



Diseño e implementación de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas

ESPE Sede Latacunga

Hasskel Herdoiza, Martín José

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

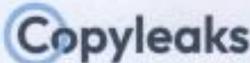
Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

25 de agosto del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos



Copleaks
Plagiarism report

Trabajo UIC Martín Hasskel-1.pdf

Scan details

Scan time: August 25th, 2023 at 15:43 UTC Total Pages: 85 Total Words: 21054

Plagiarism Detection

5.2%

Types of plagiarism		Words
Identical	2.9%	607
Minor Changes	0.6%	136
Paraphrased	1.6%	346
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection

N/A

Text coverage	
AI text	
Human text	

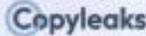
Plagiarism Results: (95)

<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR</p> <p>http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/1339...</p> <p>DIRECCION DE INFORMATICA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR-MATRIZ FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO...</p>	0.4%
<p>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR</p> <p>http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/1339...</p> <p>DIRECCION DE INFORMATICA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR-MATRIZ FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO...</p>	0.4%
<p>Diseño, construcción de un equipo prototipo optimi...</p> <p>https://library.cordocuments/ggw209y-diseño-construcción-...</p>	0.4%



Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo,
C. C. 1803698800

Certified by



About this report

help.copleaks.com

copleaks.com





Departamento de energía y mecánica

Carrera de ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Diseño e implementación de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga"** fue realizado por el/los señor/señores **Hasskel Herdoiza, Martín José** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo,

C. C. 1803698800



Departamento de Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo **Hasskel Herdoiza, Martín José** con cédula de ciudadanía N° **1726045345**, declaro/declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Diseño e implementación de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga** es de mi/nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

Hasskel Herdoiza, Martín José

C.C.: 1725280828



**Departamento de Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

Autorización de Publicación

Yo/ nosotros **Hasskel Herdoiza, Martín José** con cédula/cédulas de ciudadanía n°1725280828, autorizo/autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Título: Diseño e implementación de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 1 de agosto del 2023

Hasskel Herdoiza, Martín José

C.C.: 1725280828

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de investigación a la mujer más valiente e importante de mi vida, Marcela Herdoiza, mi madre, quien es el motor que me ha permitido superar todos los obstáculos que se presentaron a lo largo de mi vida, siempre con una sonrisa que ha logrado abrigar mi corazón en todo momento, logrando que siempre encuentre el camino correcto.

Agradecimiento

Agradezco infinitamente a mi familia sobre todo a Consuelo Merino, quien fue como mi segunda madre, a Antonio Merino por estar ahí cuando lo necesite en varios momentos de mi vida, a mi tutor el ingeniero Andrés Gordón por compartirme su sabiduría y permitirme realizar este trabajo, a mi mejor amigo Ostin que a pesar de la distancia siempre estuvo presente para mí y por último a todos aquellos amigos que fueron como mi familia a lo largo de esta aventura: Andrea, Klever, Ronny; Jonathan, Kevin, Lando, Edison, Ángel, Mirian, Evelyn y Adrián, sin ustedes nada de esto sería posible.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Caratula	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de figuras	14
Índice de tablas	17
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Introducción.....	21
Antecedentes	21
Descripción del Trabajo de Integración Curricular.....	22
Justificación e Importancia	23
Alcance.....	23
Objetivos	24
Objetivo General.....	24

<i>Objetivos Específicos</i>	24
Metodología.....	24
<i>Documental bibliográfico</i>	24
<i>Experimental:</i>	25
<i>Método deductivo:</i>	25
Hipótesis	25
<i>Variable Independiente</i>	25
<i>Variable Dependiente</i>	25
Capítulo II: Fundamentación teórica del sistema	26
Introducción a Automatización Industrial (evolución)	26
Técnicas de control en procesos industriales.....	27
<i>Zona Empresarial</i>	28
<i>Zona de control</i>	28
<i>Zona de campo</i>	28
<i>Tipos de sistemas de control industrial</i>	28
Espacios ciberfísicos	30
<i>Aplicaciones de los sistemas ciberfísicos</i>	32
Módulos didácticos técnicos	32
Definición de una marmita	34
Funcionamiento	34
Tipos de marmitas	35

<i>Clasificación de marmitas según su diseño.....</i>	35
<i>Clasificación de marmitas según su calentamiento</i>	37
<i>Marmitas basculares.....</i>	41
Sistema de agitación	42
<i>Agitador</i>	43
<i>Partes del agitador</i>	44
<i>Tipos de rodetes.....</i>	44
Tecnología actual de las marmitas	47
Capítulo III: Diseño y Selección de Componentes del Sistema	50
Definición del sistema	50
Selección de variables de control.....	50
<i>Variables de control sistema 1</i>	51
<i>Variables de control sistema 2</i>	51
<i>Variables de control del sistema 3.....</i>	51
<i>Variables de control del sistema 4.....</i>	51
Definición de especificaciones del sistema.....	52
Especificaciones técnicas del sistema	52
Desarrollo de la función de calidad (QFD)	53
Resultados obtenidos de la Matriz QFD.....	56
Matriz de selección de componentes	57
Definición y selección de componentes	57

Esquema de una marmita.....	58
<i>Selección del tipo de marmita</i>	<i>58</i>
<i>Selección del controlador.....</i>	<i>60</i>
<i>Selección de electro-válvulas.....</i>	<i>63</i>
<i>Selección de bombas.....</i>	<i>66</i>
<i>Selección motor</i>	<i>72</i>
<i>Selección sensor de temperatura</i>	<i>74</i>
<i>Selección válvulas de alivio</i>	<i>78</i>
<i>Selección conducto de vapor.....</i>	<i>80</i>
<i>Selección del tanque de almacenamiento (solvente)</i>	<i>82</i>
<i>Selección del agitador</i>	<i>85</i>
Selección de complementos para los componentes.....	86
<i>Módulo de entrada analógica AM2 RTD para LOGO!.....</i>	<i>86</i>
<i>Tolva de alimentación.....</i>	<i>87</i>
<i>Accesorios hidráulicos.....</i>	<i>88</i>
Selección de materiales	89
Diseño del sistema de la marmita.....	90
<i>Diseño del tanque (cuerpo marmita).....</i>	<i>90</i>
<i>Análisis térmico.....</i>	<i>93</i>
<i>Diseño del agitador</i>	<i>101</i>
Diseño de la mesa.....	104

