones minerales y vitaminas en la leche (mg/100ml).

Minerales	mg/100 ml	Vitaminas	ug/100 ml ¹
Potasio	138	Vit. A	30.0
Calcio	125	Vit. D	0.06
Cloro	103	Vit. E	88.0
Fosforo	96	Vit. K	17.0
Sodio	8	Vit. B1	37.0
Azufre	3	Vit. B2	180.0
Magnesio	12	Vit. B6	46.0
Minerales trazas ²	<0.1	Vit. B12	0.42
		Vit. C	1.7

Fuente: (Ganadería Pro_lechera. (2015). <http://www.agrobit.com>)

Realizado por: Morayma Cuji 2017

1.1.3. Tipos y Utilización

A partir de la leche cruda y luego de procesos se puede obtener tipos de leche como:

Entera es aquella que mantiene su composición original a pesar de pasar por cierto tratamiento de esterilización, además posee alto contenido graso es muy poco consumido pues ayuda al sobrepeso y obesidad.

Semidescremada es aquella a la cual se le quita la mitad de la grasa, se recomienda dar a los niños que tienen tendencia al sobrepeso.

Descremada es aquella que pasa por un proceso de desnatado en el cual pierden nutrientes por lo cual añaden minerales y vitaminas, es la más utilizada pues controla el colesterol y disminuye el sobrepeso, la obesidad gracias a su bajo nivel de grasa.

Sin Lactosa es aquella a la cual se elimina gran parte de lactosa o azúcar de la leche es usada en persona intolerantes a la lactosa la cual les causa enfermedades como cólicos, diarreas etc.

1.1.4. Utilidades

Para la leche tenemos varias utilidades en las cuales se destaca las siguientes:

- Para la elaboración de subproductos como queso, mantequilla, yogurt etc.
- En la cocina para preparar varias recetas.
- En la cosmetología para realizar cremas, mascarillas faciales, desmaquillador y ayuda a eliminar las manchas.
- En la cerámica para arreglar pequeñas fisuras.

1.2. Pasteurización

La leche cruda en si debe ser sometida a tratamientos térmicos para que pueda ser consumida, es a lo que se llama pasteurización, pero este proceso debe resolver ciertos inconvenientes que conlleva al momento de realizarlo como:

- Conseguir que la leche quede libre de contaminaciones, pueda que al momento de trasladarla de los recintos hacia los centros de acopio lleguen a contaminarse y se debe llegar a cumplir con las reglas de sanidad para poder ser distribuida.
- Tratar de eliminar todos los agentes patógenos en su totalidad, sin cambiar la estructura al someterla al calor.
- Evitar en lo posible que luego de la pasteurización se contamine, más aun al momento de distribuirla.

1.2.1. Definición

Es un proceso en los cuales se somete al calor a ciertos alimentos con el propósito de eliminar en su mayoría agentes patológicos y desactivar las enzimas que pueden alterar el sabor de los alimentos. Por lo general se lo hace a bajas temperaturas ya que si se sobre pasa el punto de ebullición podría perder el estado natural del alimento.

En cuanto a la leche se trata lo que se hace es subir la temperatura a 65 grados centígrados durante 30 minutos para luego disminuir lentamente hasta que alcance los 4 grados, se debe esperar varias horas para poder usarla en otros procesos.

1.2.2. Tipos de pasteurización

Según la temperatura y el tiempo que se demora en pasteurizar se determinan 3 tipos de pasteurización:

Lenta o discontinua. - es la más usada en la provincia de Chimborazo pues se trata de elevar la temperatura de la leche hasta 65 grados centígrados en base a vapor de agua lo que comúnmente se llama baño María, esto se lo hace en un tiempo de 30 minutos más o menos.

Continua. - es la menos usada en cuanto a pequeñas industrias hablamos, lo que se hace es circular los líquidos o leche por un intercambiador de placas de calor la primera fase es donde ingresa el líquido a 4 grados centígrados en la cual se calienta por generación luego pasa por un filtro alcanzando los 58 grados para finalmente pasar por el intercambiador y así lograr los 73 grados. Todo este proceso se lo realiza en 15 minutos pues si se sobrepasa podría quemarse y alterar el olor y sabor del alimento.

Alta.- es muy poco utilizada pues se lo hace en casos extremos, si se sospecha que la procedencia de la leche no cumple con los registros sanitarios o está sucia, para lo cual la temperatura a la que se quiere llegar es de 83 grados pero en cuestión de segundo en 15 para ser más precisos y luego se la enfría normalmente.

1.2.3. Equipo de pasteurización

Para este proceso se hace el uso de una olla pasteurizadora de acero inoxidable a gas, por lo general está compuesta por una pared doble por donde circula el agua caliente o fría. Además contiene salidas tanto para leche como para el agua que le ayuda a su correcta pasteurización.



Figura 1-1: Olla Pasteurizadora

Fuente: (Fundación Intercooperation América Latina. (2015)

1.3. Transferencia de calor

Según (Nahle, Nasif,2016,p.5), es la transferencia de energía en forma de calor entre distintos cuerpos o sus partes que se encuentran a distinta temperatura, para comprender de mejor manera es necesario conocer los conceptos de temperatura y calor pues algunos piensan que es lo mismo pero no es así.

Calor. - es la energía en tránsito y está siempre circula del cuerpo de mayor temperatura al de menor haciendo que el cuerpo caliente pierde temperatura siempre y cuando no varié su volumen. Si lo hiciera de un cuerpo frio hacia un caliente tendría que realizar un trabajo.

Temperatura. - es aquella que nos da la sensación de frio o caliente que produce al tocar un cuerpo o sustancia, es una magnitud que se mide en grados una vez entendido los conceptos la transferencia de calor se hace de tres maneras detalladas a continuación.

1.3.1. *Transferencia de calor por convección*

Este tipo de transferencia ocurre en los líquidos y gases, si existe diferencia de temperatura en un cualquiera de los dos entonces existirá movimiento en el fluido y gas por ende se transferencia de calor. (Nahle, Nasif,2016,p.6), Existen dos formas de realizar esto:

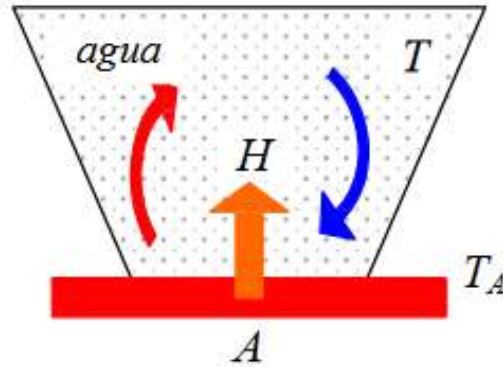


Figura 2- 1: Convección

Fuente: www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

Forzada. - cuando el material se lo debe mover de un lugar a otro como por ejemplo si es aire con un ventilador y si es agua con una bomba.

Natural. - es producida por las densidades de la materia haciendo que el fluido extraiga calor de la zona caliente hacia la fría cambiando su densidad.

La ecuación que gobierna en la transferencia por convección es la Ley De Enfriamiento De Newton:

$$H = hA(T_A - T)$$

Ecuación 1-1: Ley de enfriamiento convección

Donde h es el coeficiente de convección, A es el área de la superficie que entrega calor a una temperatura T_A al fluido adyacente que se encuentra a una temperatura T.

Tabla 3-1: Valores típicos de Coeficiente de convección

Proceso	$h(W/m^2K)$
Convección natural	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20000

Fuente: www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

Realizado por: Morayma Cuji 2017

1.3.2. *Transferencia por conducción*

Es la transferencia que ocurre en los sólidos si dos puntos del mismo están a diferente temperatura, donde las partículas más energéticas le entregan a las de menos energéticas. La ecuación que gobierna es la ley de la conducción de calor de Fourier. (Nahle, Nasif,2016,p.8),

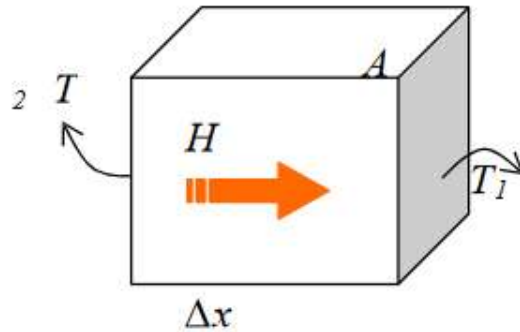


Figura 3-1: Conducción

Fuente: www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 1-2-1: Ley de Fourier Calor

Donde k es la conductividad térmica del material la cual indica la variación de calor y producción de energía. El signo menos es la disminución de la temperatura y $\frac{dT}{dx}$ representa el gradiente de temperatura.

1.3.3. *Transferencia por radiación*

Es el calor que se emite por un cuerpo debido a su temperatura en diferentes direcciones por lo que no existe contacto entre los cuerpos ni fluidos que transporten el calor. Pero además existe radiación electromagnética que es producido en los cambios de los átomos o moléculas y trasladadas por ondas electromagnéticas o fotones. (Nahle, Nasif,2016,p.8),

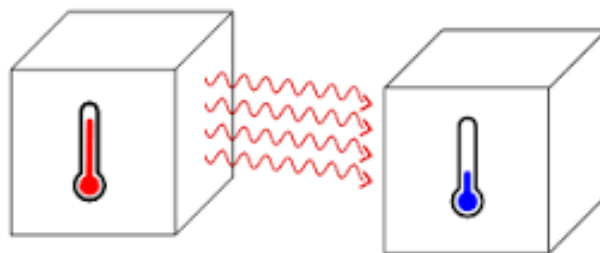


Figura 4-1: Radiación

Fuente: www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

1.4. Energía termosolar de baja temperatura

1.4.1. Energía Solar

La fuente principal de energía renovable es el sol, produciendo energía en forma de radiación electromagnética sin duda es inagotable y en un futuro nos ayudara a abastecer de energía al planeta. Pues bien, se sabe que los combustibles fósiles se terminaran y solo nos quedaran las energías renovables para seguir generando energía pura y eficiente.

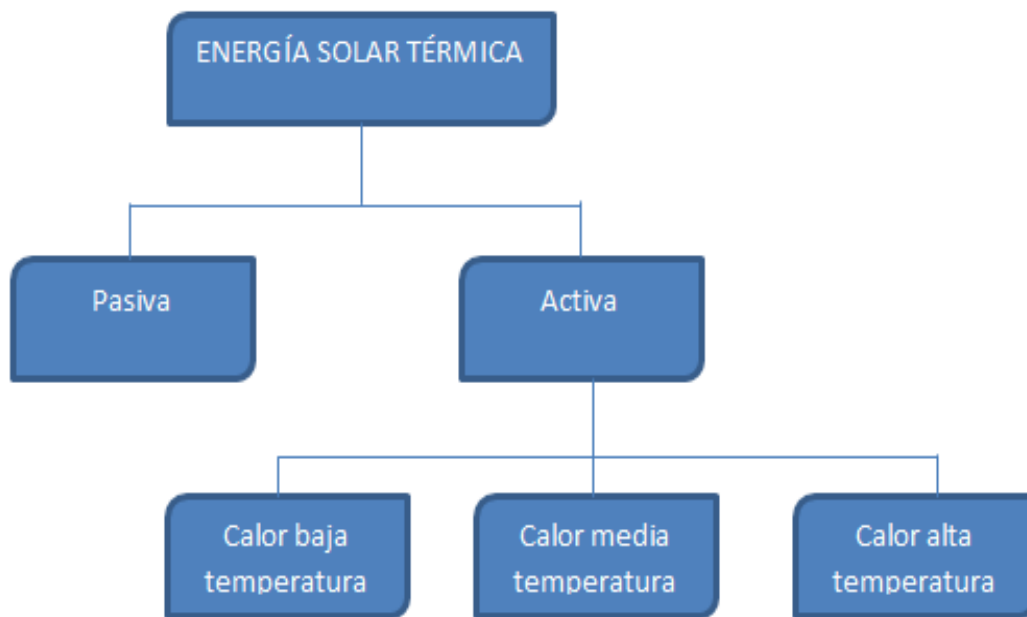


Figura 5-1: Energía solar térmica.

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Al aprovechar los rayos del sol se puede convertir en energía térmica mediante sistemas solares térmicos o en energía eléctrica mediante sistemas solares fotovoltaicos, además se cuenta con las centrales termosolares que transforman la energía del sol en térmica, que posteriormente se transformara en energía eléctrica.

1.4.2. Radiación solar

Es la energía proveniente del sol que llega al planeta en forma de ondas electromagnéticas, su potencia promedio es de 1.367 w/m^2 la cual da lugar a lo que se conoce como constante solar. La radiación solar está compuesta por lo que es la radiación difusa y la radiación directa, esto quiere decir que en un día muy claro y despejado la radiación que llega a la tierra es radiación

directa; mientras que en días nublados la radiación es difusa pues es aquella que ha sufrido cambios debido a la presencia de los componentes atmosféricos. (Eliseo, 2013, p.2)

Según como los objetos que se encuentran en la tierra aprovechan o reciben la radiación solar podemos observar tres tipos de radiación:

1.4.2.1. Radiación directa

Como su nombre lo dice es aquella que se recibe directamente del sol sin que haya tenido ningún cambio al momento de ser receptada por el objeto. También podemos decir que la que da lugar a la formación de la sombra de los mismos. (Eliseo, 2013, p.3)

1.4.2.2. Radiación difusa

Es el producto de la reflexión y absorción por las nubes, montañas, partículas de polvo, edificios, el suelo, etc. Se caracteriza por no producir sombra en los objetos que la reciben además si es una superficie horizontal recibirá más radiación difusa mientras que en las verticales solo reciben la mitad de la misma. (Eliseo, 2013, p.3)

1.4.2.3. Radiación reflejada

Es aquella radiación que se refleja en la superficie terrestre donde interviene el coeficiente de reflectividad de la superficie donde es reflejada o también denominado albedo. A diferencia de la difusa las superficies horizontales no reciben radiación reflejada mientras que las superficies verticales son las que más aprovechan de esta. (Eliseo, 2013, p.3)

1.4.2.4. Radiación global

Las sumas de las tres radiaciones dan lugar a la radiación global cuando el día es despejado con un cielo celeste donde predomina la radiación directa, pero si este es nublado la radiación directa es insignificante siendo 100% radiación difusa. Los colectores solares son diseñados para aprovechar cada tipo de radiación. (Eliseo, 2013, p.4)

1.4.3. Declinación solar

El ángulo (\square) de declinación es aquel que se forma con la línea Ecuatorial de la tierra con la eclíptica, mientras el planeta realiza el movimiento de traslación este hace que varíe dicho ángulo entonces se alcanzara los valores máximos en los solsticio de 23.45 grados en verano o norte y -

23 45 grados en invierno o sur por lo que la duración del días es máxima y minima; mientras que el día y la noche duran lo mismo cuando se trata de en equinoccio.

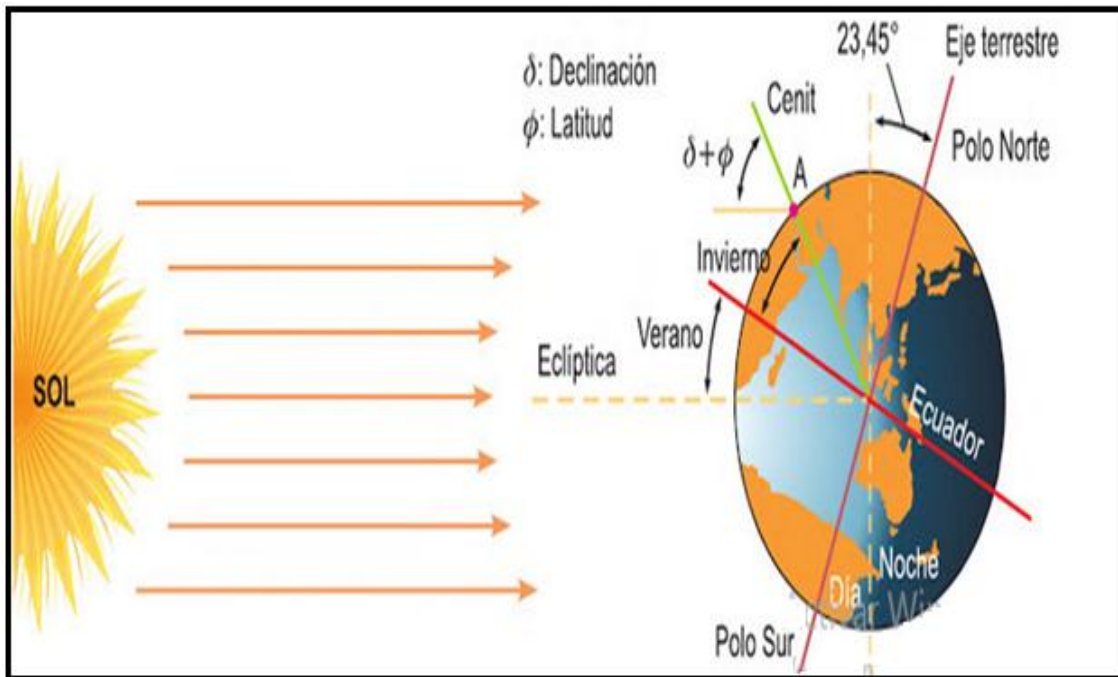


Figura 6-1: Declinación solar

Fuente: (Miguel Moro Vallina 2010,pag. 15.) Instalaciones solares fotovoltaicas.

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + \delta_n}{365}\right)$$

Ecuación 3-1: Cálculo de la declinación por día

Dónde:

δ_n : Día del año tomando 1 para el primer día de enero

1.4.4. Coordenadas solares

Para determinar las coordenadas se hace referencia a una plomada que caer donde la punta de esta indica el centro de la tierra y hacia arriba el cielo celeste por lo que da lugar a diferentes coordenadas solares que se detallara a continuación: (Muyulema, 2006, p.7)

1.4.4.1. Elevación solar (γ_s)

Es el ángulo que forman los rayos del sol con la horizontal, si se trata de un solsticio de verano toma valores de $(90^\circ - \phi - \delta)$, mientras que si el solsticio de verano va $(90^\circ - \phi + \delta)$; siendo ϕ la latitud del lugar y δ declinación. (De Juana, 2002, p.37)

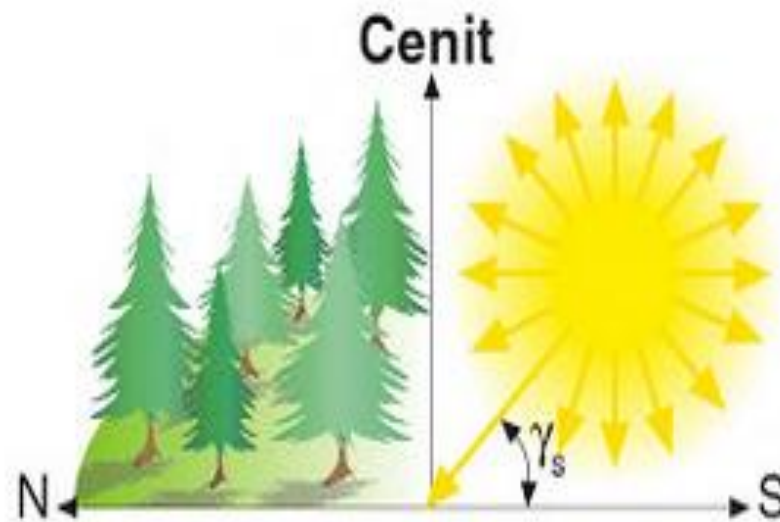


Figura 7-1: Elevación solar

Fuente: (Germán Santamaría, Agustín Castejón.2011.pag.10) Módulos fotovoltaicos.

1.4.4.2. Acimut solar (ψ_s)

Es aquel ángulo que se forma por el meridiano del sol y el meridiano del lugar donde nos encontramos , tomando como referencia el norte si es el hemisferio sur y el sur si es el hemisferio norte generando valores positivos de 0 a 180⁰ hacia el oeste y negativos de 0 a -180⁰ hacia el este. : (Miguel Moro Vallina 2010.pag. 15.)

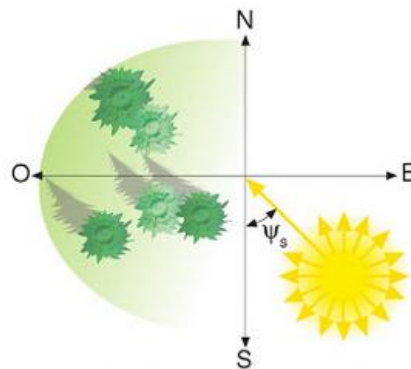


Figura 8-1: Acimut solar

Fuente: (Germán Santamaría, Agustín Castejón.2011.pag.10) Módulos fotovoltaicos.

1.4.4.3. Angulo o distancia cenital (θ_{zs})

Es considerado como el ángulo complementario de la elevación solar ya que está formado por la dirección del sol y la vertical.

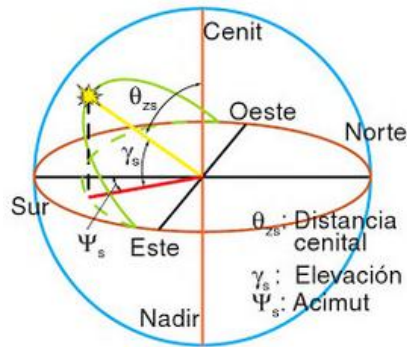


Figura 9-1: Angulo Cenit

Fuente: (Germán Santamaría, Agustín Castejón.2011.pag.10) Módulos fotovoltaicos.

1.4.5. *Radiación en cuerpos negros*

Un cuerpo negro es capaz de absorber toda la radiación solar que caiga sobre el por lo que se le considera como un emisor ideal ya que además tiene la característica que no refleja la energía, cuando ocurre el equilibrio térmico emite toda la energía que ha absorbido.

Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente por tanto la Absortividad es igual a uno ($\alpha = 1$). Entonces para una temperatura y longitud de onda el cuerpo que puede radiar más es un negro.: (Miguel Moro Vallina 2010,pag. 15.)

1.4.6. *Emisividad*

Se conoce como la intensidad espectral de emisión la cual es relativa a la emisión espectral que ocurre con un cuerpo negro. La Emisión de este depende de la naturaleza del material, el estado de la superficie, así como de cómo esta pulido y su composición química.

1.4.7. *Absortividad*

Es otra propiedad de la radiación que representa la fracción de radiación incidente en una fracción de superficie varia en los valores de $0 < \alpha < 1$, dependiendo de la temperatura y longitud de onda según las leyes de Kirchhoff “la Emisividad y Absortividad de una superficie a una temperatura y longitud de onda dad son iguales”.

Entonces si en un cuerpo la velocidad de absorción de radiación es mayor que la emisión se dice que el cuerpo esta ganado energía, en caso contrario este estará perdiendo energía por radiación. : (Miguel Moro Vallina 2010,pag. 15.)

1.4.8. *Reflectividad*

Es la radiación incidente reflejada por una superficie, entonces es una propiedad direccional de la radiación en función de la dirección reflejada de la dirección y longitud de onda incidente. (De Juana, 2002, p.37)

1.4.9. Radiación en la provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo está ubicada en el centro del Ecuador, en la región sierra, es una provincia con varias comunidades andinas las cuales se dedican a la ganadería, agricultura y turismo. En esta provincia está uno de los puntos más cercanos al sol como lo es el nevado Chimborazo de ahí su nombre, según el Instituto Nacional De Eficiencia Energética Y Recursos Renovables (INER) la potencia media de radiación solar está entre los 500-600 w/m^2 la cual es considerable y bien puede ser utilizada para varios proyectos y aplicaciones que ayudaran a reducir costos y mantener el medio ambiente.

1.4.10. Clasificación de los sistemas termosolares de baja temperatura

Según la forma en la que circula el líquido por estos sistemas se los puede clasificar en 2 grupos:

1. Sistemas por termosifón

Este tipo de sistemas es comúnmente usado por ser el más barato y no necesita de una bomba de apoyo para la circulación del líquido. Entonces la forma de circulación es por las variaciones de temperatura, pues si aumenta la temperatura por el tubo la densidad del líquido disminuye haciendo que su volumen aumente; dando como resultado que el fluido caliente ascienda a la parte del colector mientras que el frío se queda en la base de los tubos. Y es así como circula el líquido mientras exista gradiente de temperatura o hasta que se igualen las temperaturas de los líquidos existentes en el acumulador como en el captador.

2. Sistemas por circulación forzada

Para su circulación necesita de una bomba circuladora que es capaz de establecer el caudal logrando que las pérdidas de carga de circuito sean pocas, para ello realiza un control diferencial de temperaturas que se activa siempre y cuando haya ganancia de energía térmica en el acumulador, entonces lo que se hace es colocar las sondas comparativas en la salida de los captadores que viene a ser el punto donde existe mayor temperatura y en la parte inferior que es el punto de referencia. (Paredes, 2017, p.2017)

1.4.11. Captación de la energía solar

La captación es una de las partes más importantes del sistema de baja temperatura pues es la forma en la cual obtendremos el calor del sol para transformarla en energía calorífica o eléctrica. Existen tres tipos de colectores y su eficiencia dependerá de la capacidad de convección de la energía solar.

1.4.11.1. Colectores planos

Los colectores planos son los comúnmente utilizados pueden dar temperatura de 50 a 200 grados centígrados con una eficiencia de hasta los 60 %. Está compuesto por una placa negra en cuyo interior se encuentran láminas de acero, hierro galvaniza, aluminio o de preferencia láminas de cobre, a esta placa se la conoce como captadora pues se sabe que el color negro observe más calor que los demás, además está hecha de vidrio que soporta la lluvia, calor y otros agentes que podría provocar averías, claro está que se debe dar el correcto mantenimiento. Para evitar pérdidas de calor en la parte lateral y posterior se encuentra un caja de madera o hierro la cual tiene le fin de almacenar calor en caso de que en la placa tenga temperaturas menores a las deseadas. (Farinango, 2017, p.35)

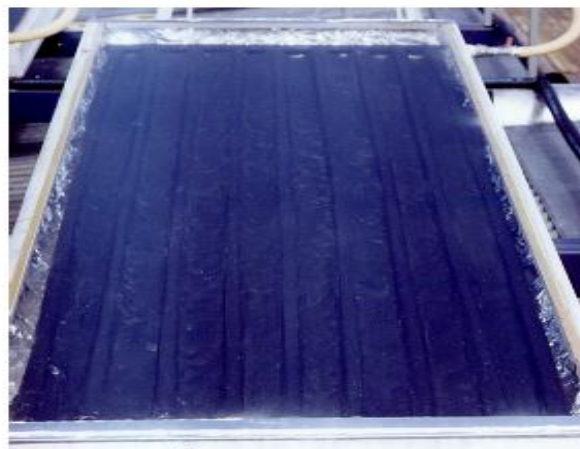


Figura 10-1: Colector plano

Fuente: (termas solares LUXXOL.2011. <http://www.termasolar.com>)

A su vez este tipo de colectores se divide en:

Colectores planos con cubierta.- esta cubiertos por una lámina de vidrio, lateralmente esta protegidos por una caja metálica o bien de plástico, son los más usados.

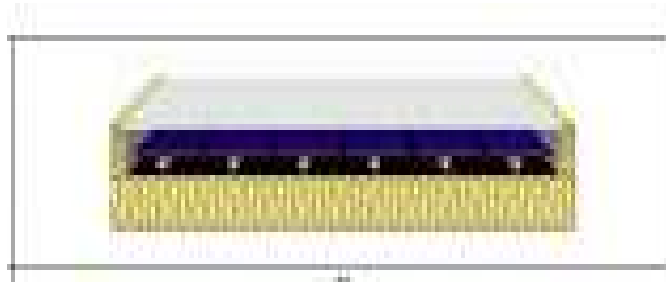


Figura 11-1: Colector plano con cubierta

Fuente: (termas solares LUXXOL.2011. <http://www.termasolar.com>)

Colectores planos sin cubierta.- estos se usan más en lo que es calentamiento de piscinas pues están cubiertos por plástico y se exponen directamente al solo.

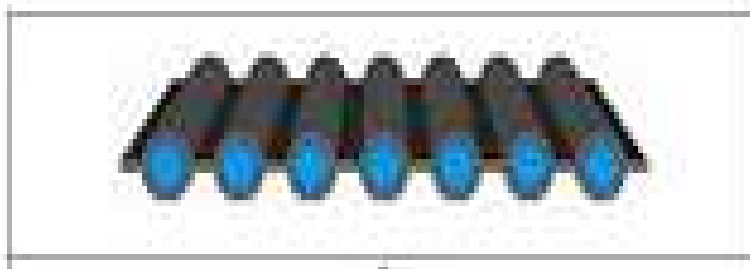


Figura 12-1: Colector plano sin cubierta

Fuente: (termas solares LUXXOL.2011. <http://www.termasolar.com>)

1.4.11.2. Colectores de tubos al vacío

Como su nombre lo dice está formado de tubos de cobre los cuales esta cubiertos por tubos de cristal trasparente y situado en un asiento selectivo tratando de evitar pérdidas de calor ya sea por conducción o convección por lo que aprovechas más la captación de radiación solar y puede llegar a tener temperaturas más de 100 grados centígrados. Este tipo de colectores son fáciles de instalar y si se llegaran a dañar se puede reemplazar cada tubo por separado y según el modelo se puede darle una inclinación a cada tubo. (Farinango, 2017, p.35)

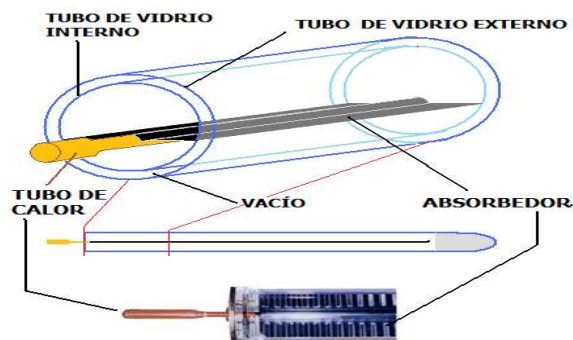


Figura 13-1: Colector tubo al vacío

Fuente:(portal de energías renovables.2014. <http://www.sitiosolar.com>)

1.4.11.3. Colectores de concentración

Son aquellos que poseen una forma cóncava y se utilizan cuando está en contacto directo con el sol y están diseñados para seguirlo. Puede llegar a tener temperaturas mayes a los 4000 grados centígrados por lo que se les usa en generadores solares por su precio son poco utilizados.



Figura 14-1: Colectores de concentración

Fuente: (portal de energías renovables.2014. <http://www.sitiosolar.com>)

1.4.12. Instalación solar de baja temperatura

Para la instalación de un sistema de baja temperatura hay que tener en consideración los siguientes subsistemas que forman parte de su composición final:

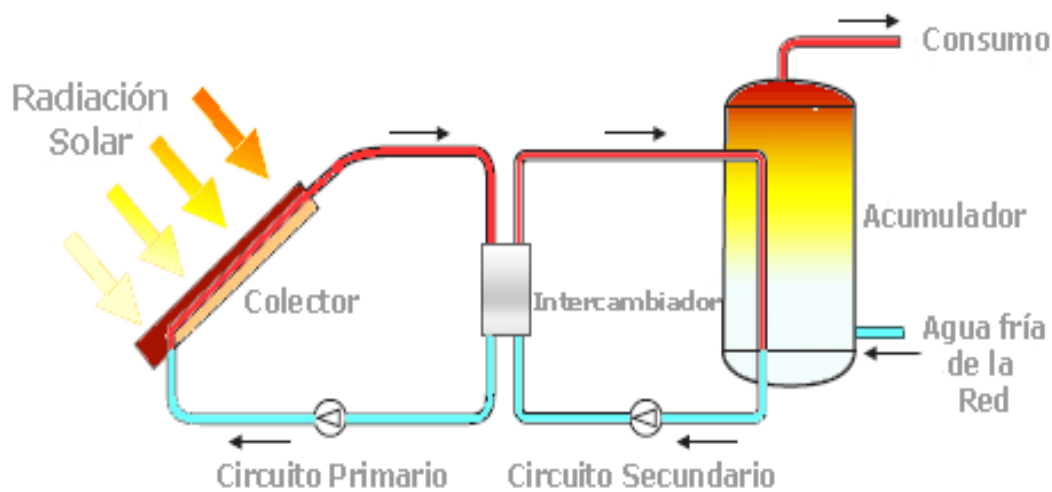


Figura 15-1: Instalación de un sistema de baja temperatura

Fuente: (portal de energías renovables.2014. <http://www.sitiosolar.com>)

Sistema de captación. - se encarga de captarla energía solar incidente en los distintos colectores solares para luego transformarla en energía térmica, aumentando la temperatura del fluido que circula por el interior del circuito.

Sistema de acumulación. - es el lugar donde se almacena la energía calorífica o el agua caliente para luego ser utilizada, según sea el caso se puede utilizar dos o más acumuladores.

Sistema de intercambio. - realizan el intercambio de temperaturas del líquido que circulan por los diferentes subsistemas.

Sistema de transporte o circulación. - está compuesto 'por la tubería, elementos de impulsión, aisladores térmicos adecuados y diseñados para transportar la energía producida.

Sistema de apoyo o auxiliar. - debido a que se requiere de agua caliente todo el año y que se sabe que en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre la radiación solar disminuye y el sistema solar térmico funciona a un 60% entonces para solucionar este inconveniente se debe utilizar sistemas de apoyo como lo son el gas, electricidad, etc.

Sistemas de control. - es el encargado de permitir que funcione correctamente todo el sistema.

1.4.13. *Aplicaciones y ventajas de la energía solar térmica*

Las aplicaciones de la energía solar son diversas, pero en lo que la mayoría de personas usa es en la generación de ACS (agua caliente sanitaria) aunque otras de las aplicaciones son:

- Calefacción de baja temperatura.- para realizar este tipo de aplicación lo que se hacer es realizar un circuito con tubería por el suelo o también llamado suelo radiante pues se necesita 45°, que son fácilmente alcanzados con los colectores solares.
- Calentamiento de agua para piscinas. - el calentamiento de agua abastece cuando la radiación solar es directa y radiante, mientras que en invierno se usa un sistema de apoyo.
- Aire acondicionado mediante máquinas de absorción. - en varios lugares del planeta se requiere calefacción en invierno y mediante máquinas de absorción se producirá frío en el verano.
- Económicamente hablando un sistema solar tiene un tiempo de funcionamiento de 25 años garantizados, lo que representa un ahorro a largo plazo, pero si hablamos que en casa nuevas

en las cuales se coloca un sistema térmico el ahorro es instantáneo, pues salen económicas y rentables.

- Para la generación de energía solar térmico no se afecta al ambiente como se la hacer con los generadores de energía convencionales al quemar el combustible o consumiendo energía eléctrica.

1.5. Calentadores de agua a gas

Los calentados de agua a gas son implementados con quemadores capaces de calentar agua casi instantáneamente, los primeros calentadores solo tenían un botón de encendido y apagado lo hacía que existan pérdidas de calor. Pero han ido evolucionando y ya existen calentadores modulares los cuales permiten que el agua se caliente se mantenga casi constante, sin embargo hay que cumplir con ciertas reglas de instalado pues si hay alguna fuga de gas puede causas daños irreparables e incluso perder vidas humanas.

Existen tres tipos de calentadores a gas que son:

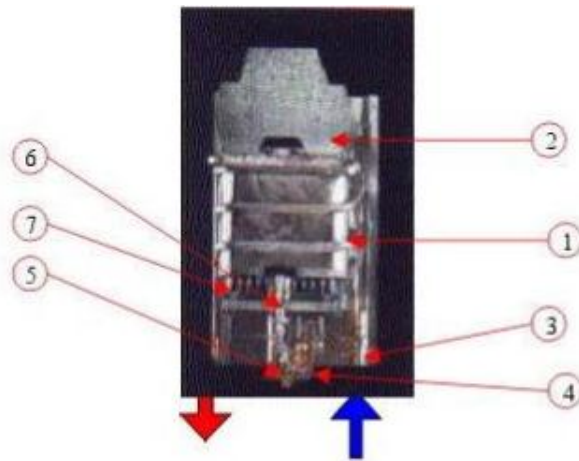
- Calefones
- Calderas y termo-tanques
- Calefacción y agua caliente

1.5.1. Calefones

También llamados calentadores instantáneos o de paso son los que vamos a utilizar en esta aplicación. Estos tienen una serpentina que es la que calienta el agua a medida que se abre el grifo de agua, estos artefactos están definidos por capacidad de litro/minuto alcanzando una temperatura de 20 grados.

Las consideraciones a tomar al momento de instalarse es que la energía que no se utiliza se libera en forma de aire caliente y c02 por lo que se recomienda instalarlos en lugares despejados y con una buena ventilación pues en lugares encerrados puede ocasionar muertes y si se lo hace estos gases se los debe direccionar al exterior.

Elementos que forman un calefón:



Salida agua caliente Entrada agua fría

Figura 16-1: Elementos del calefón

Fuente: (Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca “Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua”, tesis de grado.2014)

- 1.- Intercambiador de calor su principal componente es un serpentín por donde circula el agua a calentarse.
- 2.- Sombrero superior
- 3.- Tuvo Venturi y cámara de agua
- 4.- Válvula de agua-gas
- 5.- Sistemas de seguridad
- 6.- El piloto
- 7.- Quemador principal o mechero

Dimensionamiento del calentador

Los parámetros a considerar son el volumen, temperatura ambiente y la variación de temperatura en relación al ambiente.

1.5.2. Como seleccionar el calefón adecuado

Para calentar el agua lo que se requiere una serie de circuitos de tratamiento de agua y recirculación, además un intercambiador de calor por el que circulara desde una bomba. El agua proveniente de red es de 4 a 6 grados centígrados y con la ayuda del calefón aumenta entre unos 25 a 31 grados.

1.6. Control automático

Un sistema de control se basa en el análisis de los dominios temporales de los sistemas de ecuaciones diferenciales en la actualidad un sistema de control trata de simplificar los sistemas pues trabaja en modelo de un sistema en tiempo real que se requiere controlara, pero su estabilidad depende del sistema real y su modelo. Entonces de manera informal se dice que un sistema de control consiste en seleccionar de un conjunto específico o arbitrario de elementos (o parámetros, configuraciones, funciones, etc.), aquellos que, aplicados a un sistema fijo, hagan que este se comporte de una manera predeterminada. Para ello primero se debe analizar los siguientes aspectos: (Ogata, 2010, p.3).

Planta: se designará como planta a cualquier objeto físico que pueda ser controlado. Puede ser un equipo, quizás simplemente un juego de piezas de una máquina funcionando juntas, cuyo objetivo es realizar una operación determinada. Ejemplos de plantas son: horno de calentamiento, reactor químico, etc.

Proceso: se definirá como una operación o conjuntos de pasos con una secuencia determinada, que producen una serie de cambios graduales que llevan de un estado a otro, y que tienden a un determinado resultado final. Se denominará proceso a cualquier operación que se vaya a controlar. Ejemplos de procesos son: químicos, económicos, biológicos, etc.

Sistema: de forma más general, podemos definir a un sistema como un arreglo, conjunto o combinación de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyen un todo. De forma científica podemos definirlo como un arreglo de componentes físicos conectados o relacionados de tal manera que formen una unidad completa o que puedan actuar como tal; en otras palabras: Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente, con un determinado objetivo a cumplir. Cómo puede observarse el término sistema no está aplicado únicamente a objetivos físicos, el concepto de sistema puede ser aplicado a fenómenos abstractos y dinámicos como por ejemplo la economía. Por tanto cuando se hable de sistemas implicará referirse a fenómenos físicos, biológicos, económicos, sociológicos, etc. La planta junto con el proceso, conforman un sistema. (Perez, 2000, p 60)

Control: esta palabra se usa para designar regulación, gobierno, dirección o comando.

Sistema de control: es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente. Entrada de un sistema: Es una variable del sistema elegida de tal manera que se la utiliza como excitación del mismo.

1.6.1. *Sistema de control retroalimentado*

Es un sistema de control en el cual se usa la entrada y la salida o deseada como referencia y se utiliza la relación entre los dos para realizar el control, este tipo de sistemas son utilizados en diversas ramas no solo en la ingeniería teniendo como ejemplo nuestro cuerpo pues este está en constante retroalimentación haciendo que se muestre insensible a las perturbaciones externas, permitiendo así que funcione adecuadamente así en este en un ambiente cambiante.

1.6.2. *Sistema de control en lazo abierto*

En este tipo de sistemas la salida no tiene acción al momento de controlar el sistema, entonces un sistema en lazo abierto no toma en consideración la salida ni la retroalimenta para compararla con la entrada su precisión depende únicamente de la calibración que se le dé. Si existen factores externos o internos en los sistemas simplemente en un sistema en lazo abierto simplemente no realiza la tarea encomendada.

1.6.3. *Sistema de control en lazo cerrado*

Un sistema de control de lazo cerrado también se lo puede hacer retroalimentado, pero en la práctica a cada uno se lo usa de manera indistinta; al sistema en lazo cerrado se alimenta al controlador una señal de error de actuación que viene a ser la relación de la señal de entrada con la señal retroalimentada (puede ser la misma señal de salida, o una función de su señal de salida o sus diferenciales o derivadas) con el propósito de reducir el error llevando al sistema al valor deseado.

1.7. Modelamiento de sistemas automáticos

1.7.1. *Modelamiento*

Un modelo de un sistema es básicamente una herramienta que permite responder interrogantes sobre este último sin tener que recurrir a la experimentación sobre el mismo. Es una representación siempre simplificada de la realidad (si el sistema físico existe) o es un prototipo conceptual (proyecto del sistema Físico).

1.7.2. *Modelos matemáticos*

Los modelos matemáticos son sistemas dinámicos el cual está compuesto por ecuaciones que representan la dinámica del proceso con precisión o lo más certero posible; un sistema no puede tener un solo modelo todo depende de la perspectiva del que está realizando el sistema.

La dinámica de los sistemas ya sean eléctricos, mecánicos, térmicos, económicos, etc., se basan o parten de una ecuación diferencial y esta ecuación se realiza con las leyes que gobiernan cada sistema, por ejemplo si se trata de un sistema mecánico las leyes a usar son la de Newton, mientras que si es un sistema eléctrico son de gran aporte las leyes de Kirchhoff y así podremos encontrar un modelo razonable y correcto.

1.7.3. *Proceso de modelado*

El proceso de modelado analítico se divide en tres grandes etapas. La primera de ellas consiste en la delimitación del modelo en función de los fenómenos que resultan relevantes de acuerdo al problema que se quiere resolver. Esta es una etapa que no puede sistematizarse fácilmente y que requiere por ende de una cierta dosis de intuición y por sobre todo de una vasta experiencia en relación con el sistema a modelar.

Una vez delimitados los fenómenos que se consideraron relevantes para la construcción del modelo, se pasa a la siguiente etapa en la que se deben formalizar las relaciones constitutivas y estructurales asociadas respectivamente a los fenómenos considerados y a la forma en que estos se disponen dentro del sistema. En los sistemas físicos, estas relaciones constitutivas y estructurales encuentran su expresión formal (matemática) en las leyes fundamentales de los dominios de la física asociados a los fenómenos mencionados. Por este motivo, el modelado analítico de un sistema físico no es posible sin un conocimiento de las leyes físicas elementales asociadas a los fenómenos en cuestión. (Perez, Mario, 2008, p 8)

1.8. *Sistemas Híbridos*

Los Sistemas Híbridos surgen de la asociación de tecnologías de generación de energía renovable con sistemas de almacenamiento y generación convencional. La aplicación de este tipo de sistemas nos permite desplazar generación de calor en sistemas convencionales mediante la integración de generación solar con sistemas de gas. Los costes de generación renovables, más competitivos, permiten un coste global de generación más reducido.

La integración de sistemas híbridos mediante un sistema de control adecuado, nos permite establecer redes aisladas que permiten la electrificación de zonas remotas a un coste razonable

comparado con el hecho cualitativo de tener acceso a la energía eléctrica. Cuando dos o más sistemas de generación de energía se combinan en una sola instalación para la generación de energía eléctrica, surge lo que se denomina un sistema híbrido. Estos sistemas están generación de energía eléctrica, surge lo que se denomina un sistema híbrido. Estos sistemas están grupos electrógenos, dejándolos en la mayoría de los casos solo para funciones de emergencia.