Simulación de la marmita.....	105
Análisis térmico del tanque de almacenamiento.....	107
Análisis de cargas eléctricas	108
Diagrama de flujo del proceso	109
Componentes del diseño eléctrico	109
<i>Bloque de distribución.....</i>	<i>109</i>
<i>Disyuntor</i>	<i>110</i>
<i>Contactador</i>	<i>111</i>
<i>Fuente de poder corriente directa.....</i>	<i>111</i>
Lista de accesorios.....	112
<i>Accesorios aceros inoxidables</i>	<i>112</i>
<i>Accesorio PVC.....</i>	<i>113</i>
Diseño final	113
Capítulo IV: Implementación y Pruebas	114
Implementación.....	114
Pruebas de funcionamiento	127
<i>Prueba llenado de la marmita.....</i>	<i>127</i>
<i>Prueba de funcionamiento del control de temperatura</i>	<i>128</i>
<i>Pruebas de activación del sistema de agitación.....</i>	<i>129</i>
<i>Prueba de envío y recepción de señales</i>	<i>130</i>
<i>Prueba ingreso de soluto a la marmita.....</i>	<i>131</i>

Validación de hipótesis	132
<i>Hipótesis nula (H0)</i>	133
<i>Hipótesis alternativa (H1)</i>	133
<i>Cálculo del Chi-Cuadrado</i>	133
<i>Validación</i>	135
Análisis de costos	136
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	137
Conclusiones	137
Recomendaciones	140
Bibliografía	141
Anexos.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Niveles dentro de la automatización industrial</i>	27
Figura 2	<i>Sistema de control lazo abierto</i>	29
Figura 3	<i>Sistema de control en lazo cerrado</i>	29
Figura 4	<i>Estructura sistemas ciberfísicos</i>	31
Figura 5	<i>Módulo didáctico</i>	33
Figura 6	<i>Marmita abierta</i>	36
Figura 7	<i>Marmita cerrada</i>	37
Figura 8	<i>Marmita de gas</i>	39
Figura 9	<i>Marmita de vapor</i>	40
Figura 10	<i>Marmita eléctrica</i>	41
Figura 11	<i>Marmita bascular</i>	42
Figura 12	<i>Ejemplo de un sistema de agitación</i>	43
Figura 13	<i>Agitador de paletas planas</i>	45
Figura 14	<i>Formas de un agitador tipo hélice</i>	46
Figura 15	<i>Agitador tipo hélice</i>	47
Figura 16	<i>Marmita con mezclador Baskett elaborada por Firex</i>	48
Figura 17	<i>Interfaz de control HMI Firex</i>	49
Figura 18	<i>Sistemas y subsistemas del módulo marmita</i>	50
Figura 19	<i>Matriz QFD</i>	55
Figura 20	<i>Esquema de una marmita</i>	58
Figura 21	<i>Controlador LOGO V8.3 de SIEMENS</i>	61
Figura 22	<i>ESP 32</i>	62
Figura 23	<i>Válvula Solenoide U.S Solid 12V</i>	64
Figura 24	<i>Válvula GREDIA</i>	65
Figura 25	<i>Bomba de diafragma IEIK 12V DC</i>	67

Figura 26	<i>Bomba de diafragma SEAFLO 12V DC</i>	68
Figura 27	<i>Sensor flotador Aopin</i>	70
Figura 28	<i>Sensor de nivel tipo flotador Uxcell</i>	71
Figura 29	<i>Motor reductor EXHIBIR</i>	73
Figura 30	<i>Motor reductor Walfront 12V DC</i>	74
Figura 31	<i>Termocupla tipo K Walfront</i>	76
Figura 32	<i>RTD PT100 YWBL-WH</i>	77
Figura 33	<i>Válvula Slocable</i>	78
Figura 34	<i>Válvula de alivio Merril MFG</i>	79
Figura 35	<i>Tubería y accesorios de acero inoxidable</i>	81
Figura 36	<i>Manguera para vapor prensada</i>	82
Figura 37	<i>Recipiente plástico rectangular</i>	83
Figura 38	<i>Tanque de acero inoxidable</i>	84
Figura 39	<i>Módulo AM2 RTD para LOGO!</i>	87
Figura 40	<i>Tolva de alimentación</i>	88
Figura 41	<i>Accesorios hidráulicos</i>	89
Figura 42	<i>Altura de la chaqueta</i>	92
Figura 43	<i>Agitador de la marmita</i>	101
Figura 44	<i>Diagrama de Moody agitadores</i>	103
Figura 45	<i>CAD mesa soporte</i>	104
Figura 46	<i>Análisis estático de cargas en la mesa</i>	105
Figura 47	<i>Diseño CAD marmita</i>	106
Figura 48	<i>Condiciones para el análisis CAE</i>	106
Figura 49	<i>Análisis estático marmita</i>	107
Figura 50	<i>Análisis térmico tanque de almacenamiento</i>	108
Figura 51	<i>Diagrama de flujo del proceso</i>	109