1.9. Software usado en la automatización y modelado

Existen diversos programas que podemos usar en la automatización y modelado de sistemas, estos nos ayudan a entender de una mejor manera como es que van a funcionar nuestro diseño así como mostrarnos como va a funcionar antes de implementarlo físicamente los que se ha usado para este trabajo son los siguientes:

1.9.1. *Matlab*

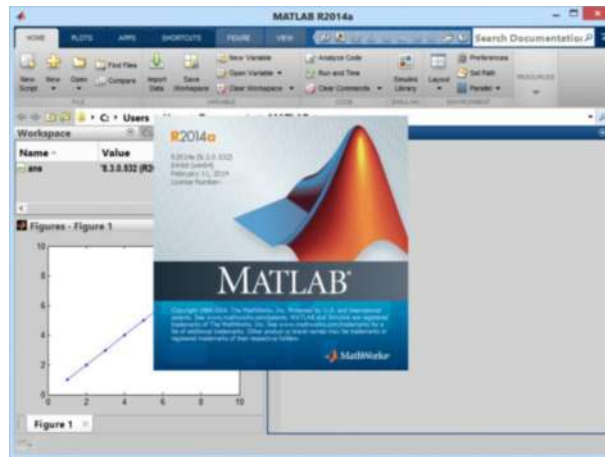


Figura 17-1: Workspace Matlab

Fuente: Morayma Cuji (2017)

Es un programa creado por The Mathworks de entorno de cálculo técnico para análisis de datos es de gran ayuda cuando tratamos de trabajar con matrices, tiene varias herramientas con las que podemos simular circuitos eléctricos, modelamiento de sistemas unas de las aplicaciones son:

- Procesamiento de señales.
- Diseño de sistemas de control simulación de sistemas dinámicos
- Identificación de sistemas
- Redes neuronales entre otros.

1.9.2. *Labview*

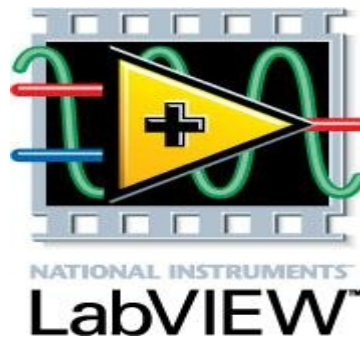


Figura 18-1: Logo Labview

Fuente: Morayma Cuji (2017)

Este programa tiene un enfoque de programación más orientada a gráficos a diferencia de Matlab, en este no se realiza por medio de escritura de líneas de códigos más bien es una interfaz de visualización. Las aplicaciones más utilizadas son en sistemas de medición, monitoreo de procesos, aplicaciones de control, procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real para aplicaciones biomédicas, industriales entre otras.

1.10. **El sistema SCADA en la automatización industrial**

La automatización industrial es uno de los aspectos más importantes de la digitalización de los procesos productivos, principalmente en la gran Industria. Gracias a los sistemas y soluciones de automatización, las compañías pueden gobernar toda su actividad y gestionar la evolución de todos los procesos sin la intervención continua de un ingeniero.

Los sistemas SCADA potencian precisamente todo el aspecto de gobernanza y gestión dentro de la automatización industrial. Gracias a este tipo soluciones, se pueden supervisar o controlar las diferentes métricas que afectan al funcionamiento de la planta.

En la actualidad, la tecnología SCADA ha desarrollado diferentes versiones mediante las que se pueden controlar y supervisar todo el proceso industrial. Se trata de los sistemas PLC o DCS, que se pueden combinar mediante una red *Ethernet*.

1.10.1. Características de un sistema SCADA

Un sistema SCADA presenta una serie de particularidades que lo hacen muy valioso dentro del sector industrial. Son las siguientes:

- Puede adquirir, procesar y almacenar un conjunto enorme de datos para utilizar la información recibida de forma continua y confiable dentro del proceso productivo de la empresa.
- Los sistemas SCADA pueden representar gráficamente todo el proceso productivo para controlar de primera mano las diferentes variables y monitorizarlas mediante alarmas.
- Gracias a sus características, ofrece la posibilidad de ejecutar acciones de control mediante las que se puede modificar la evolución de todo el proceso industrial.
- Permite la ampliación y adaptación de todo el sistema gracias a que cuenta con una arquitectura abierta y flexible, que permite funcionar en base a las necesidades de cada cliente.
- Ofrece una conectividad total con otro tipo de aplicaciones industriales y bases de datos, ya sean de origen local o estén distribuidos en redes de comunicación.
- La supervisión se puede realizar en remoto, ya que mediante un sistema de pantallas los ingenieros encargados del mantenimiento y control de una serie de dispositivos, pueden llevar a cabo la monitorización sin problemas.
- La causa del punto anterior es la capacidad del sistema SCADA para representar gráficamente en una interfaz sencilla todos los datos que recibe en tiempo real.
- Permite la explotación de los datos recabados en el día a día para mejorar la gestión de la calidad, el control estadístico y la gestión de la producción.

En definitiva, los sistemas PLC SCADA son imprescindibles en la automatización de la Industria en el mundo. Gracias a sus características, las funciones de gobernanza y control remoto de todos los dispositivos se hace mucho más sencillo.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

El sistema híbrido para la pasteurización de leche está conformado por varios elementos los cuales se han modelado por separado pues hasta la fecha no conozco un programa en el cual se pueda realizar el modelado en conjunto; pues cada elemento tiene sus características propias de su funcionamiento y podemos encontrarnos con modelos más complejos que otros, que en la mayoría de los casos no tienen algún parámetro en común. A continuación, voy a enumerar los elementos a modelar que formaran parte del sistema híbrido:

1. Colector solar de tubo al vacío que es la fuente de energía principal.
2. La fuente secundaria es un calefón a gas.
3. Válvulas que liberen o bloqueen la circulación del fluido.
4. Motor
5. Sensor de temperatura.
6. Sensor de nivel en los tanques

Los datos de radiación de la estación meteorológica de la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica De Chimborazo) tomados de dos años calendario 2014 y 2015 respectivamente, se puede observar en la Tabla 2-1.

Tabla 1-2: Datos de Radiación

MES	RG 2014	RG 2015	PROMEDIO
ENERO	513.155982	479.740145	496.448064
FEBRERO	493.571243	554.0426	523.806921
MARZO	490.949655	461.919677	476.434666
ABRIL	495.964522	513.30922	504.636871
MAYO	481.097643	477.150597	479.12412
JUNIO	434.866261	495.662853	465.264557
JULIO	466.445116	504.524267	485.484691
AGOSTO	0.00621613	533.070587	266.538401
SEPTIEMBRE	421.939987	587.03095	504.485468
OCTUBRE	548.675429	529.722755	539.199092
NOVIEMBRE	543.101383	504.641407	523.871395
DICIEMBRE	524.696523	510.33559	517.516056
PROMEDIO ANUAL			481.900859

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH

Realizado por: Morayma Cuji (2017)

2.1. Modelamiento del colector solar

Para determinar el modelo de un colector solar hay que tomar muchos puntos en consideración como lo es la inclinación, la radiación, el fluido que circula, entre otros, ya que se trata de cambiar la energía solar proveniente del sol en energía térmica. Cuando un rayo del sol cae en una superficie plana los rayos no son tan dispersos, pero si caen o golpean una superficie plana y a su vez esta inclinada los rayos se dispersan lo cual nos indica que la potencia de los rayos solares se extiende por un área mayor.

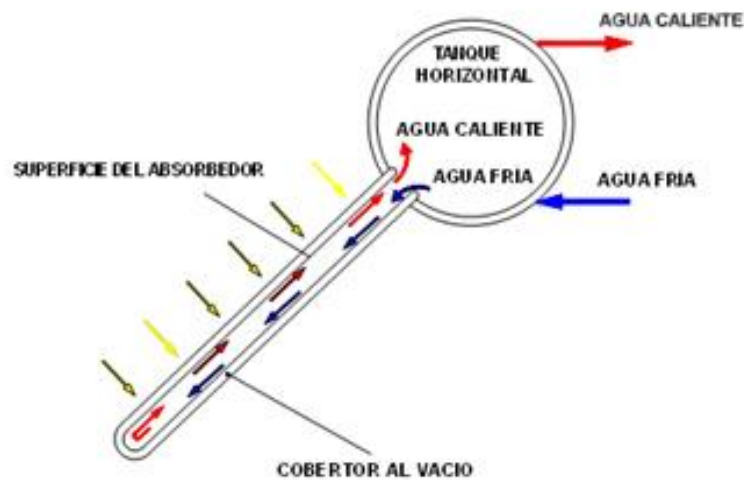


Figura 1-2: Funcionamiento colector tubo al vacío

Fuente: (César Cisneros-Ramírez. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.2015)

La figura 1-2 nos indica la estructura del colector a modelar considerando el comportamiento térmico a partir de la conservación de la energía tomando en cuenta la ganancia y pérdida de energía en el mismo.

$$mf = \frac{Q_{util}}{C_p(T_{final} - T_{inicial})}$$

Ecuación 1-2: ...Flujo de masa

A partir de la ley de la conservación de la energía y del fluido se determinó la ecuación anterior donde nos indica que (mf) es el flujo de masa que circula de forma natural, q_{util} es la energía colectada en el tubo, y la temperatura inicial y final en el tubo.

En la ecuación 2-2 se puede ver que la energía colectada o útil está determinada como la diferencia entre el calor absorbido y el perdido respectivamente. (Farinango, 2017, p.25)

$$Q_{util} = Q_{absorbido} - Q_{perdido}$$

Ecuación 2-2:... Energía colectada

Para determinar el calor absorbido hay que tener en cuenta la transmisividad absorbida ($\tau\alpha$) por el colector, la irradiación del sol sobre el plano inclinado, así como el área donde incide el mismo.

$$q_{\text{absorbido}} = \tau\alpha * I * A$$

Ecuación 3-2: ...Calor Absorbido

Por otro lado la pérdida de calor está determinada a continuación:

$$q_{\text{perdido}} = U_{\text{perdido}}(T_m - T_{\text{amb}})A$$

Ecuación 4-2: ...Calor Perdido

U_{perdido} : Coeficiente de pérdida de calor

T_{tan} : Temperatura absorbida por el colector

T_{amb} : Temperatura ambiente

Tabla 2-2: Coeficiente de pérdidas y eficiencia óptica a diferentes inclinaciones.

Angulo	$\alpha\tau$	U_{perdido}
30	0.8	1
20	0.814	0.949
15	0.802	0.923
10	0.82	0.901

Fuente: (Termas Solares. Celso Recalde.2016)

Realizado por: Morayma Cuji 2017

$$q_{\text{absorbido}} = q_{\text{util}} + q_{\text{perdido}}$$

$$q_{\text{absorbido}} = q_{\text{util}} + U_{\text{perdido}}(T_{\text{tan}} - T_{\text{amb}})A_{\text{tan}}$$

Las ecuaciones anteriores se usaran como una base para determinar el modelo del colector, como se sabe que los colectores utilizan el efecto termosifón para realizar el cambio de energía, entonces se considerara que el área del flujo tanto en el fluido caliente como para el fluido frío son iguales.

Además se toman las siguientes suposiciones:

- El flujo es laminar desarrollado y está en estado estacionario.
- La transferencia de calor es por convección sin cambio de fase.
- Las propiedades del fluido son constantes menos la velocidad.
- La parte inferior del tubo es adiabático.
- Para determinar la resistencia del flujo en el tubo se lo hace en base a la ecuación de Darcy Weisbach, que describe las pérdidas de calor por fricción en los fluidos.
- El gradiente de presión de fluido caliente y fluido frío son iguales, no pueden ser diferentes pues ningún fluido circula de forma transversal
- Las conducciones de calor en dirección al movimiento del fluido son despreciables.

Con estos parámetros establecidos determinaremos la siguiente relación que nos indica como el calor absorbido en un tiempo t es igual al calor útil más la temperatura en el tanque, así como la temperatura ambiente. Como muestra la ecuación 2-5.

$$Q_{\text{absorbido}} t = Q_{\text{util}} t + \int_{t_1}^{t_2} U_{\text{perdido}} (T_{\text{tan}} - T_{\text{amb}}) A_{\text{tan}} dt$$

Para poder establecer la energía interna en el tubo se hace el uso de la conservación de la energía, así como la del momento monofásico del flujo.

$$Q_{\text{util}} = mf * c_p \Delta t$$

Ecuación 5-2:... Conservación de la Energía

En la dinámica de los fluido es muy común ver que existen pérdidas por la existencia de la fricción y es con la ayuda de la ecuación de Darcy Weisbach podemos encontrar dicha fricción (h_f). Para esto partiremos de la velocidad del fluido como ya lo dijimos esta variante y en el tubo tenemos:

$$Q = \int_A v dA$$

$$v = \frac{h_f}{4\mu L} (R^2 - r^2)$$

$$dA = 2\pi r dr ; \text{ Donde}$$

$$Q = \int_{r=0}^{r=R} \frac{h_f}{4\mu L} (R^2 - r^2) 2\pi r dr$$

$$Q = 2\pi \frac{h_f}{4\mu L} \int_{r=0}^{r=R} (R^2 - r^2) r dr$$

Desarrollando la ecuación matemáticamente tenemos:

$$Q = 2\pi \frac{h_f}{4\mu L} \left\{ \int_{r=0}^{r=R} R^2 r dr - \int_{r=0}^{r=R} r^3 dr \right\}$$

Integrando y simplificando tenemos:

$$Q = \frac{h_f \pi R^4}{8\mu L}$$

Ecuación 6-2: ...Relación Caudal Y Fricción

$$h_f = \frac{8\mu L Q}{\pi R^4} \text{ de donde } A = \pi R^2 \text{ reemplazando } A$$

$$h_f = \frac{8\mu L Q}{AR^2} \text{ de donde } v = \frac{Q}{A}$$

Entonces:

$$h_f = \frac{8\mu L v}{R^2}$$

Para el modelado las temperaturas de entrada y salida del tubo al vacío son estables y pequeñas por lo que se considera que el agua que circula o fluye por los tubos son laminares y estable, entonces al ser laminares dependen del número de Reynolds de donde la ecuación establece que:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 7-2:... Flujo Laminar

La viscosidad es un factor que relaciona con el número de Reynolds teniendo entonces:

$$Re = \frac{v\rho d}{\mu}$$

De donde v es la velocidad del fluido, ρ la densidad del fluido así como el diámetro interno del tubo d para tener el modelo nos ayudaremos de esta relación y así determinar la viscosidad.

$$\mu = \frac{fv\rho d}{64}$$

Ecuación 8-2: ...Viscosidad en función Reynolds

La viscosidad obtenida la reemplazamos y tendremos:

$$h_f = \frac{8 \frac{fv\rho d}{64} Lv}{R^2}$$

$$h_f = \frac{\rho v^2 f d L}{8 R^2}$$

$$R = \frac{d}{2}$$

$$h_f = \frac{\rho v^2 f d L}{8 \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$h_f = \frac{\rho v^2 f d L}{8 \frac{d^2}{4}}$$

$$h_f = \frac{\rho v^2 f d L}{2 d^2}$$

$$h_f = \frac{\rho v^2 f L}{2 d}$$

La velocidad del caudal se lo determina por la relación del volumen y del área del tubo en el tiempo, a su vez el volumen es la relación de masa y densidad, con lo dicho se reemplaza en la ecuación.

$$v = \frac{v}{At} = \frac{\frac{m}{\rho}}{At} = \frac{m}{\rho At}$$

$$f = \frac{\mu 64}{v\rho d}$$

$$h_f = \frac{\rho v^2 \left(\frac{\mu 64}{v\rho d}\right) L}{2 d}$$

$$h_f = \frac{v\mu L 64}{2 d^2}$$

$$h_f = \frac{v\mu L 32}{d^2} = \frac{\mu L 32 \frac{m}{\rho A t}}{d^2} = \frac{\mu L m 32}{\rho A t d^2}$$

Durante todo el día se tiene que existe una diferencia pequeña de temperatura fría y caliente lo que genera que también exista un diferencial de densidad, en donde se involucra el coeficiente de expansión térmica normalizada del agua y la densidad media del mismo líquido.

$$\Delta\rho \approx \rho_{med}\xi\Delta T$$

Para el modelo lo que se desea es encontrar la razón de flujo de masa por convección pues es como un colector de tubos al vacío cumple con su principio de funcionamiento. Para lo que la densidad desempeña un papel fundamental pues es la que varía según la temperatura que irradie el sol por lo que es conveniente y por motivos de cálculo asumir que la razón de masa de flujo es igual a la diferencial de densidad, y con la ayuda de la ecuación del momentum en donde interviene la altura del tanque, la gravedad entonces tendremos que: (César, 2015, p.100)

$$h_f = \frac{\rho\left(\frac{m}{\rho A t}\right)^2 f L}{2d}$$

$$h_f = \frac{\rho \frac{m^2}{\rho^2 A^2} f L}{2d} = \frac{f L m^2}{2d\rho A^2}$$

$$\rho_{med}\xi\Delta T g H = \frac{f L m^2}{2d\rho A^2}$$

Despejando la masa del fluido tendremos la relación:

$$m^2 = \frac{\rho_{med}\xi\Delta T g H 2d\rho A^2}{f L}$$

Trabando matemáticamente en la ecuación tenemos:

$$m = \sqrt{\frac{\rho_{med}\xi\Delta T g H 2d\rho A^2}{f L}}$$

Si reemplazamos el flujo de masa en la ecuación de la energía en un fluido, añadimos el ángulo de inclinación del colector y trabajamos la ecuación matemáticamente tendremos que:

$$q = c_p m \Delta T$$

$$q = c_p m \Delta T = c_p \Delta T (\rho_{med}\xi g 2d\rho A^2)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\Delta T H}{f L}\right)^{\frac{1}{2}}$$

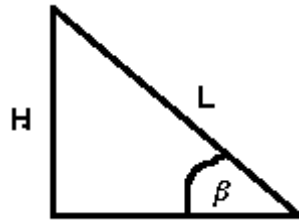


Figura 2-2: Ángulo de inclinación

Realizado por: Morayma Cuji 2017

$$\sin \beta = \frac{H}{L}$$

$$q = c_p \Delta T (\rho_{med} \xi g 2 d \rho A^2)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\Delta T \sin \beta}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$q = c_p \Delta T^{\frac{3}{2}} (\rho_{med} \xi g 2 d \rho A^2)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sin \beta}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 9-2:... Calor perdido

Para establecer el modelo era necesario conocer en calor absorbido y el calor perdido para determinar el calor requerido o final que es el que obteniendo finalmente la siguiente ecuación:

$$Q_{final} = Q_{absorbido} + Q_{perdido}$$

$$q_{final} = \tau \alpha * I * A + c_p \Delta T^{\frac{3}{2}} (\rho_{med} \xi g 2 d \rho A^2)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sin \beta}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 10-2: Modelo del colector solar

2.1.1. Dimensionamiento del colector

Para determinar que colector usar o cuantos hay que tener algunos aspectos en consideración como la cantidad de energía o agua caliente para el proceso. A si como la cantidad de radiación que existe para lograr obtener dicha energía. Para los cálculos he usado como referencia a la ciudad de Riobamba.

A diario necesitamos 70 litros de agua caliente pues es la cantidad que tiene la olla doble fondo a estos los conoceremos con cd (litros/día).

Para la superficie en metros cuadrados haremos el uso de la siguiente expresión:

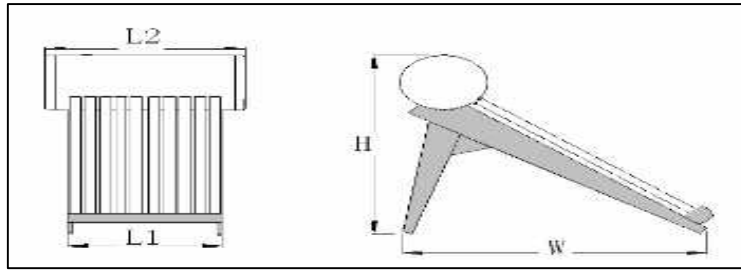


Figura 3-2: Dimensiones Colector

Fuente: (Ficha técnica. Amordad)

Tabla 3- 2: Dimensiones del colector según el número de tubos.

	16 Tubos	18 Tubos	20 Tubos	24 Tubos	30 Tubos
Capacidad ACS	133L	150L	165L	200L	250L
L1	1280	1440	1600	1920	2400
L2	1400	1560	2040	2040	2520
W	1670	1670	1670	1670	1670
H	1780	1780	1780	1780	1780
Superficie de absorción m^2	1.28	1.44	1.61	1.92	2.40

Fuente: (Ficha técnica. Amordad)

Realizado por: Morayma Cuji 2017

$$superficie = cd * \frac{T_a - T_e}{I_h} * k * n$$

$$n = \frac{calor\ absorbido}{calor\ generado} * 100 = 0.798 = 79.8\%$$

$$superficie = 70 * \frac{60 - 10}{481.9} * 1.3 * 0.798 = 7.534m^2$$

Dónde:

cd: capacidad diaria

T_a : Temperatura de acumulación en el tanque (60° C)

T_e : Temperatura entrada o ambiente (10° C)

I_h : Irradiación media en Riobamba

Para una inclinación de entre 35 y 45 grados se usa un K de 1.3.

El colector escogido tiene las siguientes dimensiones (1.42x2.04) m^2 .

$$superficie = 70 * \frac{60 - 10}{481.9} * 1.3 * 0.798 = 7.534m^2$$

Ecuación 11-2: Área del colector

$n_{\text{colectores}} = \frac{7.534}{(1.42 \times 2.04)} = 2.60 \approx 3$ Se debe instalar 3 colectores solares de 200L de acumulación en el tanque.

2.2. Colectores existentes en el mercado

THERMOMAX

Los colectores solares de tubo de vacío del fabricante británico, líder europeo en esta tecnología, **Thermomax Ltd.** constituyen el “estado del arte” en colectores de máximo rendimiento y factor de captación y aprovechamiento incluso en días sin sol. Están constituidos por tubos colectores especialmente diseñados para obtener gran rendimiento en todo tipo de climas.

El resistente vidrio de boro silicato junto con la duradera unión vidrio – metal para mantener el vacío, garantizan una gran seguridad en el funcionamiento y una prolongada vida útil. La construcción modular asegura un transporte sencillo y unos tiempos de montaje breves. Los colectores están homologados según EN –12975-2 por *SPF* (Tn°.C456) y por el INTA / GPS 8072.

Características de los colectores de tubo de vacío Thermomax

- Alto rendimiento, incluso en condiciones atmosféricas adversas, debido al aislamiento al vacío.
- Gran eficacia de los tubos colectores de vacío y de los absorbedores con recubrimiento de titanio solar de gran selectividad.
- Facilidad de instalación. Cada tubo puede ser instalado individualmente.
- Mantenimiento mínimo.
- Elevada duración y fiabilidad, gracias a la alta calidad de los materiales usados en el proceso de fabricación.
- Colectores de tubo de vacío con opciones de superficie de captación de 2 y 3 m².

La tecnología del tubo de calor AMORDAD “Heat Pipe”:

En este tipo de colectores el intercambio de calor se realiza mediante la utilización de un tubo de calor, su morfología y modo de funcionamiento son:

Consiste en dos tubos concéntricos de borisilicato endurecido, entre los cuales se ha hecho el vacío, sobre la superficie exterior del tubo interno, lleva la capa absorbente altamente selectiva que atrapa la radiación incidente dejando escapar solamente un 5% de pérdidas, gracias al excelente aislamiento que le proporciona el vacío, independientemente de la climatología exterior, transfiriendo este calor al tubo de calor que se encuentra en su interior, dentro de ese tubo de cobre se encuentra el fluido vaporizante (mezcla de alcohol y agua destilada), cuando se calienta este se evapora absorbiendo el calor latente de vaporización. Este vapor se desplaza hasta alcanzar la parte del tubo que se encuentra a menor temperatura, produciéndose allí su condensación y la consiguiente liberación del calor latente asociado a este cambio de estado. El líquido retorna debido a la acción de la gravedad y el ciclo de evaporación- condensación se repite.

A los tubos de calor se les suele llamar los “superconductores” del calor, ya que cuentan con una capacidad calorífica muy baja y una conductividad excepcional (miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). Su uso es muy extendido y se pueden encontrar tubos de calor en procesos industriales, ordenadores de bolsillo, vehículos espaciales, etc.

Entre las características principales de los colectores de vacío con tubo de calor, cabe destacar las siguientes:

- 1- Sistema indirecto: El intercambio de calor se realiza, sin contacto directo entre el fluido caloportador y el agua de consumo, lo que los hace particularmente adecuados en áreas con cualidades desfavorables del agua.
- 2- Función diodo: La transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el fluido caloportador, y nunca al revés.
- 3- Limitación de temperatura: El ciclo de evaporación-condensación tiene lugar mientras no se alcance la temperatura crítica del fluido vaporizante, evitando así los riesgos de un aumento incontrolado de la temperatura en el interior de los tubos.

Estas características eliminan la necesidad de utilizar complejas unidades de control en el sistema y quedando así garantizada la seguridad del mismo.

2.3. Modelamiento del sistema auxiliar

He escogido como sistema auxiliar un calefón a gas pues es capaz de calentar el agua de manera casi instantánea esto me ayudara a abastecer de agua caliente en caso de ser necesario y no permitir que la leche se eche a perder cortando su punto de pasteurización. Para esta sección primero se toma dos aspectos para el modelado por un lado está la mecánica del fluido y por otra la transferencia de calor la misma que encontraremos con la ayuda de la continuidad, momento lineal y la conservación de la energía.

En este caso asumiré que el flujo en estrado estacionario es turbulento y la ecuación $k - \varepsilon$ pues es un modelo que trabaja solo con condiciones iniciales y de control y para el gas un flujo laminar en ambos casos del agua y del gas sus propiedades son constantes datos que nos facilitara para el modelado del sistema auxiliar.

Como los calefones en su interior poseen un serpentín y es donde ocurre el cambio de calor ocupare la ecuación de la continuidad.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

Ecuación 1-0: Continuidad

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right\} + \rho g_i \beta (T - T_0) + S$$

Ecuación 2-0: Momento lineal

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} + G - \rho \varepsilon$$

Ecuación 3-0: Energía cinética tub respecto k

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_s} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right\} + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$$

Ecuación 4-0: Energía cinética tub respecto E

Dónde:

G: producción de energía térmica turbulenta.

μ_t : Viscosidad turbulenta.

k_t : Conductividad térmica turbulenta

$$G = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} = \nabla \cdot (\mathbf{v} \cdot (\rho E + \mathbf{p})) = \nabla \cdot (\mathbf{k}_{eff} \nabla T)$$

$$k_{eff} = k + k_t$$

$$E = h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

Para la potencia del calefón en un determinado tiempo t lo hare con la ecuación de la energía la cual se muestra a continuación:

$$P \cdot t = C_p m \Delta T$$

Dónde:

P: potencia del calefón

t: tiempo para que se caliente el agua

m: masa del agua

C_p : Calor específico

ΔT : Variación de temperatura la del suministro y confort.

El sistema solar cubrirá un 85% pero para cubrir lo que es el 15% se usara el gas entonces es necesario identificar cuantos cilindros se necesitaran mensualmente los cuales se usaran cuando exista días sin radiación suficiente, consultando en la articulo publicada por el doctor Rigoberto Muñoz dice que 15 cilindros se usan mensualmente haciendo una regla de 3 tendremos.

$$\text{Gas} = \frac{15 \text{ Cilindros GLP} \times 15\%}{100\%} = 2.25 \approx 2 \text{ Cilindros mensuales.}$$

$$2 \text{ cilindros mensuales por } 365 = 730$$

$$730 * 1.60 = 1169 \text{ dolares anuales para el sistema auxiliar}$$

2.4. Impacto ambiental emitido por GLP

Para determinar el grado de CO2 emitido por el sistema auxiliar se hace el uso de un dato de conversión 2.96 kg CO2/kg, claro que para ello se debe tener el valor del calorífico del gas.

Poder calorífico

$$H_c = 49789.6 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$E_{req} = \frac{\text{demand}}{n} = \frac{12358170}{0.88} = 14043375 \text{ KJ}$$

$$\text{masa}_{GLP} = \frac{E_{req}}{H_c} = \frac{14043375}{49789.6} = 282.05 \text{ Kg}$$

$$\text{Emision de CO}_2 = 2.96 * \left(\text{kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kg de GLP}} \right) * \text{kg de GLP}$$

$$Emision\ de\ CO2 = 2.96 * \left(kg \frac{CO2}{kg\ de\ GLP} \right) * 282.05\ kg\ de\ GLP$$

$$Emision\ de\ CO2 = 834.89\ kg\ de\ CO2\ anuales$$

2.5. Modelamiento del sistema térmico en la olla pasteurizadora

Para continuar con el estudio es necesario realizar el modelo del sistema térmico al momento de realizar la pasteurización para ello necesita un control de temperatura en la olla pasteurizadora ya así tener el correcto funcionamiento de la automatización del sistema híbrido. (SIO, 2015, p.56)

2.5.1. Control de temperatura

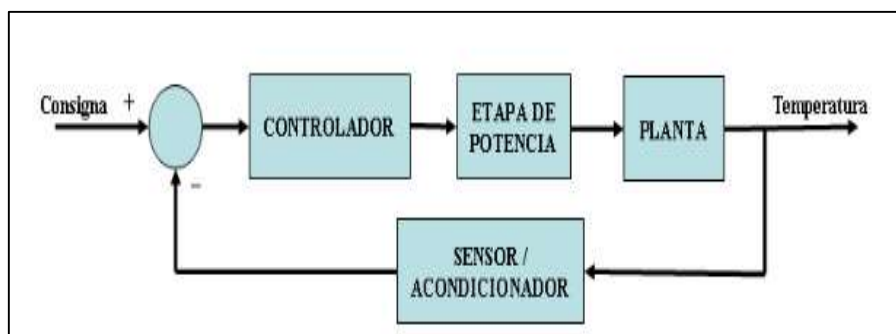


Figura 1-0: Control de temperatura

Fuente: Ings. Mario Perez, A. P. (2008).

La variable a controlar es la temperatura de la leche que se encuentra almacenada en una olla pasteurizadora o doble fondo, como base para este prototipo de control tenemos un sensor de temperatura.

El volumen de la leche varía entre los 350 y 400 litros ya que es lo que comúnmente se recolecta en un día, para elevar la temperatura se ingresa el agua caliente por la olla doble fondo alcanzando los 70 litros y se calienta la misma por un tiempo aproximado de 2 hora y media alcanzando la olla los 72 grados y la leche eleva su temperatura hasta los 65 grados que es cuando se elimina las impurezas que contiene cuando esta cruda.

En la olla doble fondo cuando se alcanzado la temperatura requerida se desfoga el agua caliente y se ingresa el agua fría circulando por un trascurso de una hora cumpliendo así con el cambio térmico.

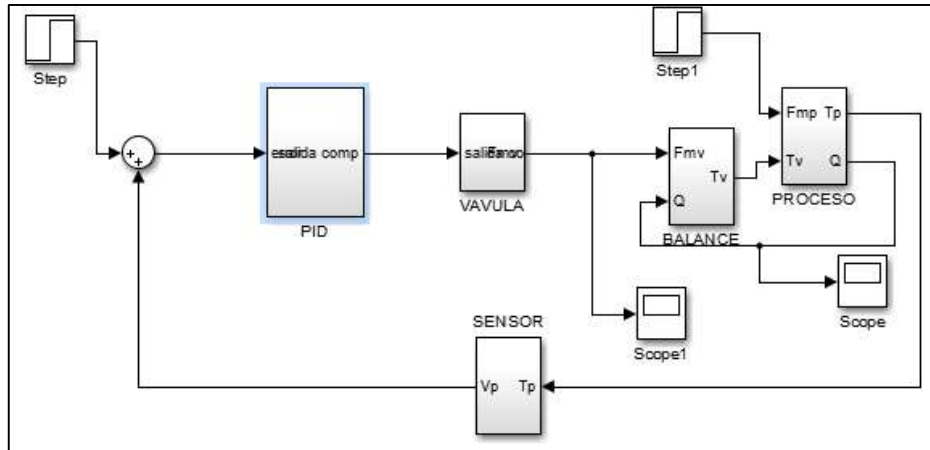


Figura 2-0: Control de temperatura

Realizado por: Morayma Cuji 2017

2.5.1.1. *Suposiciones del sistema*

La variación de densidad y calor específico no son significativos en comparación a la temperatura, la temperatura de la sección 1 es mayor a la de la sección 2 y existen pérdidas del calor debido a las condiciones del ambiente.

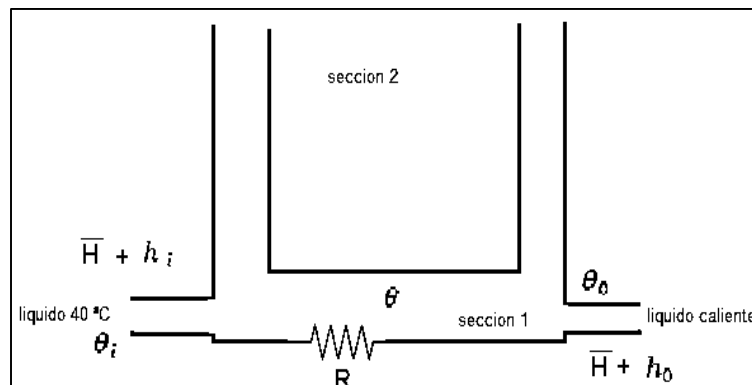


Figura 3-0: Comportamiento del sistema sección 1

Realizado por: Morayma Cuji 2017

θ_i = temperatura en estado estable del liquido que entra °C

θ_0 = temperatura en estado estable del liquido que sale y se mantiene °C

G = velocidad de flujo del liquido en estado estable kg/seg

c = calor específico del líquido kcal/kg °C

M = masa del líquido en la sección 1 Kg

R = resistencia térmica °C seg/kcal

C = capacitancia térmica $\frac{\text{kcal}}{^\circ\text{C}}$

H_i = entrada del flujo del calor en estado estable $\frac{\text{kcal}}{\text{seg}}$

Se supone que la temperatura de entrada es constante pues es la que nos entrega el colector solar y h_i representa un cambio pequeño en flujo de calor de entrada por lo que el flujo de calor de salida cambiara gradualmente H a $H + h_o$.

La temperatura del líquido que sale también cambiará de θ_0 a $\theta_0 + \theta$. Para este caso, h_o , C y R se obtienen, respectivamente como:

$$\begin{aligned}h_o &= Gc\theta \\C &= Mc \\R &= \frac{\theta}{h_o} = \frac{1}{Gc}\end{aligned}$$

Ecuación 1-0: Resistencia térmica

La ecuación diferencial para este sistema es:

$$Cd\theta = (h_i - h_o)dt$$

En un modelo real nos encontraremos que la temperatura del líquido que entra puede fluctuar y actuar como una perturbación de carga para lo cual se usa un compensador para que elimine esas fluctuaciones.

Reemplazamos los datos y obtenemos la función de transferencia

$$\begin{aligned}Cd\theta &= (Gc\theta_i - h_o)dt \\C \frac{d\theta}{dt} &= Gc\theta_i - h_o\end{aligned}$$

Vemos que la constante de tiempo es RC o M/G segundos La función de transferencia que relaciona h con h_i se obtiene mediante:

$$\begin{aligned}RC &= \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_i \\ \frac{\vartheta(s)}{\vartheta_i(s)} &= \frac{1}{RCs + 1}\end{aligned}$$

Ecuación 2-0: Función transferencia térmica

Donde la resistencia térmica se saca en base a la energía y por ende por la potencia requerida sabremos que resistencia es la adecuada.

La energía que requerimos a diario es de 15.82 MJ por ende tenemos:

$$m = \rho v$$

$$m = \frac{1 \text{ Kg}}{\text{Litro}} * 70 \text{ Litros} = 400 \text{ kg}$$

Variación de la energía calorífica está determinada por:

$$\Delta Q = mc\Delta T$$

$$\Delta Q = (70 \text{ Kg})x\left(4180 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}\right)x(72^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) = 9363200$$

c= calor específico del agua

Finalmente tenemos que:

$$\text{potencia} = \frac{\text{energia}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{potencia} = \frac{9363200}{9000} = 1040.36 \text{ w}$$

Para la capacitancia térmica tendremos que es igual al calor sobre los grados centígrados entonces tendremos **c= 14.44 J/°C.**

2.5.1.2. Compensación del sistema

En la etapa de compensación se establece una ganancia para para llevar al sistema a un comportamiento deseado y satisfactorio. Para la compensación del sistema se usa un compensador en adelante que no es más que colocar una ganancia en serie al sistema con los siguientes parámetros:

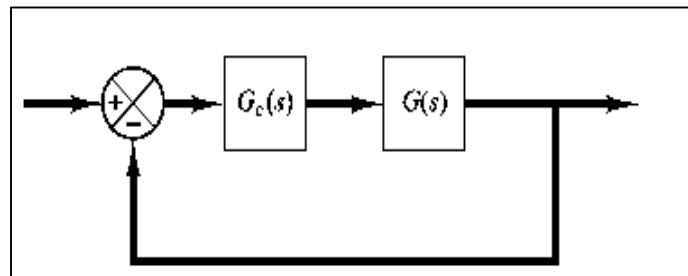


Figura 4-0: Compensación en Matlab

Realizado por: Morayma Cuji 2017

$$c(tp) = 1.42$$

$$mp = \frac{c(tp) - c(\infty)}{c(\infty)} * 100$$

$$mp = \frac{1.12 - 1}{1} * 100 = 12\%$$

$$mp = e^{-\frac{\varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} * \pi}$$

Reemplazamos mp por 42% para poder encontrar ε

$\varepsilon=0.5$

Se utiliza un tiempo $T=2$ seg para la ejecución

$$T = \frac{4}{\varepsilon w_n} \text{ despejamos } w_n$$

$$w_n = \frac{4}{2 * \varepsilon} = 4$$

Aplicando la fórmula de compensador en adelanto tenemos:

$$Kv = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\left(\frac{5.01}{s + 4} \right) \left(k \frac{Ts + 1}{sTs + 1} \right) \right)$$

Ecuación 3-0: Compensador en adelanto

$$170.15 = 1.25 K$$

K=136.12 es la ganancia que se aplica al sistema.

2.5.1.3. Sensor



Figura 5-0: Termocupla tipo J

Fuente: www.unet.edu.ve/Teoria_Instrucontrol/termopares

Capta la variable del proceso a través del elemento primario y la transmiten. Asimismo se emplean señales electrónicas de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA c.c.

T_{min} = Temperatura mínima que mide el controlador T_{max} = Temperatura máxima que mide el controlador
Campo de medida = $T_{min} - T_{max}$

0%..... T_{min}

100%..... T_{max}

El sensor que se utilizara es una termocupla de tipo J pues tiene las siguientes características necesarias para este proceso:

Temperaturas limite es de 0 a 750 grados centígrados

Voltaje que entrega es de $10 \text{ mV}/^{\circ} \text{C}$

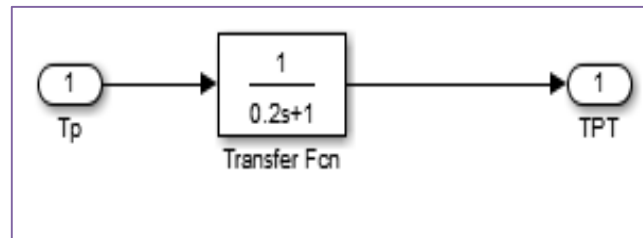


Figura 6-0: Función de transferencia

Realizado por: Morayma Cuji 2017

2.6. Acondicionamiento de la señal:

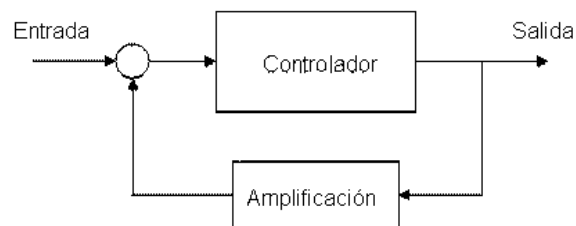


Figura 7-0: Acondicionamiento de señal

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Una desventaja podría ser que la termocupla debe tener un acondicionamiento de señal. Una termocupla tipo J tiene un rendimiento proporcional de $10 \text{ mV}/^{\circ} \text{C}$ como es un voltaje pequeño se lo debe amplificar para esto se usa un integrado de referencia AD594/AD595 pues la ganancia de este es arreglada en el momento de fabricarlas para compensar las características a los 25°C con esta temperatura de calibración nos entrega un voltaje de $51.70 \text{ mV}/^{\circ} \text{C}$. La ganancia que emplea un AD594 es de 193.4 y para un AD595 es de 247.3.

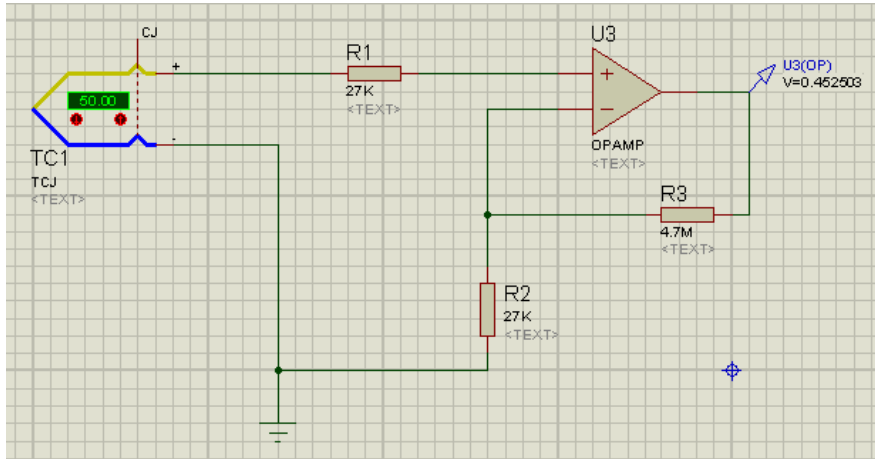


Figura 8-0: Acondicionamiento Proteus

Realizado por: Morayma Cuji 2017

En un sistema de control existen varias entradas para ser controladas entonces se debe diseñar un sistema que nos ayude a modificar ciertos parámetros en la planta, para que las señales antes mencionadas vuelvan a su estado normal ante cualquier variación para esto se realiza un controlador puede ser de tipo PI (controlador proporcional integral), PD (controlador proporcional derivativo) o PID en el sistema se usara un PID (controlador proporcional integral derivativo).

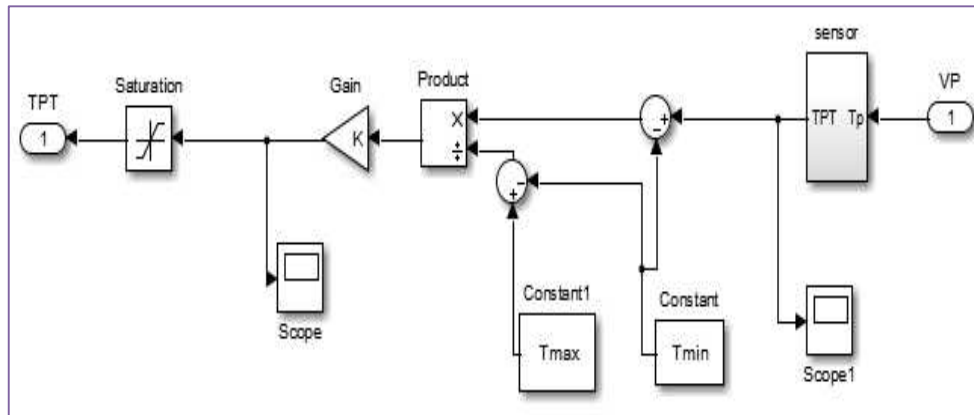


Figura 9-0: Acondicionamiento señal

Realizado por: Morayma Cuji 2017

2.6.1.1. Controlador PID

Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. El algoritmo del control PID (controlador proporcional integral derivativo) consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo.