Figura 52	<i>Caja de distribución de dos polos.....</i>	110
Figura 53	<i>Disyuntor bipolar de 32 A</i>	110
Figura 54	<i>Contactador bipolar.....</i>	111
Figura 55	<i>Fuente de poder 12V DC.....</i>	112
Figura 56	<i>Diseño final módulo marmita</i>	113
Figura 57	<i>Vista del módulo.....</i>	114
Figura 58	<i>Partes mecánicas del módulo marmita.....</i>	115
Figura 59	<i>Piezas punteadas para su soldadura.....</i>	116
Figura 60	<i>Cordón de soldadura para la tapa</i>	117
Figura 61	<i>Cordón de soldadura en el generador de vapor.....</i>	117
Figura 62	<i>Cordón de soldadura en el cuerpo de la marmita</i>	118
Figura 63	<i>Unión de la doble camisa con el tanque interior</i>	118
Figura 64	<i>Marmita posterior al proceso de ácidos de suelda.....</i>	119
Figura 65	<i>Mesa del módulo marmita</i>	120
Figura 66	<i>Propuesta implantación módulo marmita.....</i>	120
Figura 67	<i>Instalación manguera de vapor y tanque de almacenamiento</i>	121
Figura 68	<i>Instalación manómetro</i>	121
Figura 69	<i>Instalación válvula de alivio</i>	122
Figura 70	<i>Instalación accesorios para la tapa de la marmita</i>	122
Figura 71	<i>Instalación del doble fondo.....</i>	123
Figura 72	<i>Instalación de la riel DIN.....</i>	123
Figura 73	<i>Realización de agujeros en el tablero.....</i>	124
Figura 74	<i>Instalación de las bombas</i>	124
Figura 75	<i>Conexiones eléctricas del sistema.....</i>	125
Figura 76	<i>Interfaz de control.....</i>	126
Figura 77	<i>Módulo marmita en funcionamiento.....</i>	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Especificaciones del sistema</i>	52
Tabla 2	<i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	53
Tabla 3	<i>Consideraciones para jerarquía en matriz QFD</i>	54
Tabla 4	<i>Consideraciones para jerarquizar métricas en matriz QFD</i>	54
Tabla 5	<i>Consideraciones para clasificar la importancia de las métricas</i>	55
Tabla 6	<i>Resultados Matriz QFD</i>	56
Tabla 7	<i>Ponderación métricas de selección de componentes</i>	57
Tabla 8	<i>Métricas para la selección del tipo de marmita</i>	59
Tabla 9	<i>Criterios para el diseño de la marmita</i>	60
Tabla 10	<i>Criterios de selección del controlador</i>	63
Tabla 11	<i>Matriz de selección de las válvulas</i>	66
Tabla 12	<i>Resultado de selección para la bomba</i>	69
Tabla 13	<i>Resultados selección del sensor de nivel</i>	72
Tabla 14	<i>Criterios de selección del motor</i>	74
Tabla 15	<i>Métricas de selección del sensor de temperatura</i>	77
Tabla 16	<i>Criterios de selección válvula de alivio</i>	80
Tabla 17	<i>Parámetros de selección para el tanque de almacenamiento</i>	85
Tabla 18	<i>Criterio de selección para el agitador</i>	86
Tabla 19	<i>Especificaciones técnicas acero AISI 304</i>	90
Tabla 20	<i>Espesores para planchas de acero</i>	93
Tabla 21	<i>Parámetros para diseño térmico</i>	95
Tabla 22	<i>Cálculo de carga consumida</i>	108
Tabla 23	<i>Listado de accesorios de tubería de acero inoxidable</i>	112

Tabla 24	<i>Listado de accesorios de tubería de PVC</i>	113
Tabla 25	<i>Pruebas de funcionamiento de nivel</i>	127
Tabla 26	<i>Resultados prueba de funcionamiento control de temperatura.....</i>	128
Tabla 27	<i>Resultados prueba de agitación.....</i>	129
Tabla 28	<i>Pruebas envío recepción de señales.....</i>	130
Tabla 29	<i>Prueba de ingreso de soluto</i>	131
Tabla 30	<i>Trazas en la tolva.....</i>	131
Tabla 31	<i>Resultados de pruebas ingreso de solvente.....</i>	132
Tabla 32	<i>Frecuencias observadas.....</i>	133
Tabla 33	<i>Frecuencias esperadas.....</i>	134

Resumen

El presente trabajo de titulación busca elaborar un módulo tipo marmita que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación para continuar con el proceso en el siguiente módulo, ingresando los valores necesarios para ello por medio de una interfaz digital empleando medios tecnológicos, este sistema, será implementado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, con la finalidad de permitir a los alumnos del laboratorio de mecatrónica, tener una experiencia técnica dentro de sus prácticas universitarias, a partir de la fundamentación teórica realizada de trabajos de investigación previos y criterios de diseño con normativas tales como la ISO 22000 para alimentos, a partir del diseño tanto eléctrico como mecánico del sistema se determinó que la mejor opción para el desarrollo es la de una marmita de vapor con doble chaqueta, por dicho motivo, se integró una cámara de vapor dentro del mismo sistema, a partir de los cálculos de transferencia de calor y con los datos obtenidos de las pruebas realizadas, se pudo evidenciar que la temperatura se conserva satisfactoriamente, ya que este es un sistema cerrado, lo que permite reducir las pérdidas de calor dentro de la camisa de vapor de la marmita, por otro lado, para el control de nivel, se implementó una regresión lineal que permite un control en lazo abierto del nivel del líquido del sistema, mientras que para el tiempo de agitación se utilizó programación funcional (FUP dentro del PLC), con estos datos fue posible verificar que el sistema funciona de manera correcta, alcanzando los valores deseados ingresados por la interfaz HMI

Palabras clave: Marmita, Interfaz HMI, Laboratorio de mecatrónica, Generador de vapor-diseño, Módulos didácticos.