Teóricamente tiene la siguiente forma:

$$s(t) = K_p \left(1 + \tau_i D + \frac{1}{\tau_d D} \right) e(t)$$

Para el modelamiento se usa cada etapa o componente del PID (controlador proporcional integral derivativo) de la siguiente manera:

ecuacion proporcional.

$$SC(t) = K_p e(t)$$

Ecuacion integral

$$SC(t) = \int e(t)dt$$

Ecuacion integral proporcional

$$SC(t) = K_p \left(1 + \tau_d \frac{d}{dt} \right) e(t)$$

Salida del controlado y a la salida del mismo se multiplica por una saturacion.

$$\frac{Sc(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \tau_d(s) + \frac{1}{\tau_i} \right)$$

Ecuación 4-0: ...PID

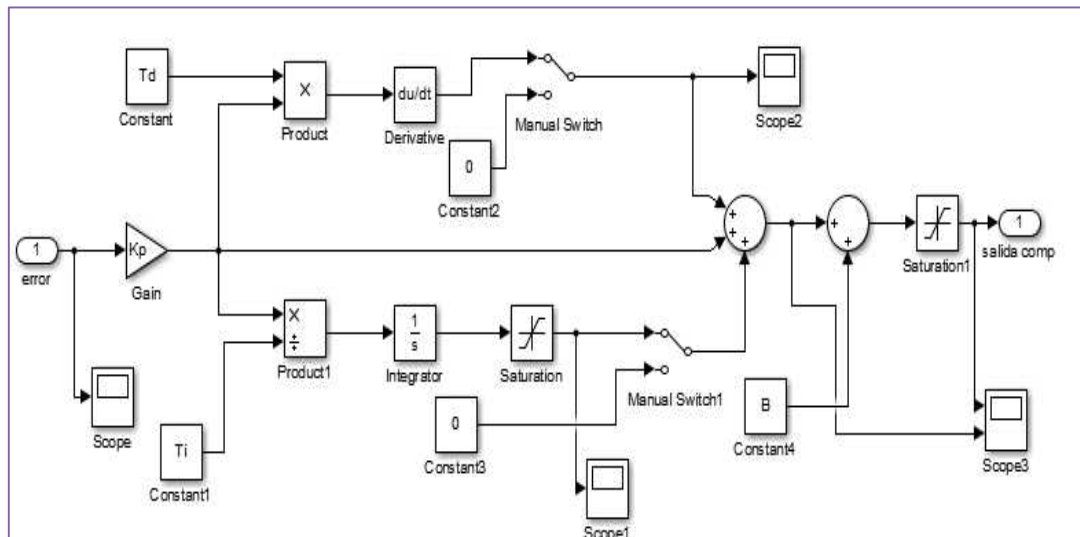


Figura 10-0: PID

Realizado por: Morayma Cuji 2017

2.7. Válvula

El elemento final de control, es la válvula de control y posee un servomotor. Puede ser neumático o eléctrico, el servomotor neumático posiciona el vástago de la válvula según el equilibrio entre un resorte calibrado y la señal neumática de 3 – 15 psi (0,2 –1 kgf/cm²). Es el más empleado por sus características sobresalientes en cuanto a robustez, par motor elevado, simplicidad, flexibilidad y precio. Pueden ser de acción directa, cuando al quedarse sin aire queda abierta y de acción inversa, cuando al quedarse sin presión de aire, queda cerrada. Las partes internas de la válvula, son las piezas internas desmontables que están en contacto directo con el fluido. Se suele

dar este nombre al obturador y a los asientos y en conjunto forman el órgano de control del caudal del fluido.

Partimos de la ecuación básica del cuerpo de una válvula

$$Q = C_v A \sqrt{\Delta P}$$

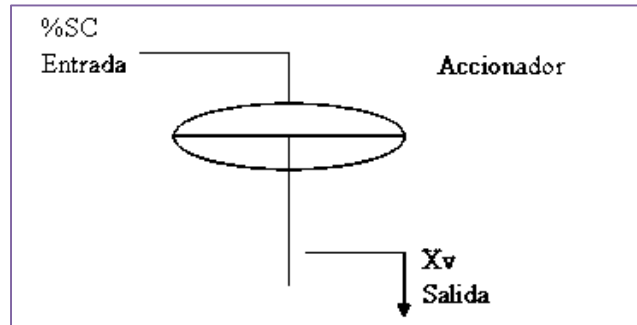


Figura 11-0: Estructura de la válvula

Fuente: Ings. Mario Perez, A. P. (2008).

$$\tau_v \frac{dX_v}{dt} + X_v = K_{va} * SC$$

$$\frac{X_v}{\%SC} = \frac{K_{va}}{\tau_v(D + 1)} \quad \text{area estimada } A = K_{va} K_v^{cev}$$

Ecuación 5-0: Válvula

Donde cev es los coeficientes exponenciales dados por las características de la válvula.

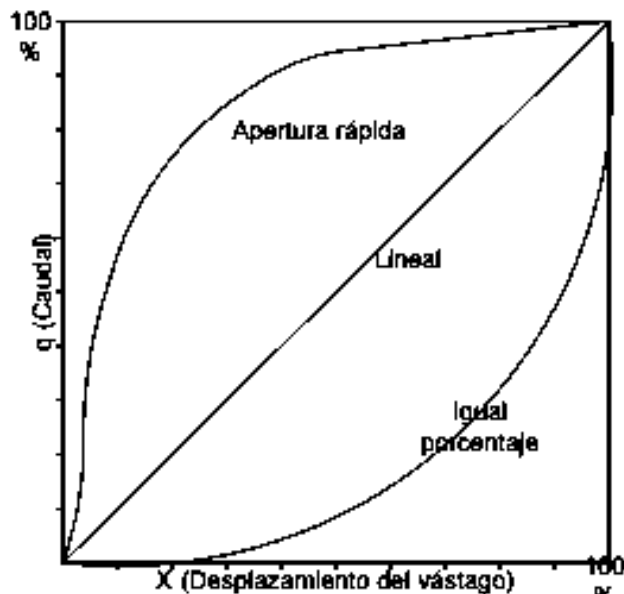


Figura 15-2: Curva característica de la válvula

Fuente: Ings. Mario Perez, A. P. (2008).

El flujo es directamente proporcional al desplazamiento de la válvula.

$q = K \cdot x$ (utilizada en la simulación).

Obteniendo la función de transferencia

$$FT = \frac{K_{va}}{T_v \cdot s + 1}$$

Funcion lineal y se multiplica por la ganancia que incluye el coeficiente de la valvula.

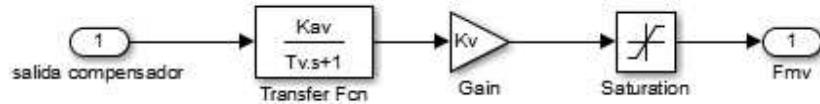


Figura 12-0: Válvula Simulink

Realizado por: Morayma Cuji 2017

2.7.1. *Proceso*

Para realizar el proceso en si se realizan las siguientes hipótesis:

Se hace el uso del Principio de Conservación de la energía para un Volumen de Control.

- Flujo másico que entra es igual al que sale.
- Densidad del producto constante ($\rho_p = \text{cte}$).
- Capacidad calorífica del producto constante ($C_p = \text{cte}$)
- La temperatura de salida se considera igual a la que está en el tanque homogéneamente mezclado.
- Flujo de calor que recibe el producto = q .

Principio de Conservación de la energía para un Volumen de Control.

Que nos dice que el fluido que entra y que sale tiene una cantidad de energía por masa

$$e = h + \frac{V^2}{2} + gz$$

Donde

V: es el volumen relativo del fluido

g: gravedad y z altura de igual manera se efectuará en el fluido q sale y además se añade los posibles fluidos de energía , el trabajo constante y el trabajo por un Psiton tenemos:

$$Q + W_{flecha} = \sum_{salida} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) ms - \sum_{entrada} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) ms + \frac{dE_{vc}}{dt}$$

Para nuestro caso asumimos que

$$m_{pe} = m_{ps} = m_p$$

$$\frac{V^2}{2} \cong 0$$

$$W_{flecha} \cong 0$$

$$gz \cong 0$$

$$Q = \sum hm_{salida} - \sum hm_{entrada} + \frac{dE_{vc}}{dt}$$

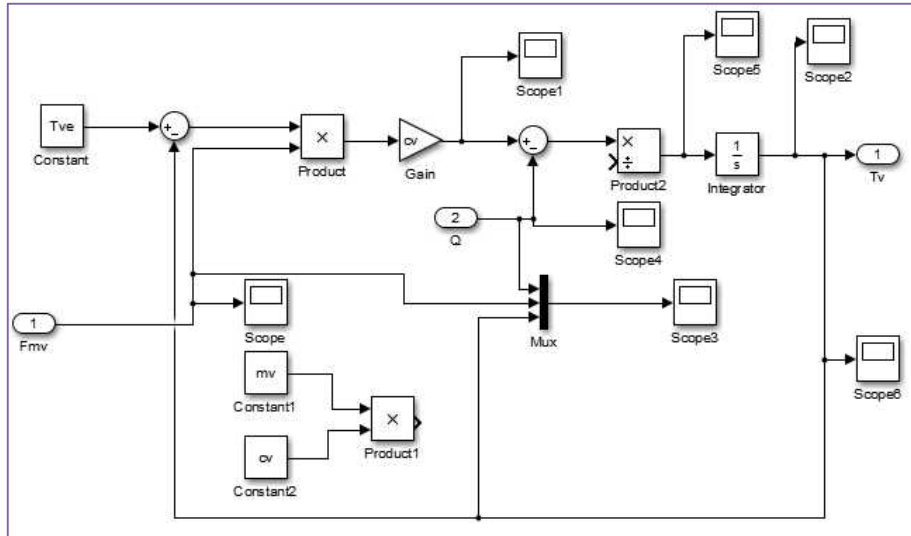


Figura 17-2: Balance de la energía que se encuentra en el tanque.

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Utilizando la I Ley tanto para el tanque como para el balance

$$E_{entra} - E_{sale} = E_{acumulada}$$

$$\sum q_{entra} - \sum q_{sale} = m_p c_p \frac{dT_p}{dt}$$

$$m_{pe} c_{pe} T_{pe} + UA(T_v - T_p) - m_{ps} c_{ps} T_{ps} = m_p c_p \frac{dT_p}{dt}$$

U= 0,901: coeficiente de transferencia de calor por convección y conducción.

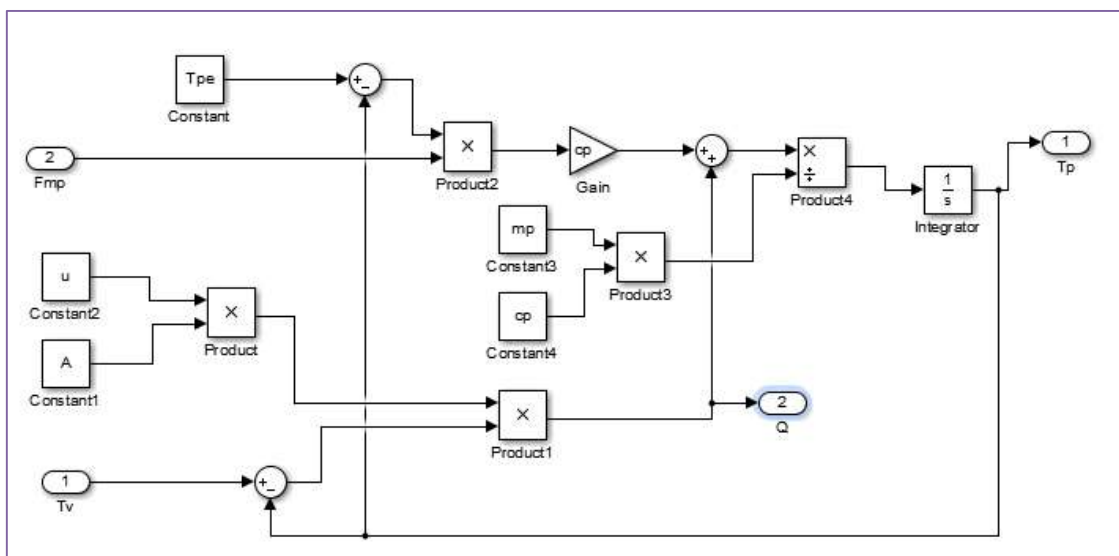


Figura18-2: Transferencia de calor por convección

Realizado por: Morayma Cuji 2017

2.8. Simulación de modo Scada del sistema de pasteurización de leche

Como su nombre lo dice un Scada es la supervisión control y adquisición de datos con la ayuda del Labview podre hacer una simulación que me acerca a cómo es que funcionará el sistema hibrido en la caso de que se desee implementarlo. Pues nos permite supervisar y controlar el funcionamiento a distancia de cualquier sistema o proceso en base a sistemas computacionales.

Para manejarlo de forma manual el sistema se hace el uso de un PLC el cual nos ayudara a activar o desactivar ya sea las válvulas dar marcha todo el sistema etc. Para la práctica se puede usar un PLC con conexión Modbus que es un protocolo Master/Slave el cual permite a un solo master realizar las acciones dependiendo de las peticiones.

Para la simulación primero creamos un nuevo proyecto en el cual se añadirá los controles personalizados usados en la simulación.

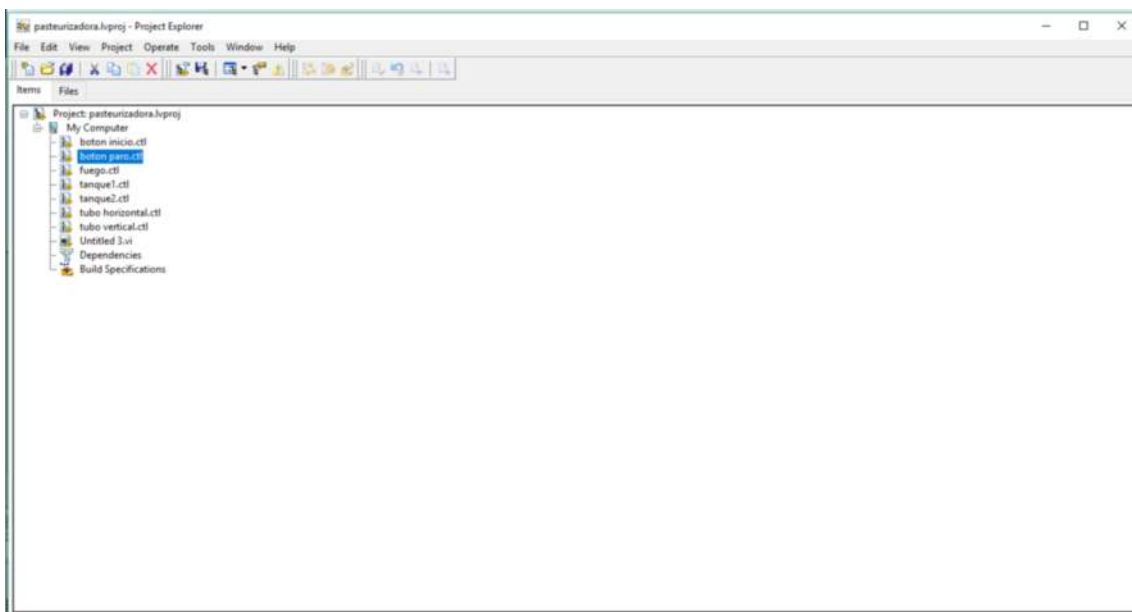


Figura 19-2: Ventana principal

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Los controles ya creados se los ubica en una ventana editable donde se los diseña con los respectivos parametros y los graficos para que sean mas orientados al proceso requerido co mo lo es los tanques, la olla, etc.

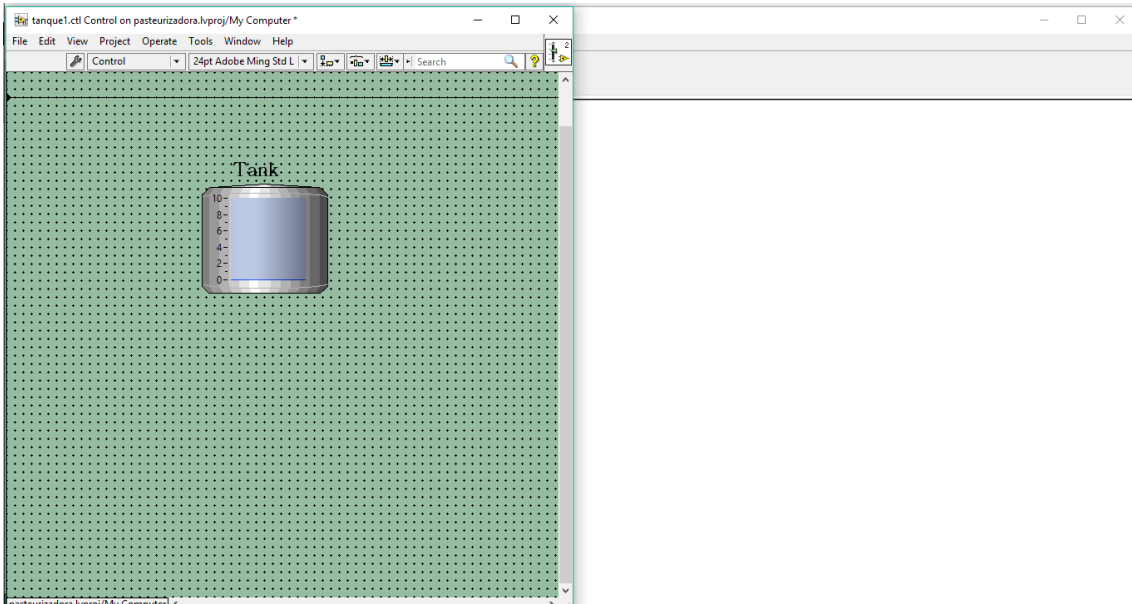


Figura 20-2: ...Ventana donde se ubican los controladores

Realizado por: Morayma Cuji 2017

En un blank se muestra como los controles ya estan personalizados y se los puede montar cada uno, siguiendo un grafset siendo el que nos permite seguir una serie de pasos a los que se asosian acciones, condiciones y transiciones.

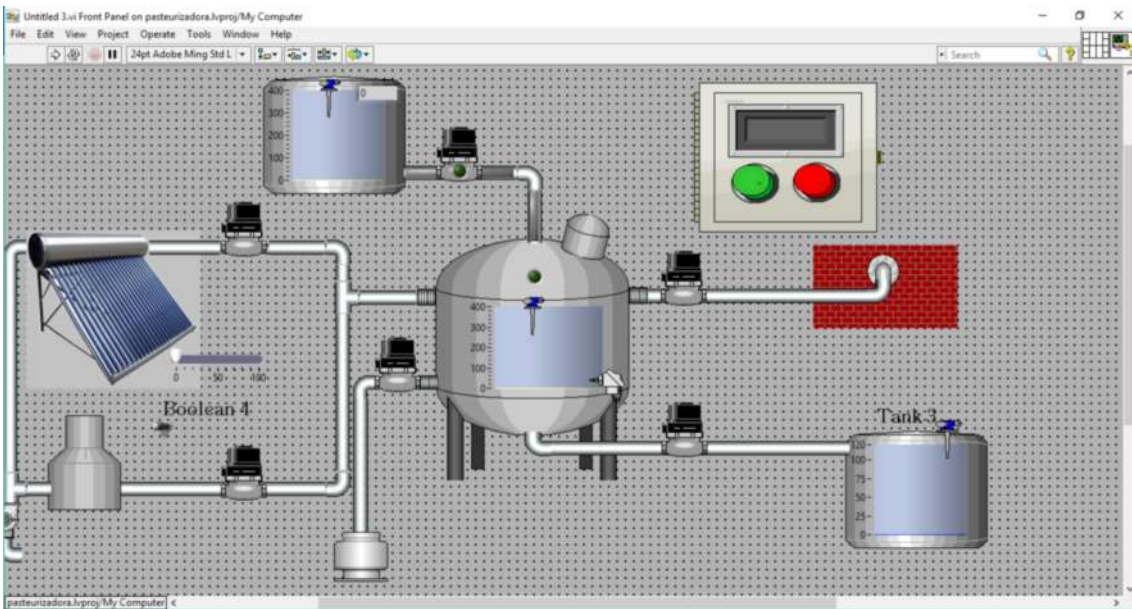


Figura 21-2:... Ventana de simulación Labview

Realizado por: Morayma Cuji 2017

La programación se realiza con un diagrama de bloques el cual realiza procesos uno a continuación de otro, cabe notar que dentro de cada proceso hay un bucle para realizar la animación mientras está en una de las etapas.

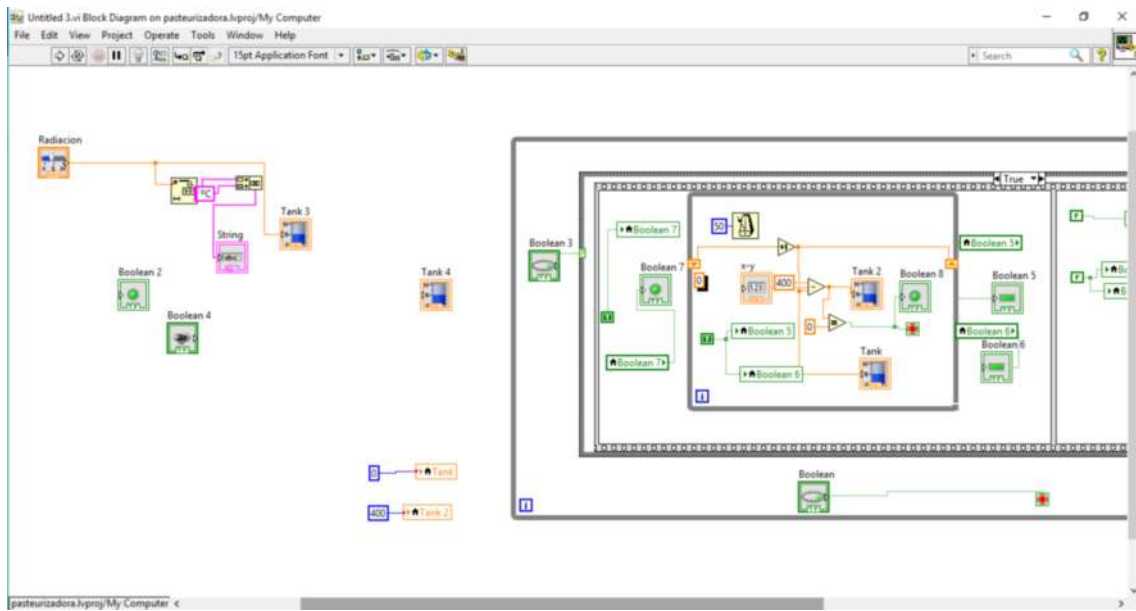


Figura 22-2: Programación tanques

Realizado por: Morayma Cuji 2017

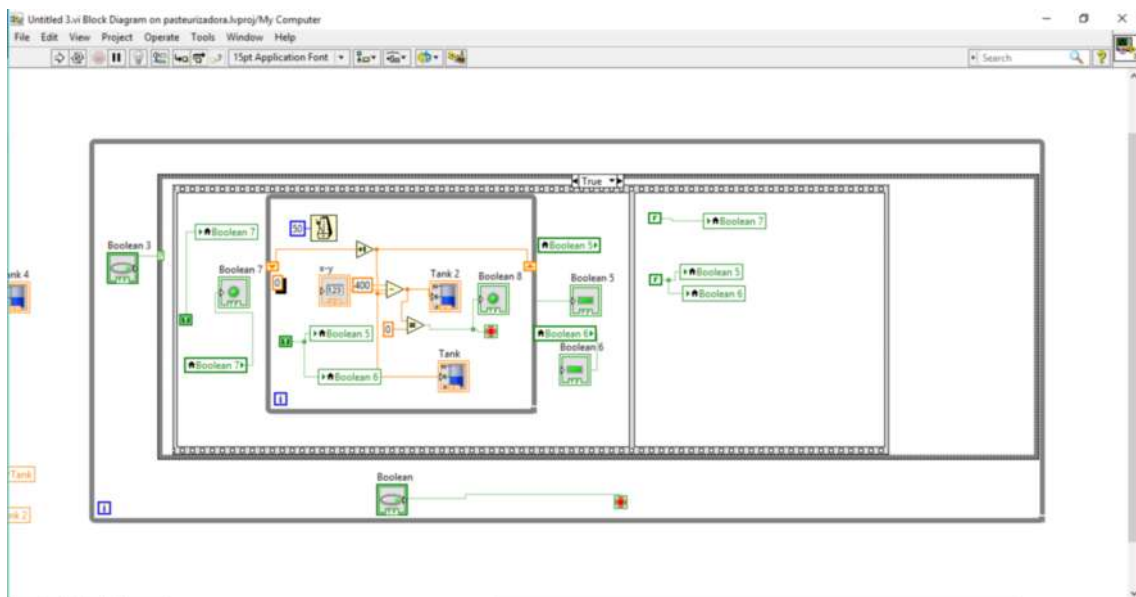


Figura 23-2: Programación controladores

Realizado por: Morayma Cuji 2017

La animación hace ver claramente el proceso de pasteurización desde el vaciado de tanques, la elevación y baja de temperatura. A continuación, realiza el vaciado y termina con el proceso de pasteurización.

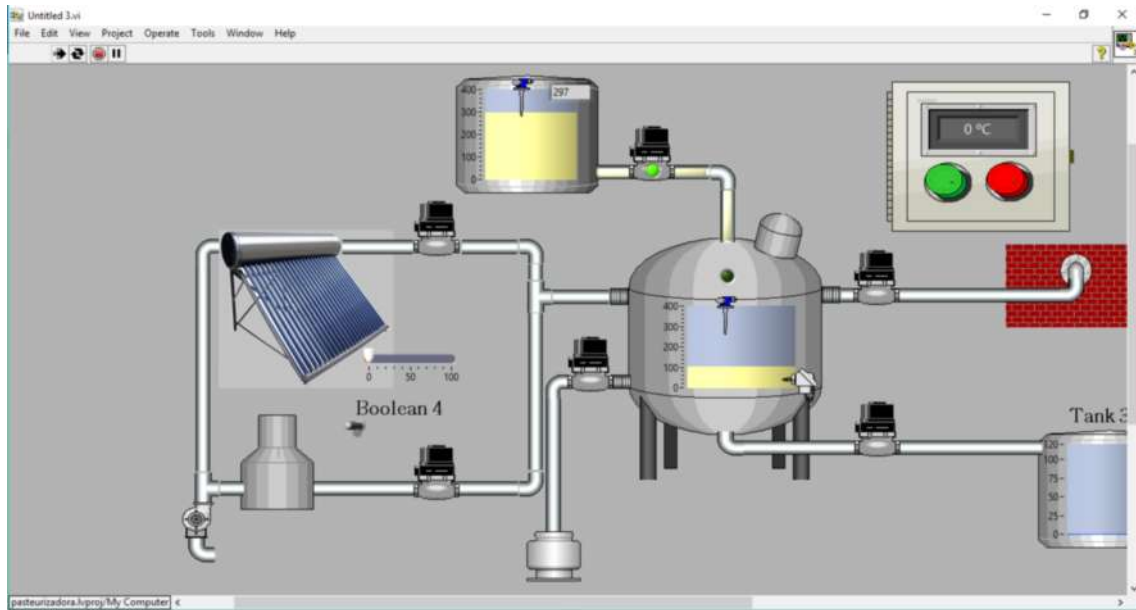


Figura 24-2: ...Simulación del proceso

Realizado por: Morayma Cuji 2017

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se describirán los resultados obtenidos en la modelación y simulación del todo el sistema tanto el sistema principal, así como en el sistema auxiliar, detallando cada elemento utilizado para el modelado del sistema híbrido para la pasteurización de leche y como es que nos ayudó para que el sistema funcione correctamente.

3.1. Análisis del sistema híbrido

El sistema híbrido está conformado por dos subsistemas:

- Sistema principal que funciona en un 85%.
- Sistema auxiliar que funciona en un 15% solo cuando sea necesario.

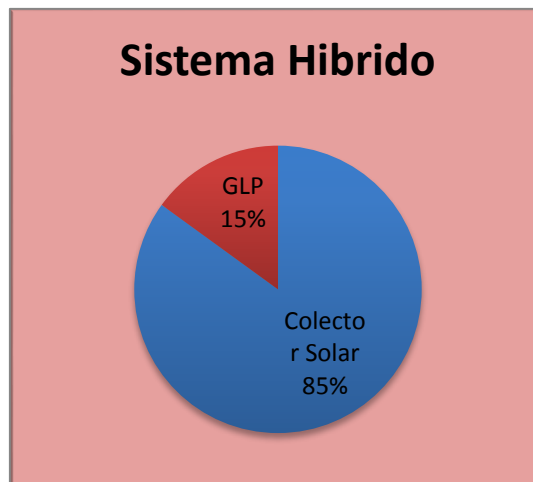


Figura 1-3: Porcentaje sistema Híbrido

Realizado por: Morayma Cuji 2017

3.1.1. Sistema principal

El 85% de energía es obtenido a partir del colector solar en la tabla 3-1 están establecidas las diferencias entre un colector plano y un de tubos al vacío, debido a la alta eficiencia y rendimiento he visto conveniente utilizar un colector de tipo tubo al vacío ofreciéndome versatilidad y facilidad de uso, además de un mantenimiento factible que se lo puede realizar sin tener conocimiento.

Tabla 1- 3: Ventajas y desventajas de los colectores.

Colector	Ventajas	Desventajas
Tubos al vacío	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protege de la corrosión y no presenta condensación haciéndolos fiables y duraderos. ✓ Son herméticamente cerrados con cristales altamente resistentes. ✓ El vacío disminuye las pérdidas por conducción y convección. ✓ No afecta el frío ni el viento pues, lo aísla del medio ambiente. ✓ Sencillos de instalar por su peso y tamaño. ✓ Son fáciles de montar y si se rompe o estropee un tubo es fácil de reemplazar. ✓ Por la forma de los tubos absorbe más radiación, más en el atardecer y amanecer. ✓ La acumulación de polvo y nieve es poca pues por la forma circular y su separación entre los tubos son más resistentes a los vendavales. ✓ Alcanza altas temperatura debido a que tiene pocas pérdidas de convección y conducción. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No resiste sobre presiones. ✓ Si un tubo se rompe deja de funcionar al contrario de un tubo calórico que si rompe el cristal en su interior sigue calentando. ✓ Precio un poco elevado aunque en la actualidad ya son más comerciales.
Planos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Construidos por una resistente caja metal sólida debidamente aislada. ✓ Son más baratos pues son más comerciales y uno de los más usados. ✓ Aprovecha la luz difusa incluso en días nublados. ✓ Fácil de montar se se tiene experiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presenta más condensaciones peor aún si se deteriora la junta entre el cristal y la caja. ✓ Al contener aire en su interior posee pérdidas por conducción y convección. ✓ En días de vientos su rendimiento baja considerablemente. ✓ Posee más corrosión interna por que el agua circula por los tubos. ✓ Por su forma tiende a recolectar más polvo e impurezas peor aún si existe nieve. ✓ Mantenimiento es más complicado.

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

Realizado por: Morayma Cuji 2017

El colector solar de tubos al vacío está estructurado por 20 tubos conectado entre sí, posee una capa exterior hecha de vidrio de color negro que permite mayor absorción de energía solar permitiendo que solo exista un 5% de pérdidas de calor, mientras que en el interior posee un tubo de cobre que es aquel que permite la transformación de energía solar a energía térmica.



Figura 2-3: Tuvo al Vacío

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

Los captadores solares al igual que cualquier maquina posee un rendimiento que no es más que la relación de la energía recibida con la energía devuelta, para determinar este rendimiento se lo hace cuando la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura media del fluido sea nula es decir el colector solo está a la temperatura ambiente los colectores por lo general tiene algunas especificaciones de fábrica que es casi común para todos y se detalla a continuación:

- El rendimiento en un captador es igual a 0.798
- El coeficiente lineal de perdidas térmicas es $2.81(W/m^2k)$
- Coeficiente cuántico de perdidas térmicas $0.038 (W/m^2k^2)$

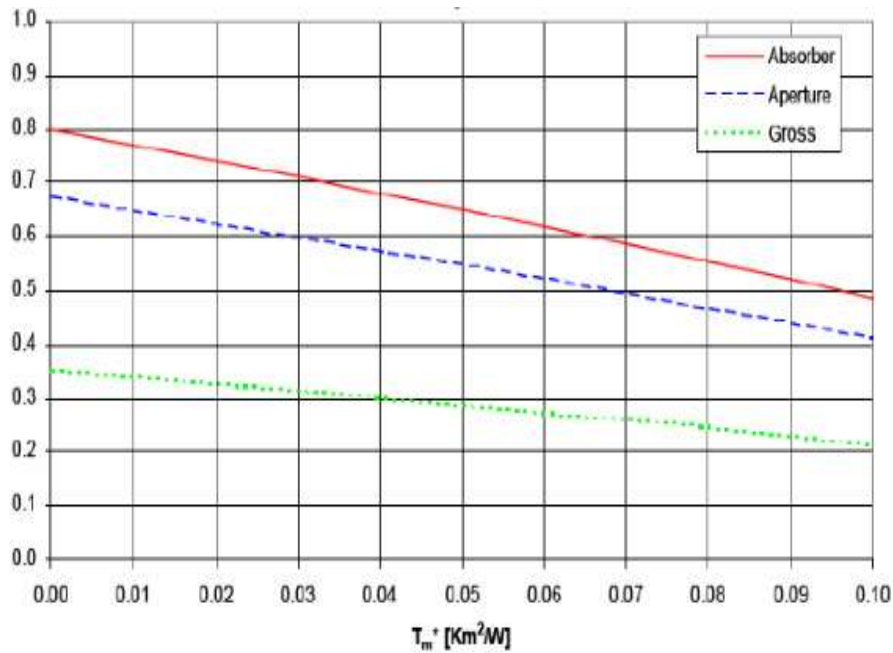


Figura 3-3: ...Rendimiento del colector solar

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

En la ilustración anterior podemos ver que el rendimiento a una radiación media los cuales nos indica que la curva de rendimiento es alta según el instituto de técnicas solares a nivel europeo según el documento número C762 del SPF (instituto para la técnica solar)

El ángulo de inclinación desempeña un papel muy importante al momento de realizar las instalaciones del colector solar, pues está determinado por las coordenadas geográficas ya que nos ayuda a que este perpendicular a la radiación solar,

El lugar de instalación para mi caso es en la ciudad de Riobamba la cual se encuentra a 2759 m al nivel del mar teniendo como coordenadas geográficas las siguiente Latitud: $1^{\circ} 39'58''S$, Longitud: $78^{\circ} 39'33'' O$ y se ha visto conveniente instalarlo a un ángulo de 30 grados, aunque este depende mucho del factor de ángulo pues es aquel que varía durante el día y las épocas del año.

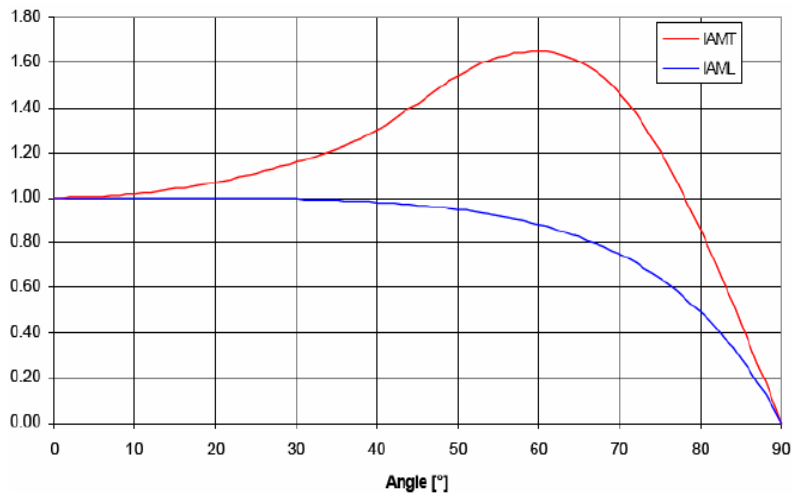


Figura 4-3: Curva del factor de ángulo

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

La Figura 3-4 nos indica como el factor del ángulo de inclinación tiene una curva significativa pues es lo que los fabricantes nos aseguran que la absorción de calor solar en horas pico es grande y durante todo el día captara por la forma del tubo es como aprovecha cada porcentaje de radiación.

3.2. Instalación del colector solar

En cuanto a la instalación de los 3 colectores se recomienda hacerlos en paralelo y a una distancia que permita que no ocupe mucho espacio teniendo como referencia el ángulo de inclinación de modo que no se cubran unos con otros.

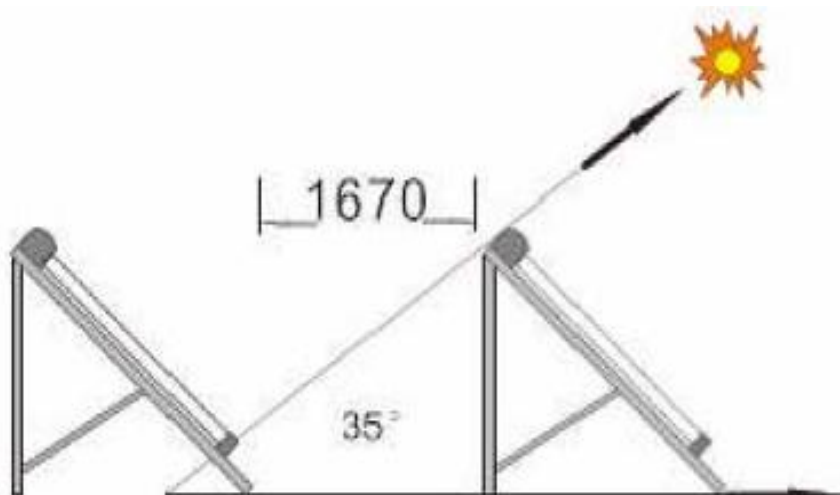


Figura 5-3: Colectores en paralelo

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

Tiene un punto común para todas las entradas y salidas de los captadores, permitiendo que la temperatura de entrada sea la misma en todos los captadores, así como la temperatura de salida, entonces se trabajaría como si solo se tuviera un captador.

Por lo que el rendimiento tiene un mismo punto en su curva e hidráulicamente nos permite obtener un caudal total del grupo que equivale a la suma de todos los caudales de los captadores instalados.

Como dato adicional puedo decir que las conexiones en serie son poco usadas pues estas aumentan la temperatura haciendo que el rendimiento baje considerablemente, si hablamos del caudal es como si tuviéramos un solo captador, pero con temperatura alta por lo que se usa solamente en casos particulares.

En la figura 3-6 nos muestra el porcentaje de radiación que se ha tomado en la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) para determinar la radiación mensual se tomó muestras diarias cada 10 horas de radiación global y así establecer un promedio anual de 481.900859 W/m^2 .

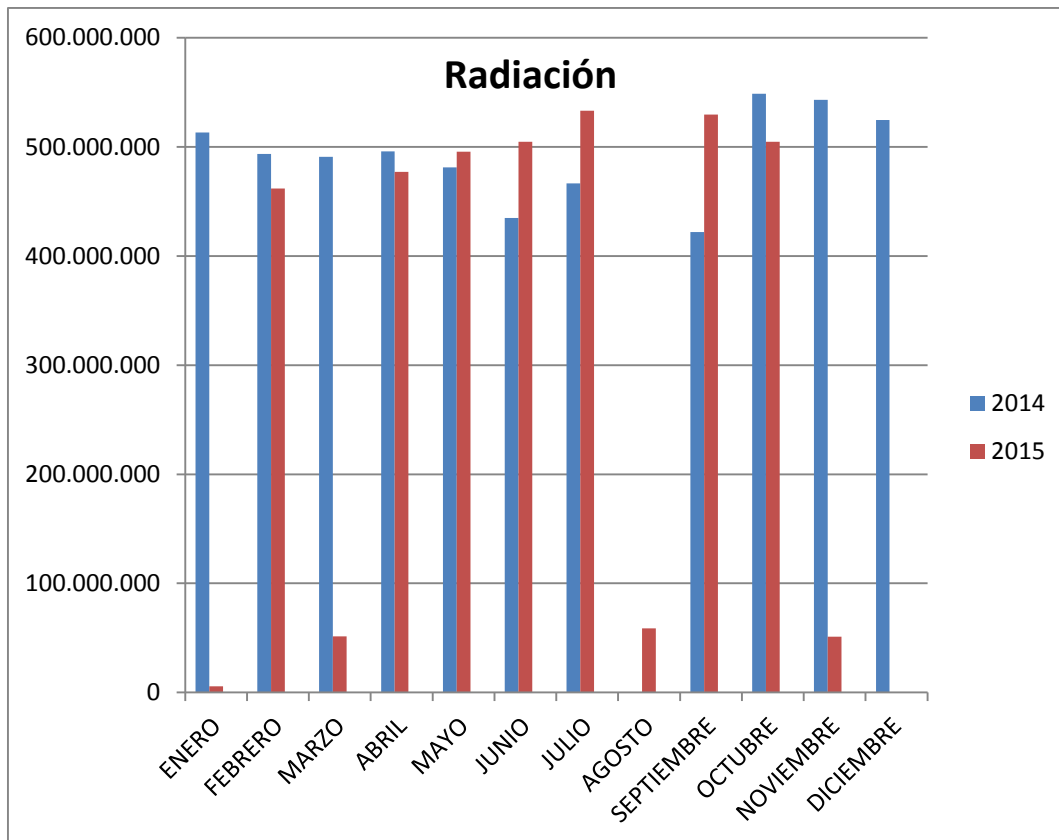


Figura 6-3: Radiación en central ESPOCH

Realizado por: Morayma Cuji 2017

3.2.1.1. Control de temperatura

El control de temperatura de la leche es nos ayudó a determinar cuando la leche ya está pasteurizada y ha eliminado los microorganismos dañinos para la salud. Consiste en que la leche alcance un nivel de temperatura que oscila entre los 65 y 70 grados. Par esto el agua que nos brinda el colector pasa por la tubería hacia el fondo de la olla realizando un baño María transcurrido un tiempo estimado de 2 horas el sensor de temperatura nos indicara que la leche ya ha alcanzado la temperatura deseada haciendo que se desfogue el agua caliente ingresando el agua fría.

Este sensor debió ser compensado para que alcance la estabilidad obteniendo su función de transferencia he podido compensarlo haciendo el uso del programa Matlab un compensador PID la ilustración de a continuación nos indica claramente cómo es que se ha logrado estabilizar el control de temperatura.

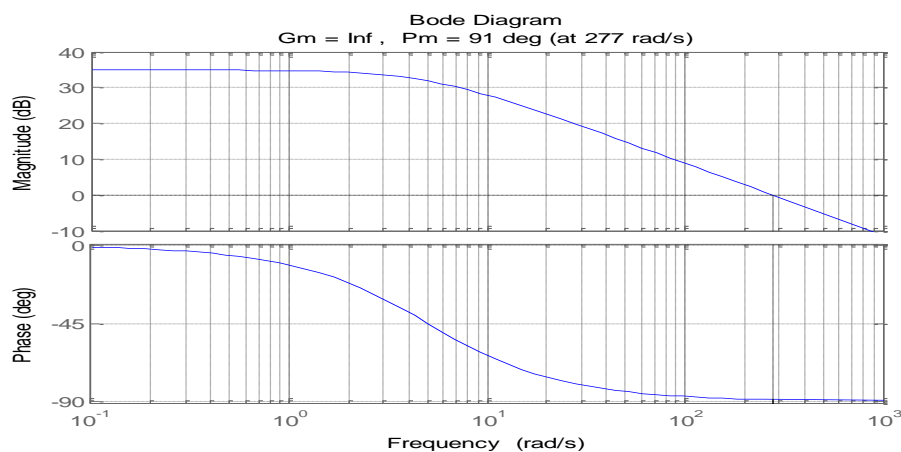


Figura 7-3: Compensación de temperatura

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Guiándome por las gráficas como un análisis teórico y fijándome en algunas características de las formas de onda puedo determinar que el sistema de control de temperatura para la leche en el cual se ha usado el error en estado estacionario de la variable a controlar se ha usado un controlador PID (controlador proporcional derivativo) para eliminar dicho error y estabilizar el proceso. La válvula identifica como nos permite verificar el comportamiento de la variable en el proceso además que es de orden lineal.