Abstract

The present research work seeks to develop a kettle-type module that allows the control of level, temperature and stirring time to continue with the process in the next module, entering the necessary values for it through a digital interface using technological means, this system, will be implemented at the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, with the purpose of allowing the students of the mechatronics laboratory, to have a technical experience within their university practices, for this a theoretical foundation was carried out from work of previous research and design criteria with regulations such as ISO 22000 for food and alimentary machinery, based on both the electrical and mechanical design of the system, it was possible to verify that the implementation of a double-jacketed steam kettle was the best option for development, for which was necessary to integrate a steam chamber within the same system, from the heat transfer calculations and with the data obtained from the tests carried out, it was possible to show that the heat is satisfactorily preserved within the steam jacket of the kettle, for the section of the level control, a linear regression was implemented that allows an open-loop control of the liquid level of the system, while for the stirring time, functional programming (FUP within the PLC) was used, with these data it was possible verify that the system works correctly, reaching the desired values entered by the HMI interface

Keywords: Kettle, HMI interface, Mechatronic Laboratory, Steam generator-design, Didactic modules.

Capítulo I:

Introducción

Antecedentes

En el campo de la producción industrial se han generado grandes avances para optimizar el desarrollo de procesos en todos los campos reduciendo los errores existentes y mejorando los tiempos de producción permitiendo así que la eficiencia de la cadena aumente considerablemente (Torres y Vaca, 2010)

Dentro del país y en otros sectores de Latinoamérica, se ha podido evidenciar el crecimiento activo del sector industria. Sin embargo, la industria nacional tiene grandes falencias debido a diversos factores, tales como la carencia de regulaciones o falta de preparación de la parte técnica, entre otros, para poder evitar este tipo de errores, se vuelve algo imperativo el poder estandarizar y regular los procesos que se llevan a cabo en el campo (Villalva, 2012)

Para beneficiar a la industria nacional, se debe lograr que los nuevos profesionales puedan identificar y solucionar los diversos problemas que se pueden llegar a presentar al momento de encontrarse en un entorno industrial, para ello es necesario que los estudiantes de carreras afines a este sector, tengan acceso a situaciones similares dentro de sus prácticas universitarias e inclusive antes de su fase de pasantías (Gualpa y Proaño, 2019)

Actualmente, gran parte de los procesos que tienen relación con la automatización en la industria, se realizan por medio de controladores lógicos programables (PLC), que se encargan de verificar y modificar parámetros y variables que se manejan en estos entornos, asegurando la precisión y la robustez del mismo, de esta forma se permite que exista control sobre la industria en general (Picho, 2016)

La misión de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), sede Latacunga, es formar profesionales capaces de enfrentar diferentes escenarios. Para ello, es imperante que sus laboratorios puedan brindar las facilidades necesarias para cumplir este objetivo. El uso de herramientas actualizadas en el laboratorio de mecatrónica permitiría a los alumnos desenvolverse con mayor experticia dentro del ámbito industrial.

Descripción del Trabajo de Integración Curricular.

Dentro del desarrollo del proyecto, se comenzará por el estado del arte, en el cual se llevará a cabo la investigación previa del funcionamiento del equipo y el análisis de las variables a controlar. Para ello, se realizará una comparación con sistemas similares que ya se encuentren en el mercado o que hayan sido implementados previamente.

Una vez recopilada la información se identificarán los sistemas y subsistemas necesarios para el funcionamiento adecuado del dispositivo. El módulo tipo marmita debe ser compatible con los otros que se encuentran en la línea de producción, siendo capaz de controlar la cantidad de solvente que ingresará, la temperatura de la disolución y el tiempo que el agitador estará activo para asegurar la correcta emulsificación del soluto con el solvente. Estos valores serán ingresados por medio de un sistema ciberfísico que será el que defina los diferentes sets points y permita la visualización del proceso.

Con este fin, se deben emplear sensores y actuadores que permitan la correcta evolución de las variables controladas y se debe implementar un controlador robusto que sea capaz de soportar la potencia del sistema y de adquirir los datos necesarios para compartir la información al sistema ciberfísico.

Una vez el prototipo se encuentre elaborado, es necesario realizar pruebas de funcionamiento para evaluar posibles fallos en el diseño y solucionarlos de forma efectiva.

Justificación e Importancia

La construcción del módulo tipo marmita, permite que los estudiantes puedan acceder a dispositivos industriales y aumentar su comprensión de los mismos, permitiendo realizar prácticas con un mayor nivel de profundidad en el ámbito profesional, la línea de producción propuesta, permite también realizar prácticas relacionadas con el campo de la automatización, control y el uso de sistemas ciberfísicos, el cual se encuentra en auge actualmente a nivel industrial, los módulos implementados, utilizarán un controlador lógico programable (PLC) para poder asegurar el entorno industrial robusto.

El módulo tipo marmita maneja una parte de potencia, la cual se integrará de igual forma con el IoT para poder vincular el sistema ciberfísico, y estos se encontrarían disponibles para los estudiantes dentro del laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga. Este proyecto está enfocado en los estudiantes de distintos niveles de la carrera de ingeniería mecatrónica y al tratarse de módulos compactos, los mismos también podrían ser empleados fuera del mismo laboratorio en caso de requerirse

Alcance

Se busca que el Trabajo de Unidad de Integración Curricular de la presente investigación facilite a los estudiantes el acceso a un módulo tipo marmita, que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación para generar una disolución a partir de un soluto y un solvente previamente establecidos por el usuario, el cual se encontrara automatizado por PLC y una interfaz IoT, con esto, los estudiantes tendrán acceso a un entorno semi industrial que les permita simular situaciones de la vida real y facilitaría a los docentes el realizar prácticas en diversas materias.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar e implementar de un módulo tipo marmita, que se encargue del mezclado, temperatura y nivel de sustancia a tratar, para luego ser dirigido al siguiente módulo dosificador para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga

Objetivos Específicos

- Realizar los pasos necesarios para un diseño exitoso
- Verificar que componentes se necesitan para el diseño del módulo tipo marmita
- Identificar las variables de control del sistema
- Diseñar la estructura mecánica y sistema eléctrico del módulo tipo marmita
- Escoger los sensores necesarios para el módulo tipo marmita
- Programar el PLC para que ejecute de manera adecuada sus tareas
- Controlar las diferentes variables por medio de actuadores y el PLC
- Construir el módulo tipo marmita con sus diferentes accesorios
- Implementar la interfaz IoT para el módulo tipo marmita
- Probar el correcto funcionamiento del módulo tipo marmita

Metodología

Dentro del Trabajo de Unidad de Integración Curricular se plantea utilizar las siguientes metodologías

Documental bibliográfico

Para recabar información acerca del módulo tipo marmita y su interfaz IoT, se debe acceder a fuentes bibliográficas que sean de fuentes académicas, para lo cual se accedería en

repositorios digitales y documentación relacionada con el tema permitiendo optimizar el diseño propuesto.

Experimental:

Sera implementado al momento de construir el módulo tipo marmita, para poder validar su diseño y su respectivo funcionamiento.

Método deductivo:

Este enfoque se fundamenta en conceptos y saberes amplios que nos posibilitan obtener soluciones específicas durante la ejecución del proyecto, particularmente en el desarrollo del módulo tipo marmita que controla el nivel, temperatura y tiempo de agitación de la mezcla

Hipótesis

¿Diseñar e implementar un módulo tipo marmita que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación para elaborar una disolución, permitirá el correcto funcionamiento del sistema ensamblado con los diferentes módulos de la línea y la correcta visualización de datos por medio de un sistema ciberfísico?

Variable Independiente

El módulo tipo marmita que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación

Variable Dependiente

Funcionamiento del sistema ensamblado con los diferentes módulos y la visualización de datos

Capítulo II:

Fundamentación teórica del sistema

Introducción a Automatización Industrial (evolución)

La historia de la automatización data desde la época de la prehistoria con la creación e implementación de las primeras herramientas, en las cuales utilizaban las cargas animales para satisfacer trabajos monótonos o cotidianos dentro del diario vivir, con el pasar de los años y los avances tanto en tecnología como en herramientas, se vieron más simplificados una gran variedad de procesos.

Con la automatización, lo que se busca es tener el poder de optimizar la forma de trabajar y como se obtienen los productos finales a partir de una diversa serie de tareas permitiendo de esta forma mejorar la calidad y reducir los tiempos que normalmente tomaría su elaboración, siendo el auge de esta evolución, a partir del siglo XX con la aparición de elementos eléctricos y electromecánicos (Agudelo et al., 2020).

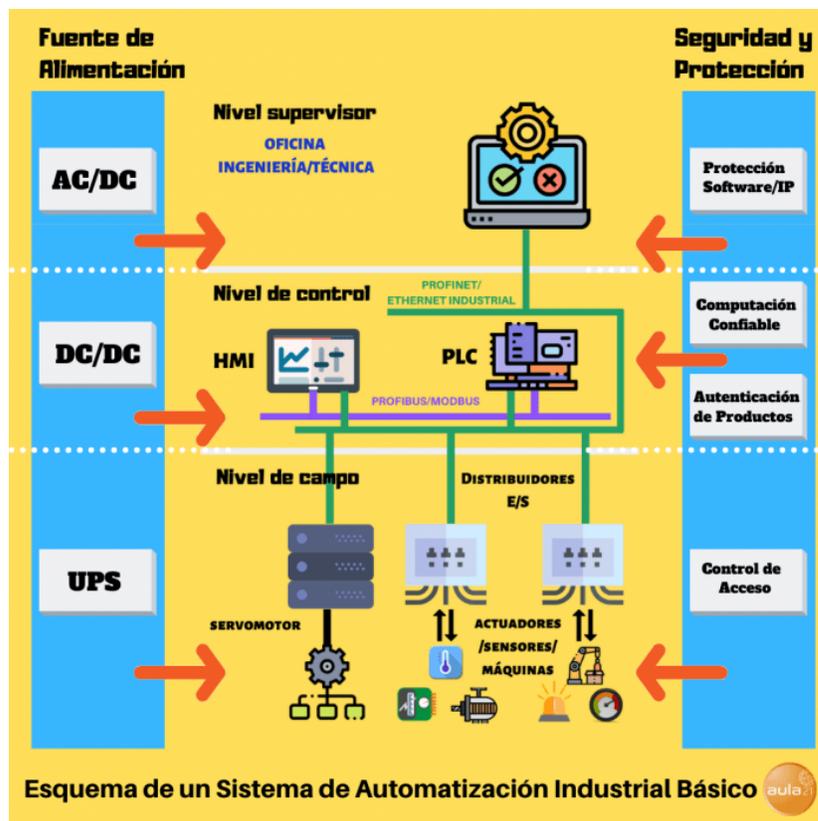
A partir de la implementación de mecanismos, se inició la construcción de autómatas que realizarían tareas sencillas y repetitivas sin un mayor nivel de control, posteriormente se fueron adaptando dichos dispositivos para cumplir con un ciclo de producción por medio de una línea de ensamblaje, las cuales son parte de la automatización industrial actual.

En la actualidad, la automatización industrial busca poder controlar ciertos tipos de variables por medio de la implementación de actuadores y controladores que se encarguen de regular la forma en la que estos funcionan, para obtener los valores de las variables dentro del proceso, se utilizan sensores los cuales transforman los fenómenos físicos en señales eléctricas que pueden ser leídas por el controlador

En el ámbito de la automatización industrial, se han creado diferentes niveles que se encargan de explicar su funcionamiento adecuado (Aula 21, 2023), en total se compone de tres, los cuales son: nivel de supervisión, nivel de control y nivel de campo.

Figura 1

Niveles dentro de la automatización industrial



Nota. Tomado de (Aula 21, 2023)

Técnicas de control en procesos industriales

Dentro de los sistemas industriales existen una serie de procesos que debe ser controlados para cumplir con las necesidades productivas del cliente, estos procesos de control son realizados por medio de sensores y actuadores, los cuales operan dentro de tres (EMAC, 2021) zonas las cuales son:

Zona Empresarial

Se conforma por redes industriales los cuales son vinculados por sistemas empresariales, estos tienen la capacidad de actualizarse constantemente y se basan en protocolos de conexión IP los cuales se conectan a redes externas por medio de internet.