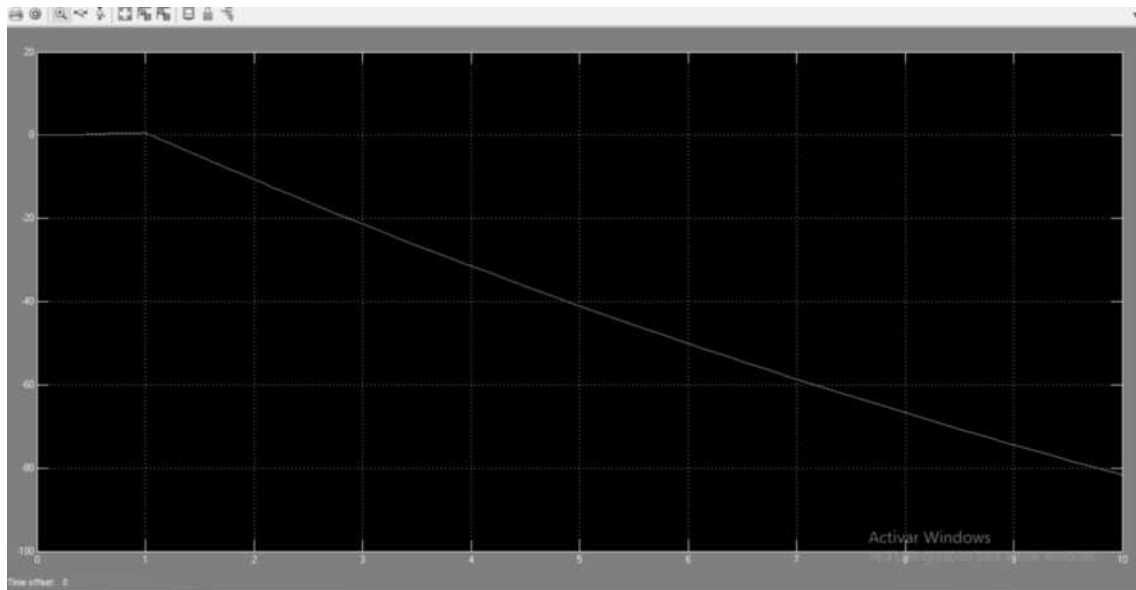


Figura 8-3: Grafica final sin compensación

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Se usa un sistema de control en lazo cerrado el incremento de la ganancia del proceso hará que aumente la velocidad de respuesta del sistema, pero no hay que incrementarla exageradamente pues esto ocasionaría que el sistema se pierda estabilidad. Teniendo como resultado que los valores de estacionarios finales no son dependientes de los iniciales.

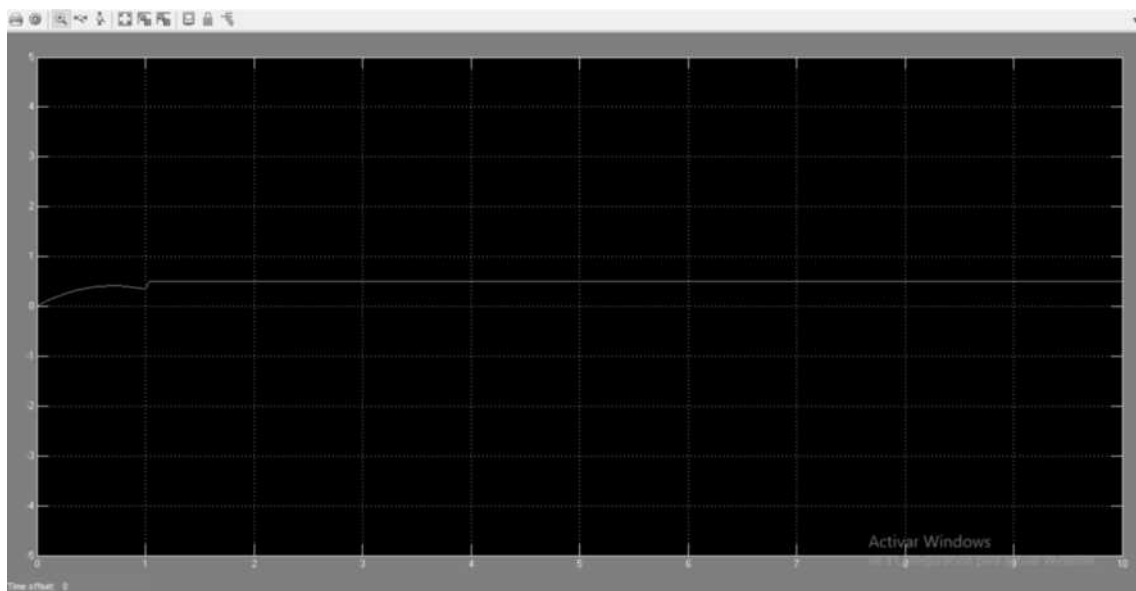


Figura 9-3: Compensación del sistema en lazo cerrado

Realizado por: Morayma Cuji 2017

3.2.2. Sistema auxiliar

Par el sistema auxiliar se hace el uso del gas doméstico utilizando un calefón este sistema funcionara en caso de ser necesario cuando la radiación solar no abastezca el funcionamiento del sistema.

El cantidad de gas que se uso en la pazteurizacion de leche era alto pero con el aporte de la energia solar bajara permitiendo que se vea un ahorro notable, ‘pero una de las desventajas era el impacto ambiental que ocasiona al eliminar CO₂. Hablando de la contaminacion que genera este se puede decir que por un Kg de gas se elimina 2.7Kg de CO₂ a la atmosfera.

3.3. Simulacion del sistema hibrido

Para el modelamiento del sistema se a tomo en consideración varios aspectos como la temperatura en que la leche alcanza la pasteurización, se utilizó un programa orientado a objetos que me permitió modelar el circuito orientado más a la realidad como lo es Labview.

La elaboración de un Lader adecuado para la secuencia que se va a seguir las secuencias de cada proceso y su correcta ejecución, el diseño está elaborado de la siguiente manera:

- El primer objeto es el colector el cual tiene una capacidad de 200 litros de agua a una temperatura estimada de 60⁰ a 80⁰ , el tiempo estimado en el que se llena el tanque del colector es de 5 horas a una radiación directa, pero en todo el día si se puede llenar ofreciéndonos un colector más o menos tres días de agua ya que los que se necesita es 70 litros diarios. Y con los 3 que se instalaría podríamos llegar a cumplir con un mes de abastecimiento.
- El segundo objeto seria el calefón que como lo dije siendo un sistema auxiliar nos abastecería siempre y cuando sea necesario haciendo un análisis de pudo decir que con 2 cilindros se completaría el mes en caso de días nublado con poco sol.
- El tercer objeto es la olla doble fondo la cual tiene una capacidad de 400 litros es de un tipo de acero inoxidable, adecuada para que la leche no pierda sus nutriente, ni se eche a perder en el proceso.

- Como elementos para completar el diseño son las electroválvulas que son manejadas por las señales que nos ofrezcas los sensores estos las abren o cierran según sea el caso. Pon el panel de control podemos ver cómo es que va realizando cada proceso y si algo no funciona correctamente podemos para el proceso y realizar las modificaciones necesarias, claro está que un sistema no es 100 % automático pues siempre va a necesitar de un operario que supervise todo en lapsos de tiempo.

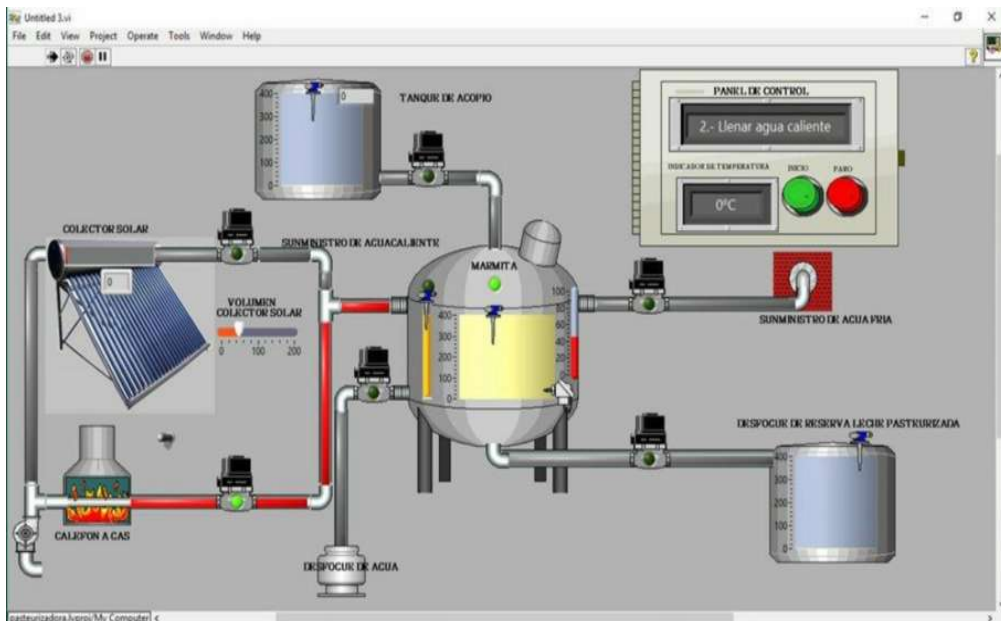


Figura 10-3: Proceso usando Calefón

Realizado por: Morayma Cuji 2017

En la figura 3-10 podemos ver cómo es que funciona el circuito en días de poca radiación en la cual funciona en un más de 50% en base a gas.

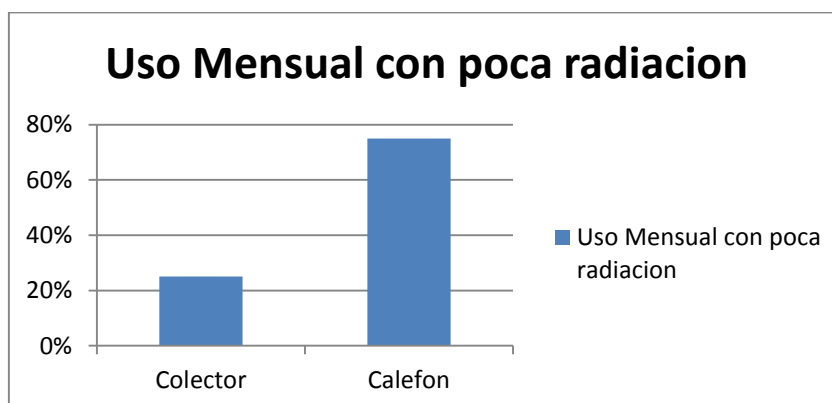


Figura 11-3: Porcentaje de funcionamiento con calefón

Realizado por: Morayma Cuji 2017

3.4. Análisis de los requerimientos de los componentes principales para realizar el sistema de control.

Tabla 2-3: Requerimientos sistema de control

Cantidad	Componente	características
1	Controlador	Este debe tener : -Mínimo 4 salida de relay. -Como mínimo 2 entradas analógicas. -HMI el cual permite visualizar las variables y configurar sus parámetros. -Entradas digitales para establecer el colector solar como Bypass.
1	Sensor de temperatura	-Termocupla tipo j -Rango de temperatura entre 0 y 750 ⁰
2	Sensor de nivel	-Acero inoxidable -Alimentación de 6V a 24V -Salida 0 a 5V -Temperatura de funcionamiento de 40 ⁰ a 125 ⁰ -Disponible hasta los 500mm de largo
6	Electroválvulas	-Soporte de temperatura de 100 ⁰ . -Señales de activación AC.
1	Tablero de control	-Medida mínimas de 20cm x 20cm. -Metálico
1	Sistema de monitoreo	-Debe realizar monitores remotos que realice Datalogging.

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Los datos que se recolecto para la tabla 3-2 se obtuvieron de ejercicios prácticos realizados mientras se cursaba la carrera poniendo así en práctica los conocimientos impartidos por los docentes de las diversas asignaturas.

3.5. Análisis de los costos estimados de inversión

En la actualidad el aumento en las necesidades del consumo energético y los costos que relacionan a estos han provocado ver otras vías para generarlas, teniendo como resultado beneficio económico y ambiental.

3.5.1. Costo estimado de los materiales

Tabla 3-3: Costos

Cantidad	Descripción	Precio unidad	Precio cantidad
3	Colectores tubo al vacío de 20 tubos	1400	4200
2	Tanques de acero inoxidable capacidad 400 a 500 litros	70	140
2	Válvulas de alivio tanque	15	30
10 m	Tubería de plástico de 1' línea	2.98	29.80
8	Codos plásticos térmicos	3.45	27.60
2	Sensores de nivel	35	70
1	Sensor de temperatura	52	52
1	Plc	349	349
1	Panel de control	165	165
6	Electroválvulas	20	120
15 m	Aislamientos de tuberías	6.70	100.5
1	Materiales varios	200	200
3	Cilindros de gas	40	120
2	Calefón Bosch	420	420
8 m	Manguera para gas	4.34	34.72
2	Válvula de check 1 ¼"	19.50	39
1	Olla pasteurizadora	1400	1400
10	Tubería PVC para agua caliente 2"	12.58	125.80
3	Válvula de bola para gas 1"	15.84	47.52
12	Uniones 1"	1.84	22.08
10	Teflón	0.25	25
20	Silicón	3.95	79
5	Polipega para tubos	15.85	79.25
8	Lijas	0.20	1.6
10 m	Cable de conexión	0.8	8
total			7885.87

Realizado por: Morayma Cuji 2017

En la tabla 3-3 se analizó de forma estimada cuanto nos constaría realizar el sistema híbrido automático, cabe señalar que no está incluido la mano de obra y los costos de mantenimiento que por lo general es de 150 dólares mensuales.

3.5.2. Costo de mano de obra

Tabla 4-3: Mano de Obra

Cantidad	Descripción	Precio unidad	Precio cantidad
3	Instalación colectores	600	600
3	Mano de obra civil	150	450
1	instalación automatización	1000	1000
1	Instalación de tanques y tuberías	500	500
Total			2550

Realizado por: Morayma Cuji 2017

Nota: la inversión necesaria según los datos estimados es de 10435.87 USD en una pequeña industria.

3.6. Comparación del material de la olla pasteurizadora

La calidad de la leche también depende del material en el cual se realizó los cambios de temperatura dentro del sector productivo se pudo identificar dos tipos cada una con sus ventajas y desventajas analizadas a continuación:

Las ollas pasteurizadoras común mente usada son de acero inoxidable pues permite que la leche no se corte y que los agentes que poseen otras ollas no salgas o se transfieran a la leche permitiendo que se altere su sabor. En la actualidad existen ollas en las cuales ya vienen instalados los sistemas de control, además se les ha añadido un mezclador con un motor para que la leche se pasteurice en menor tiempo.

3.7. Impacto ambiental

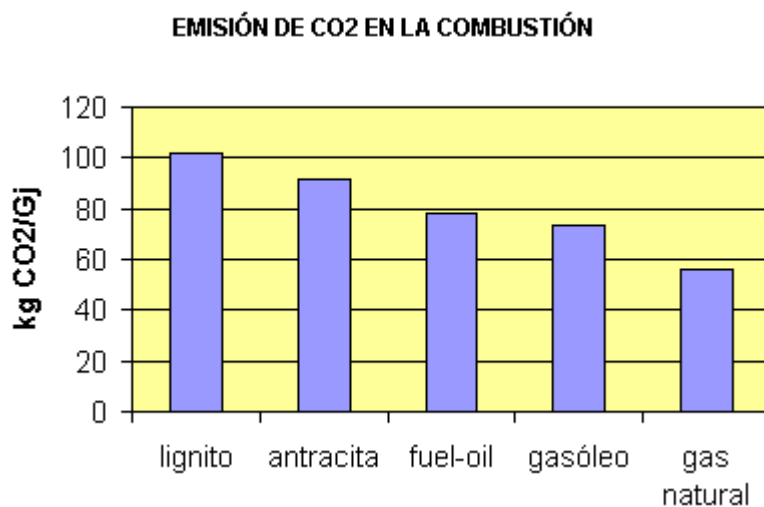


Figura 12-3: Emisión CO2

Fuente: (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>)

La pasteurización se realizaba en base a gas natural pero este hacia gran daño al ambiente porque emitía un 45% de co2 en la combustión, si bien es cierto es uno de los combustibles que meno co2 elimina. Al usarse en un proceso que se realiza a diario su impacto ambiental es considerable además que es un recurso no renovable.

En cuanto al colector tendrá poco impacto ambiental pues su energía la provee del sol siendo renovable e inagotable, en estos tiempos con el deterioro de la capa de ozono los rayos ultravioleta caen directamente y los podemos provechar para diferentes aplicaciones.

Con el modelo propuesto a más de mejorar la producción, mantenemos el medio ambiente entregando productos de calidad, para la utilización en los derivados de la leche como yogurt, queso y demás.

3.8. Resultados

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación se determinó de modo teórico en base a gráficas y programas orientados a la vida real que son de gran ayuda para poder saber cómo es que va a funcionar y no realizar gastos innecesarios. Las cuales nos permitieron dar respuesta a lo que fue la sistematización del problema presentadas en el anteproyecto y descritas en el planteamiento del problema del mismo.

A continuación daré respuesta a cada pregunta planteada:

1. ¿Cómo automatizar el sistema híbrido?

Para la automatización del sistema se lo realizo en el programa Labview que al ser un programa orientado a objetos, nos muestra lo más cercano a como funcionara en el momento que implementemos en este se puede ter versatilidad y nos permitirá gobernar en un PLC donde están las entradas de las señales emitidas por los sensores y las salidas para que funciones los distintos actuadores.

La instalación de diversas librerías permite que los objetos que forman parte de la simulación de sistema automático hibrido realicen su respectivo proceso en concatenación uno del otro.

2. ¿Cómo influye la utilización de sistemas híbridos en los procesos de producción?

Dado que en la actualidad los controles en los proceso de producción son minuciosos y deben cumplir ciertas normativas en cuanto a la calidad del producto que sale al mercado. Con la automatización del sistema hibrido además de ayudar a que la producción aumente a bajo costo nos ofrece que la calidad de la leche no varié ni pierda sus nutrientes.

Lo que la mayoría de productores lo que desea es producir mayor cantidad con la mínima utilización de recursos, la automatización en una industria disminuye el personal en las distintas etapas de producción, en mucho de los casos solo se usa un operario y una persona que de mantenimiento a los diversos equipo.

3. ¿Cuáles son los resultados al modelar el sistema hibrido?

Los resultados que puede apreciar al momento de modelar son que no todos los sistemas tienen las mismas características físicas y que existen diferentes aspectos para modelarlos. Un sistema puede tener varios modelos matemáticos todo depende de la perspectiva que lo analicemos.

En el caso del sistema hibrido para la pasteurización de leche, el sistema principal que es el colector tenía varias vías para su modelado como lo es la forma en la que transfiere el calor por un lado, por otro el tipo de fluido, su densidad, la velocidad, etc. Así como si se lo analiza en estado estacionario o en estado dinámico todos estos aspectos que pude ver me han llevado a ver que el modelo matemático de un sistema tiene gran impacto en el diseño de un sistema en tiempo real y a partir de este es como se diseña y elabora una máquina y determinar el funcionamiento del mismo.

4. ¿Cuáles son los aspectos de los modelos de cada actuador del sistema?

Para cada actuador del sistema se analizó dependiendo su estructura en el sistema híbrido pude establecer tres elementos relevantes como lo son:

- Para el colector se tomó en cuenta las siguientes condiciones que el flujo es laminar desarrollado en estado estacionario, este tiene la característica que la forma de transferir el calor es por convección sin cambio de fase. Donde todas las propiedades del fluido son constante menos la velocidad.
- Para el sistema auxiliar que es el calefón se toma en consideración la estructura que tiene el mismo, y el serpentín que se encuentra en su interior es el que calienta el agua ofreciéndonos calentarla de forma casi instantánea. La potencia de este me permitió determinar su modelo matemático.
- Las características de la olla doble fondo, como la capacidad en litros donde se almacena la leche, capacidad en litros donde está el agua para efectuar el baño María. La temperatura a la que debe ascender y descender para lograr la pasteurización.

CONCLUSIONES

- Un sistema de calefones como fuente de energía auxiliar es óptimo en comparación a las calderas, pues estas requieren de mayor combustible y conocimientos en su instalación, así como en su mantenimiento.
- La implementación de un sistema de control automático en el proceso de pasteurización permite tener menor cantidad de recursos humanos para el funcionamiento del mismo, salvo si se requiere de inspecciones y realizar mantenimientos para alargar la vida útil del sistema.
- El ángulo de inclinación y la instalación en paralelo de los colectores contribuyeron a tener un mejor rendimiento, generando mayor cantidad de energía térmica que posteriormente será aprovechada hasta en un lapso de 72 horas.
- Los colectores solares de tubos al vacío utilizados dieron un rendimiento de 78.9% si bien es cierto pueden ser más costosos que un colector de placa plana, estos solo nos ofrecen un 50% de eficiencia en casos más generales.
- Con la investigación se aporta a la preservación del medio ambiente, pues el sistema trabaja más en base al colector que a la utilización de combustibles fósiles.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el funcionamiento del colector a distintos ángulos de instalación tomado en cuenta la relación existente con la latitud del lugar donde se los va implementar para ver si el rendimiento de este mejora.
- Utilizar un mezclador en la olla pasteurizadora para tratar de acelerar el tiempo de pasteurización.
- Buscar una forma para reutilizar el agua desechada luego de la pasteurización y así poder disminuir el uso de gas doméstico.
- Programar unas alarmas que nos indiquen cuando pasa de un sistema a otro permitiendo que el operario pueda verificar si hay daños en los equipos.
- Para un mejor funcionamiento del sistema sería óptimo de disponer de un almacenador o tanque herméticamente aislado ya que este permitirá recolectar más energía térmica cuando existan días con mayor radiación solar.
- Realizar más investigaciones acerca de la utilidad de las energías renovables y ver la versatilidad de las mismas ya sean eólicas, solares, hidráulicas, etc.

BIBLIOGRAFIA

AGROBIT. *Ganadería Pro_lechera* [web]. Agrobit 2014. All Rights Reserved.

[Consulta: 22 de septiembre 2016].

Disponible en: <http://www.agrobit.com>

BÉRRIZ PÉREZ, LUIS. *Calentador solar de tubos al vacío.* [Web].

[Consulta: 30 agosto 2017].

Disponible en: <https://Calentalor solar de tubos al vacío.htm>

DE JUANA, José; et al. *Energías Renovables para el desarrollo.* 1ª ed. Madrid. España. 2002, pp.5-105

ELISEO. *Radiación Solar irradiancia e insolación* [web]. 2013.

[Consulta: 30 agosto 2017].

Disponible en: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

ESTUELECTRONIC. *¿Qué es y para qué sirve Labview?* [En línea]. 2012.