Zona de control

Dentro de la zona de control toman parte los sistemas SCADA, los cuales tienen como objetivo obtener los datos de las diferentes variables existentes, los cuales se van actualizando en tiempo real por medio de un protocolo IP

Zona de campo

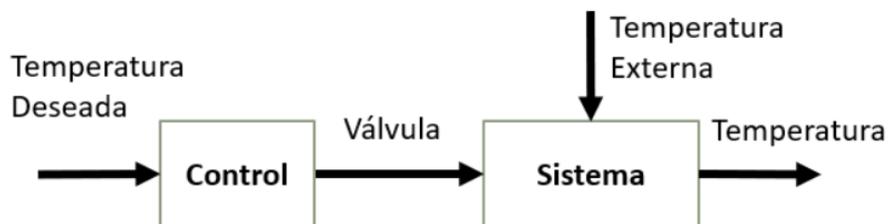
Esta zona también se conoce como operativa, es donde se encuentran los dispositivos de forma física, además de las diferentes redes que se encargan de la automatización y el control en sí, suelen ser elementos que brinda una elevada seguridad dentro del sistema además de ser sumamente confiables.

Tipos de sistemas de control industrial

Los sistemas de control pueden ser de dos tipos dependiendo de su retroalimentación, estos pueden llegar a ser de sistema de control de lazo abierto, o de lazo cerrado

Sistema de control de lazo abierto

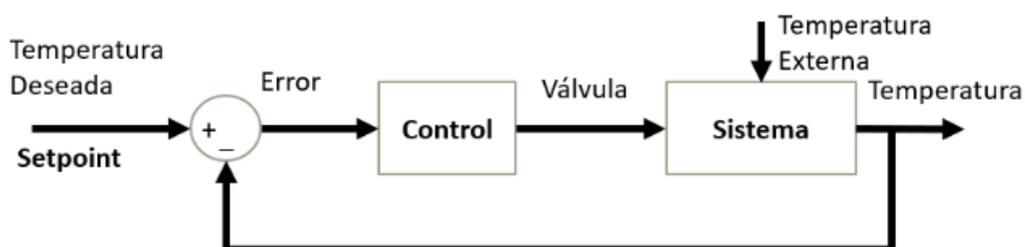
Son sistemas que se encargan de generar una tarea sin tener retroalimentación de como la variable del proceso se encuentra evolucionando, esto permite que su control sea sencillo, pero es muy susceptible a interferencias ajenas al sistema, estos errores pueden generar que el sistema falle de manera parcial o en su totalidad.

Figura 2*Sistema de control lazo abierto*

Nota. Tomado de www.controlautomaticoeducacion.com por (Castaño, 2023)

Sistema de control en lazo cerrado

Los sistemas de control de lazo cerrado cuentan con sensores a la salida del proceso que permiten una retroalimentación del estado de la variable a la salida del actuador, en base a esto pueden modificar el funcionamiento de los mismos para llevar al sistema al setpoint preestablecido por el usuario, permitiendo mayor seguridad y confianza en el producto entregado al final.

Figura 3*Sistema de control en lazo cerrado*

Nota. Tomado de www.controlautomaticoeducacion.com por (Castaño, 2023)

Controladores discretos

Son aquellos que ocupan señales muestreadas para poder generar una retroalimentación de forma óptima, entre estos controladores se pueden encontrar los PID o los de modelado matemático

Sistemas de control distribuido

Son sistemas que se encargan de distribuir los controladores a lo largo de toda la planta para evitar la centralización del sistema, estos utilizan bucles de control que se encuentran sistematizados, permitiendo que exista una mayor fiabilidad y seguridad en el proceso

Los DCS permiten que existan varios controladores existiendo en armonía haciendo que a su vez los procesos sean más simples y se realicen con mayor rapidez. (EMAC, 2021)

Sistemas de control SCADA

El sistema SCADA es un sistema de supervisión y adquisición de datos, consta de una parte física y de software, con la cual se puede controlar procesos, monitorear y recopilar información y tener un mayor control de calidad

Controlador lógico programable

El controlador lógico programable (PLC) es un sistema que permite el control de variables por medio de contactos, los cuales se abren o cierran en función de la programación del mismo, estos son utilizados en la industria para diferentes procesos, a su vez permiten la entrada de valores tanto digitales como analógicos.

Espacios ciberfísicos

Según (Foundation, 2014) los sistemas ciberfísicos son “sistemas construidos a partir de la integración transparente de componentes físicos y computacionales, que permitirán superar a los simples sistemas integrados actuales en cuanto a capacidad, adaptabilidad, escalabilidad, resiliencia, seguridad y usabilidad.”

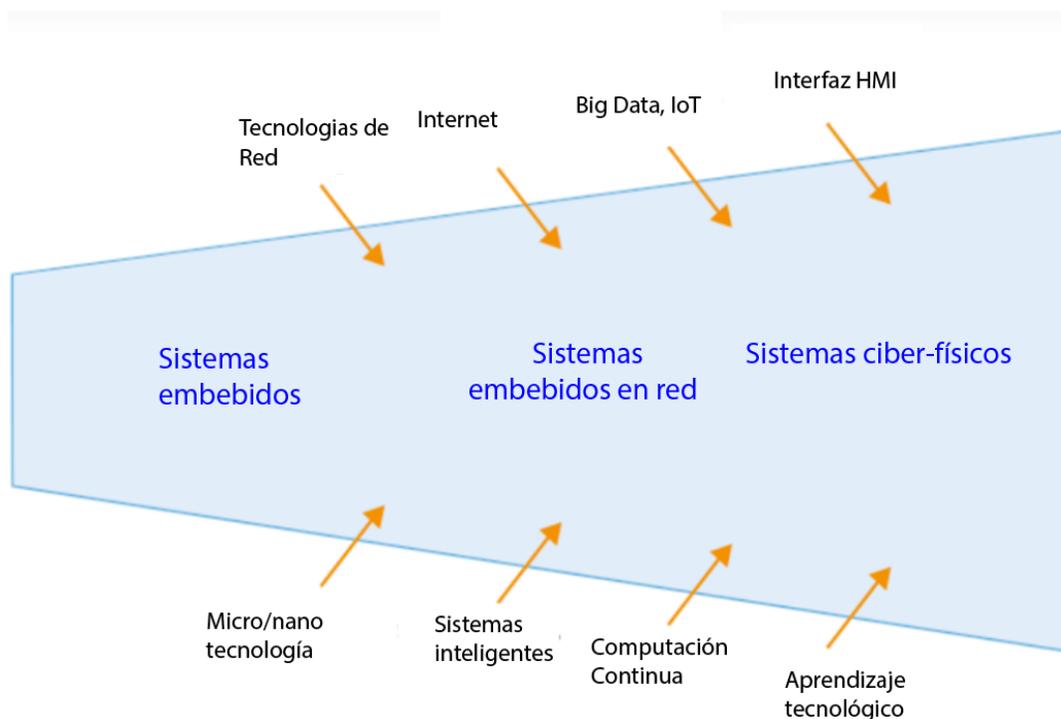
Este tipo de sistemas, está ganando espacio en la industria debido a la facilidad del acceso a los datos de las variables que están siendo controladas en el sistema, permite la interacción entre el usuario y el proceso de una forma sencilla y rápida.

El manejo y uso de datos que se pueden generar en una línea de producción, son recopilados por este sistema, clasificando y optimizándolos en el proceso, por lo cual se le reconoce como el proceso de la industria 4.0, es decir industria inteligente y automatizada en su totalidad.

Un ejemplo de cómo se manejan este tipo de sistemas puede ser apreciado en el cuadro de la Figura 4

Figura 4

Estructura sistemas ciberfísicos



Nota. Tomado de ticnegocios.camaravalencia.com por (Cámara de Valencia, 2022)

Aplicaciones de los sistemas ciberfísicos

Los sistemas ciberfísicos son empleados en la actualidad en una gran cantidad de situaciones, por lo general se los ve aplicados en áreas relacionadas con la tecnología, entre ellas las principales son

- Software
- Servicios
- Nube
- Big Data
- Producción

Módulos didácticos técnicos

Los módulos didácticos son un conjunto de elementos o sistemas que permiten simular una situación real que puede llegar a suceder a nivel industrial, esto permite a los estudiantes tener una formación técnica comprendiendo conceptos prácticos y teóricos, con esto se permite la experimentación y optimización del aprendizaje dentro de los laboratorios de un centro educativo, cuentan con un conjunto de sensores y controladores, los cuales pueden llegar a ser manipulados para una mejor enseñanza (FESTO Didactics, 2020), los propósitos de un módulo didáctico son los que se muestran a continuación

Aprendizaje práctico

Permite al usuario tener una experiencia cercana con un ambiente real permitiendo que exista una mejora en sus habilidades y criterios

Experiencia interactiva

El usuario al practicar con componentes y sistemas reales, puede experimentar con problemas y circunstancias que pueden llegar a darse en un entorno industrial.

Simulación de entornos reales

Al incorporar sistemas a escala, se permite imitar las condiciones de la industria, lo que mejora el entendimiento al respecto del tema

Desarrollo de habilidades de resolución de sistemas

Los usuarios pueden a cómo actuar al momento de tener un problema de carácter industrial y el cómo se debe interceder ante dichas complicaciones permitiendo tener una mayor capacidad ante desafíos técnicos

Preparación ante la industria

Mejora la capacidad de empleabilidad de los estudiantes al momento de postular a industrias por su conocimiento

Figura 5

Módulo didáctico



Nota. Tomado de festo.com realizado por (FESTO Didactics, 2020)

Definición de una marmita

La definición de lo que es una marmita, varía entre autores e investigaciones, según (Erazo, 2012) se puede afirmar que:

La historia nos indica que la marmita fue creada en Francia por el inventor, matemático y físico francés Denis Papin que lo diseñó por primera vez en el año 1679. Denis Papin hizo el primer diseño de la marmita con el objeto de estudiar los efectos de la producción de vapor en recipientes cerrados. (pág. 16)

La marmita se la puede definir como una olla de presión o también como un recipiente metálico hermético, con tapa atornillada y que en algunos casos posee un sistema de agitación por medio de paletas en el que la presión interna del vapor, contribuye eficientemente a la cocción de los alimentos con rapidez o también en la fabricación de mermeladas, jaleas, chocolates, bocadillos, salsas, aderezos, etc. (pág. 31)

Funcionamiento

En el funcionamiento de una marmita es necesario que cuente con una serie de componentes, estos son:

- Recipiente metálico de grado alimenticio con una tapa
- Entrada de solvente y soluto
- Salida de producto
- Agitador
- Válvulas de control

El proceso de funcionamiento de la marmita consta de varios pasos, primero la marmita debe recibir los elementos que se disolverán dentro de la misma, una vez los solutos estén

ubicados en su posición, la marmita esta predispuesta para receptor el líquido que va a actuar como solvente.

Cuando el nivel del líquido este en su punto, se debe encender el elemento calefactor, esto se realiza en este punto para evitar que el metal del que se encuentra fabricado la marmita sufra un esfuerzo térmico que puede llegar a ser fatal para la misma, para que el líquido se caliente de forma adecuada, el agitador debe encenderse periódicamente, permitiendo que el calor se distribuya de manera uniforme, una vez la disolución haya llegado a su temperatura preestablecida, esta puede iniciar con su proceso de agitación.

Cuando la marmita haya finalizado con su proceso de mezclado, debe evacuar todo el líquido que se encuentra en ella y consecuentemente ser limpiada por un operador para que esté lista para poder recibir producto nuevamente.