[Consulta: 22 julio 2017].

Disponible en: <https://estuelectronic.wordpress.com/2012/08/06/que-es-y-para-que-sirve-labview/>

FARINANGO, PAUL. *Diseño y Construcción de un sistema centralizado de agua caliente para recirculación para el edificio "CRYOM"* [en línea] (TESIS).Escuela Politécnica Del Ejercito, Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica. Quito-Ecuador. 1998. pp. 23-40
[Consulta: 12 octubre 2017].

Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10681/1/T1308.pdf>

HART, DANIEL W. *Electrónica de potencia.* PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2010, pp. 100-150.

[Consulta: 2 octubre 2017].

Disponible en: Biblioteca de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

HERNÁNDEZ, PEDRO. *Radiación Directa Difusa y Reflejada* [web].
2014. [Consulta: 30 agosto 2017].
Disponible en: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

HERNÁNDEZ, YENISSEI. *Balance de fuerzas en un manómetro.* [Web].
2011[Consulta: 25 noviembre 2017].
Disponible en: [https://tesis/colector/TERMODIN%C3%81MICA%20\(AEF1065.htm](https://tesis/colector/TERMODIN%C3%81MICA%20(AEF1065.htm)

INGENIERÍA Y ELECTRÓNICA. Quito-Ecuador. 2014. pp. 44-61.
[Consulta: 30 julio 2017].
Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7328>

LANSON, A. Modelado del ahorro energetico en sistemas termosolares hibridos bajo exigencias normales de uso *.Asades.*2014, pp. 3-10.

MUÑOZ, J. Modelación de Sistema Termosolar para Pasteurización en Producción de Quesos de Comunidades Andinas, Provincia de Chimborazo.*Ebscohost.*2016, pp. 2-5

MUÑOZ, Carlos. *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis.* 2a ed. Juárez-México: PEARSON EDUCACIÓN, 2010, pp. 122-297.
[Consulta: 02 de febrero 2015].
Disponible en: <http://esPOCH.librositio.net/libroImprime.php?libroId=9>.

MUYULEMA, RAUL. *Perspectivas de desarrollo de la demanda de leche pasteurizada de la ESPOCH, en el mercado local* [en línea] (**TESIS**).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2006. pp. 7-12
[Consulta: 12 septiembre 2017].
Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/>

NAHLE, NASIF. *Transferencia de Calor.* [Web].
2006[Consulta: 25 noviembre 2017].
Disponible en: https://www.biocab.org/Transferencia_Calor.html

OGATA, KATSUHIKP. “Ingeniería de control moderna”. Madrid, 2010, pp. 30-58

[Consulta: 12 octubre 2017].

Disponible en: Biblioteca de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

PEREZ,MARIO. “Introduccion a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales” [En línea] (**TESIS**). Universidad Nacional de San Juan. 2008, pp.40-66.

[Consulta: 10 de diciembre 2017].

Disponible en: <http://www.bibliotecasdelecuador.com/>

PAREDES CARMEN. Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. [En línea] (**TESIS**). Escuela Superior Politecnica de Ingenieros y Minas. 2012, pp.40-53.

[Consulta: 10 de diciembre 2017].

Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/>

RODRIGUEZ, LUIS. Modelo de un control de nivel y caudal de líquidos en un deposito cilíndrico usando la herramienta de Simulink de Matlab. *Revista de la escuela de Ingeniería y arquitectura Cap&Cua.*2013, pp. 5-13.

SIO. *Determination of optimum tilts angles for solar collectors in low-latitude tropical region.* [Web].

2013[Consulta: 25 noviembre 2017].

Disponible en: [https:// tesis/colector/Determination of optimum tilt angles for solar collectors in low-latitude tropical region _ SpringerLink.htm](https://tesis/colector/Determination%20of%20optimum%20tilt%20angles%20for%20solar%20collectors%20in%20low-latitude%20tropical%20region_%20SpringerLink.htm)

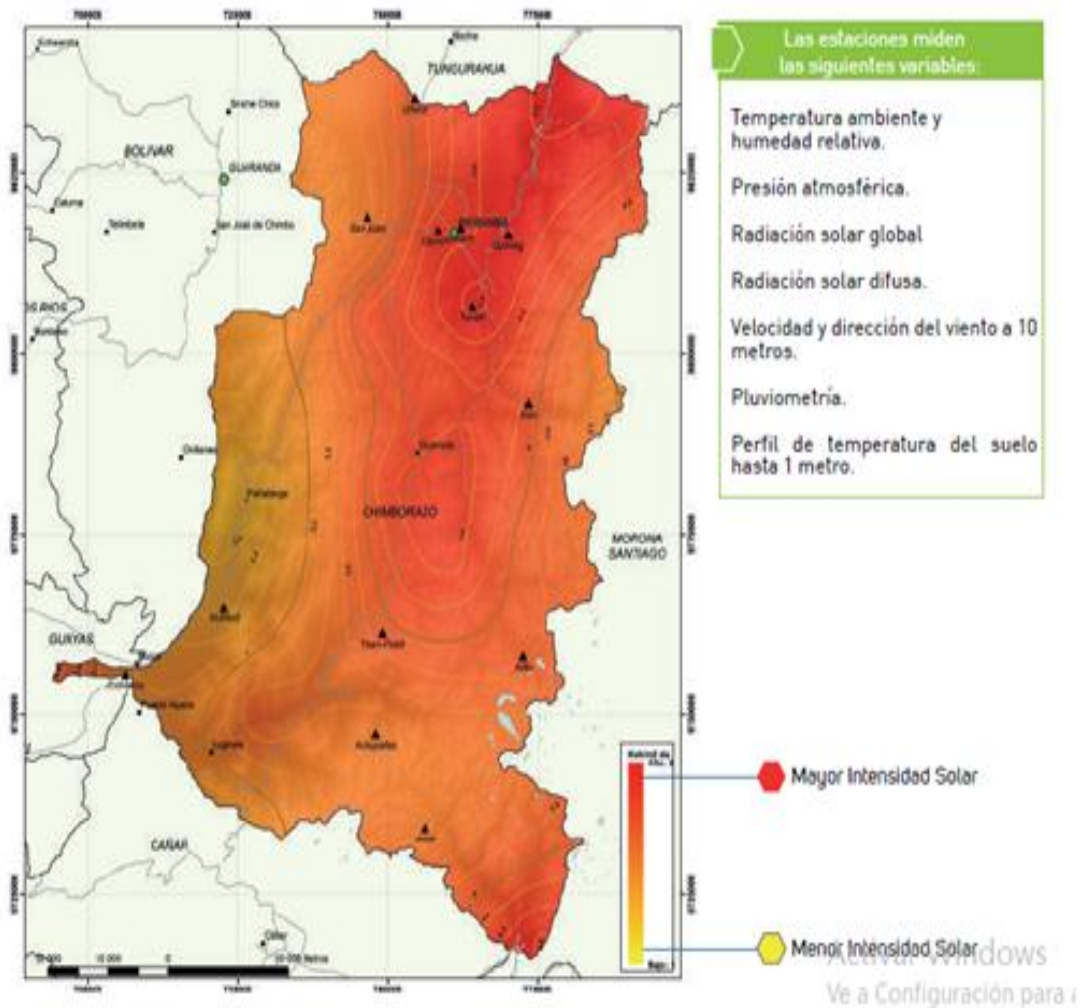
ZEMANSKY, SEARS. Física universitaria. PEARSON EDUCACIÓN, S.A., México, 2009, pp. 107-237

[Consulta: 21 octubre 2017].

Disponible en: Biblioteca de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

ANEXOS

Anexo A: Mapa de radiación solar Chimborazo





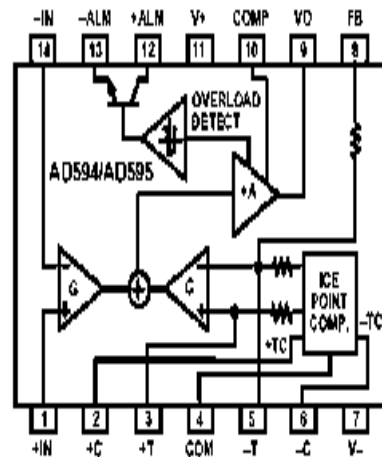
Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

AD594/AD595

FEATURES

- Pretrimmed for Type J (AD594) or Type K (AD595) Thermocouples
- Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs
- Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C
- Built-In Ice Point Compensation
- Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V
- Low Power: <1 mW typical
- Thermocouple Failure Alarm
- Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy
- Setpoint Mode Operation
- Self-Contained Celsius Thermometer Operation
- High Impedance Differential Input
- Side-Brazed DIP or Low Cost Cerdip

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



Anexo C: Termocuplas comunes

Cuadro 6.1 Termopares comunes.

Designación ANSI	Composición	Margen habitual	mV/margen
B	Pt (10%)/Rodio-Pt (30%)/Rodio	30 a 1800°C	13,6
C	W (5%)/Renio-W (20%)/Renio	0 a 2300°C	37,0
E	Cromel-Constantan	0 a 982°C	75,0
J	Hierro-Constantan	0 a 760°C	42,9
K	Cromel-Alumel	-184 a 1260°C	58,0
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) - Nisil (Ni-Si-Mg)	-270 a 1300°C	51,8
R	Pt (13%)/Rodio-Pt	0 a 1533°C	18,7
S	Pt (10%)/Rodio-Pt	0 a 1538°C	16,0
T	Cobre-Constantan	-184 a 400°C	26,0

Anexo D: Sensor de Nivel

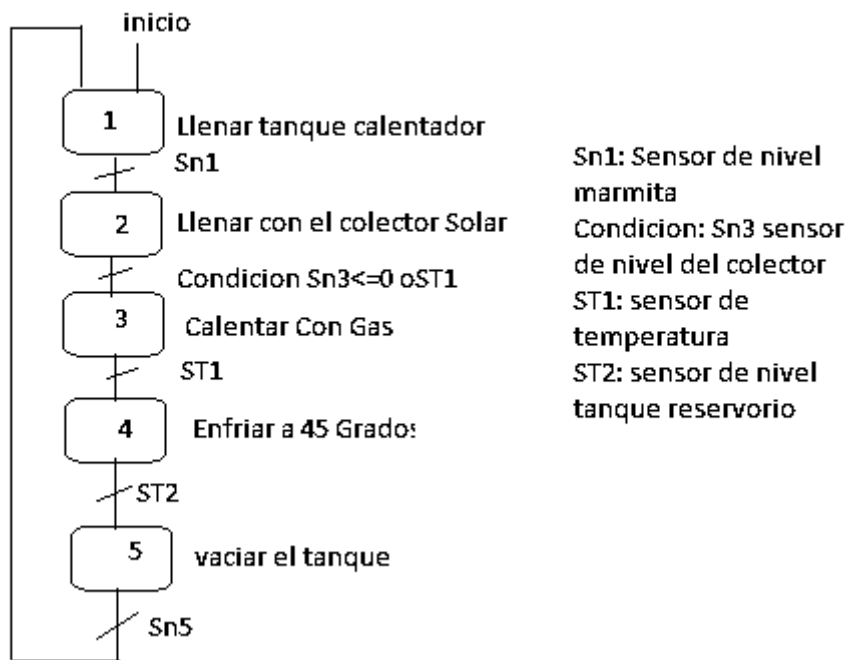


Anexo E: Colector de 20 tubos

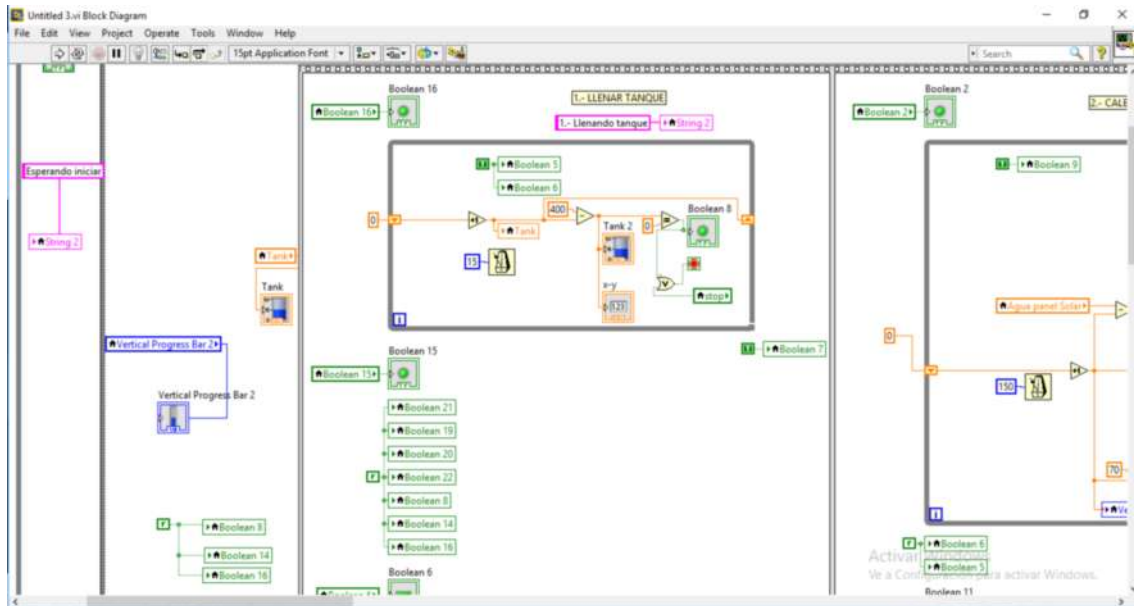


Anexo F: Grafset

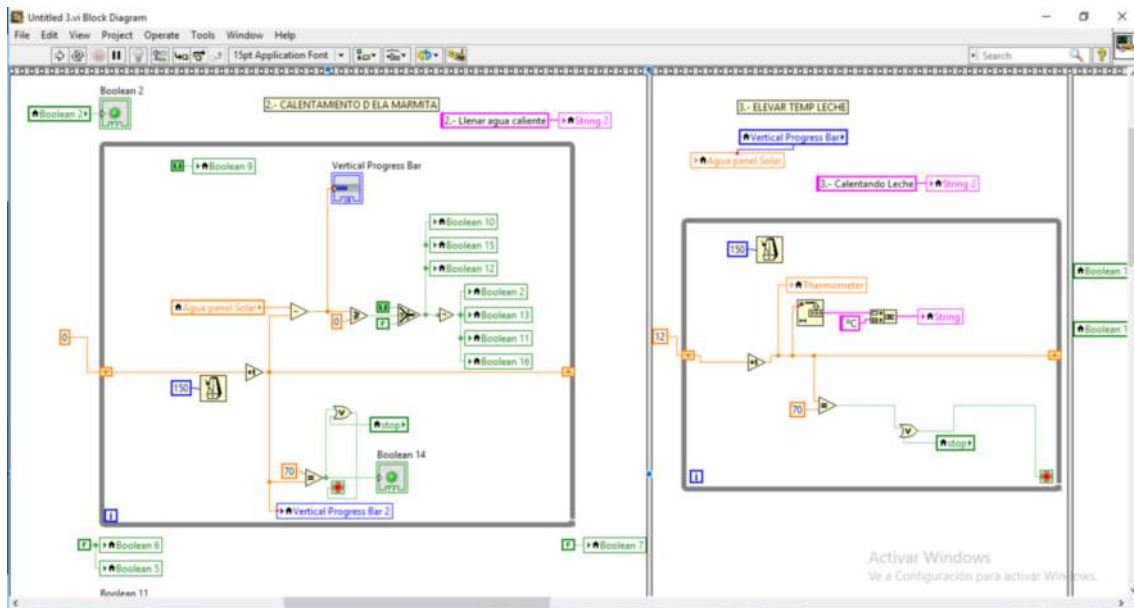
GRAFSET



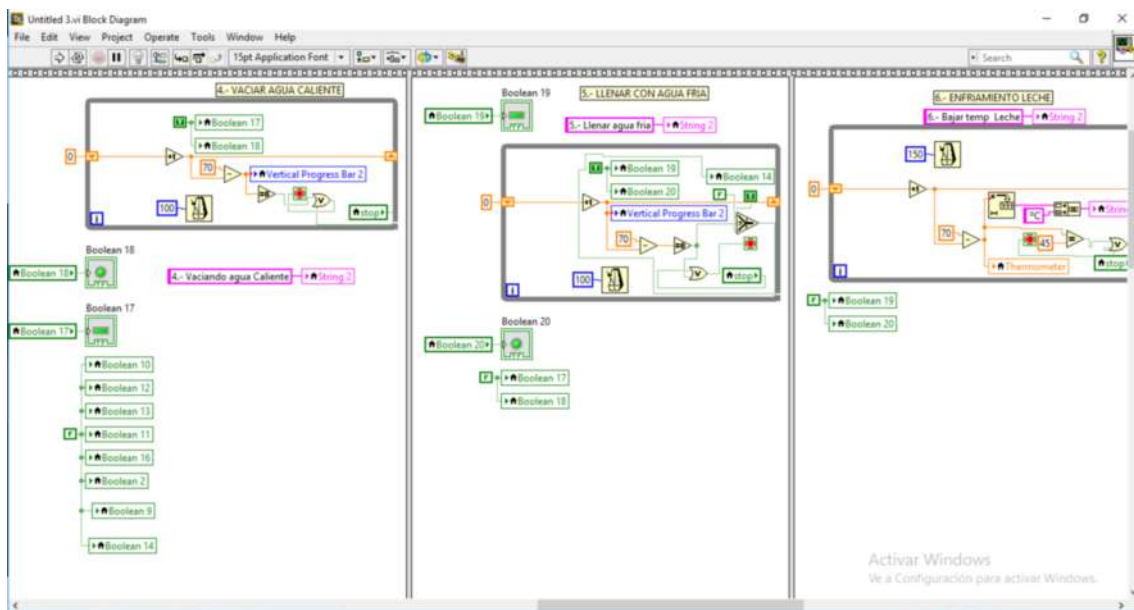
Anexo G: Llenado del tanque leche



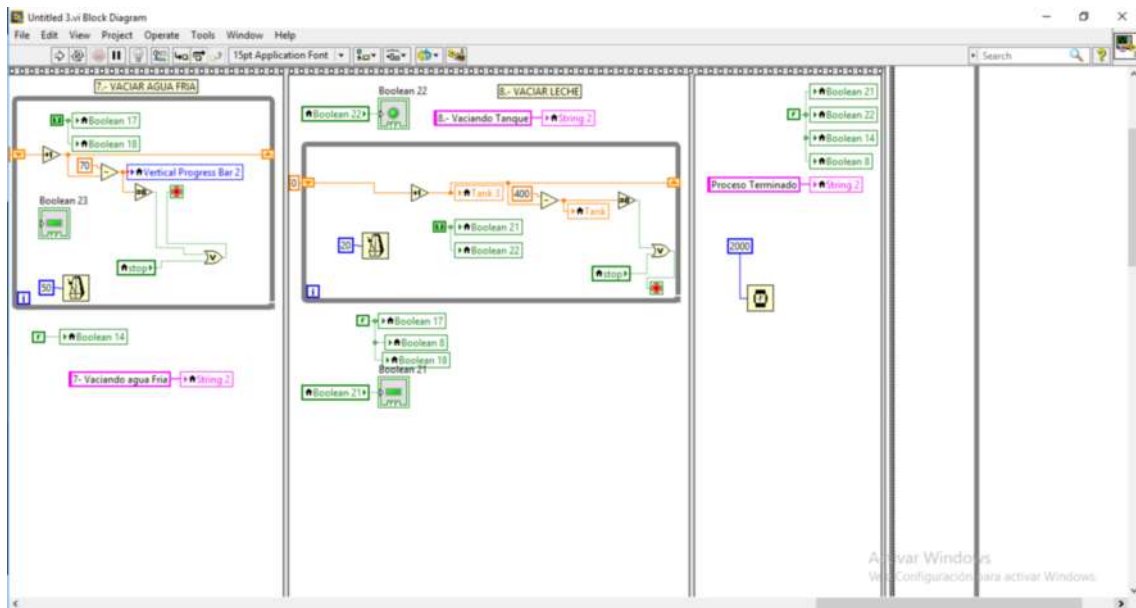
Anexo H: Calentamiento de la leche



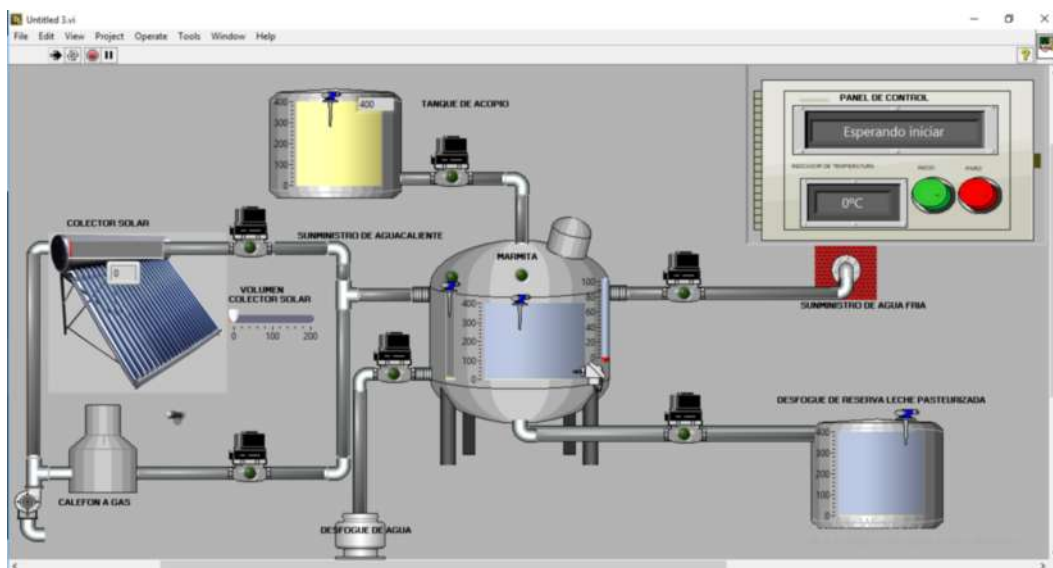
Anexo I: Vaciado y enfriamiento de la leche



Anexo J: Vaciado de agua fría y de la leche



Anexo K: Simulación en Labview Final



Anexo L: Simulación en Labview con acumulador