Se debe tener en cuenta que dependiendo del tipo de marmita que se utilice, las indicaciones para su funcionamiento pueden variar, además de ello es necesario comprender que el calentamiento del sistema cambia y puede modificar la presión del sistema

Tipos de marmitas

Las marmitas se pueden clasificar de dos formas diferentes, según su diseño (Cruz, 2022), o según la forma en la que adquiere calor (Imbett, 2022) estos tipos serán definidos a continuación:

Clasificación de marmitas según su diseño

Las marmitas se pueden clasificar por su diseño en base al tipo de sistema que estas poseen, es decir si es un sistema abierto, o uno cerrado.

Marmitas abiertas

En las marmitas abiertas, el producto que está en su interior es calentado y agitado a una presión atmosférica, es decir no poseen un sistema que genere una presión adicional dentro de su sistema.

Figura 6

Marmita abierta



Nota. Recuperado de <http://mainfruver.blogspot.com/> (Anónimo, 2011)

Marmitas cerradas

Dentro de las marmitas cerradas, se aplica el uso de un sistema de vacío para extraer el aire y de esta forma poder aumentar de forma considerable la presión del sistema, lo cual permite que se emplee menos temperatura por parte del generador de calor para hervir los productos, cabe recalcar que estos dispositivos al estar presurizados, deben contener los dispositivos de seguridad necesarios

Figura 7*Marmita cerrada*

Nota. Tomado de ig.com.ar por (IG, 2023)

Clasificación de marmitas según su calentamiento

Las marmitas se pueden clasificar también, según el mecanismo que emplean para generar el intercambio de calor y también el tipo de mecanismo que tienen dentro de la marmita para su vaciado, a continuación, se detallan algunos de los mismos

Marmita a gas

Las marmitas a gas cuentan con un quemador que funciona a presión atmosférica, el cual es alimentado por medio de gas licuado de petróleo (GLP), por lo cual, cuentan con una serie de accesorios para la evacuación de gases que pueden ser nocivos para la salud, además de ello, poseen un encendido eléctrico y controles de presión para manejar la intensidad de la llama generada por el gas, esta llama calienta el agua existente dentro de un

depósito el cual al llevar al punto de ebullición al líquido, genera vapor dentro de la doble camisa de la marmita, el cual se encargaría de distribuir uniformemente el calor a lo largo de todo el sistema, o a su vez, puede utilizar el calor directamente a la superficie de la marmita, calentando el sistema por medio del fuego, al ser un instrumento de grado alimenticio, debe ser construido con elementos de grado sanitario, el cual por lo general es de acero inoxidable de 3mm de espesor ya que está en contacto con superficies calientes, además de ser sometido a esfuerzos debido a la presión general del sistema (INGLESA, 2018).

Según (Imbett, 2022) este modelo también cuenta con una serie de accesorios que por lo general son:

- Motor
- Agitador
- Dispositivos de seguridad
- Manómetro
- Sensores de nivel
- Termostato

Para poder optimizar el proceso, es necesario contar con un sistema de volcamiento o evacuación del producto final desde el interior de la marmita.

Figura 8*Marmita de gas*

Nota. Tomado de reimse.mx por (REIMSE, 2023)

Marmita a vapor

Según (Erazo, 2012) la marmita de vapor es:

Consiste básicamente en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar. El calentamiento se realiza haciendo circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por la caldera. (p.32)

Las marmitas de vapor, pueden tener su propia cámara de vapor integrada a su sistema, o a su vez puede ser externa

Figura 9*Marmita de vapor*

Nota. Tomado de <https://repository.usta.edu.co/> por (Imbett, 2022)

Como se puede apreciar en la Figura 9 la marmita tiene una doble camisa que funciona con vapor recalentado, cabe recalcar que al ser este el medio de calentamiento, debido a un fenómeno físico, el mismo pasara de su estado sólido al líquido por medio de un proceso de condensación, es por eso que en la parte inferior de la doble chaqueta, es necesario que exista una fuga de agua para evitar que esta agua se acumule y llegase a evitar el correcto flujo del vapor lo que daría paso a que el sistema pierda calor.

Marmita eléctrica

Las marmitas eléctricas generan la transferencia de calor por medio de electricidad, estas suelen ser empleadas principalmente cuando el lugar donde serán implementadas, no cuenta con instalaciones de vapor o de gas licuado de petróleo, su característica es la fiabilidad y seguridad que pueden llegar a brindar al sistema.

Este modelo de marmita, funciona por medio de un tablero eléctrico de control, en el cual se deberá ubicar un controlador encargado de que los procesos del sistema se cumplan de forma adecuada, además de ello se debe considerar que existe un consumo considerable

de corriente, para que los actuadores eléctricos funcionen de la manera necesaria para elevar la temperatura a niveles altos.

Figura 10

Marmita eléctrica



Nota. Tomado de <https://lacasadelchef.net/> por (LCC, 2023)

Marmitas basculares

Este tipo de marmitas se encuentran suspendidas entre dos columnas lo que permite bloquear su postura en caso de ser necesario por medio de mecanismos hidráulicos, esta bascula el sistema de manera muy uniforme, lo que permite agitación sencilla y fácil, al estar entre dos columnas, permite que el vaciado del sistema se realice con facilidad

Figura 11*Marmita bascular*

Nota. Tomado de mecal-sa.com por (Mecalsa, 2023)

Sistema de agitación

El sistema de agitación es necesario en este sistema para facilitar un movimiento que llegue a generar una turbulencia elevada, logrando que el líquido dentro de la marmita posea un número de Reynolds elevado, con eso se logra que el calor se transfiera de forma adecuada a lo largo de la sustancia que se encuentra siendo tratada (Chitalogro, 2019).

Para el diseño correcto de un sistema de agitación es necesario que este cuente con los siguientes elementos

- Agitador
- Motor

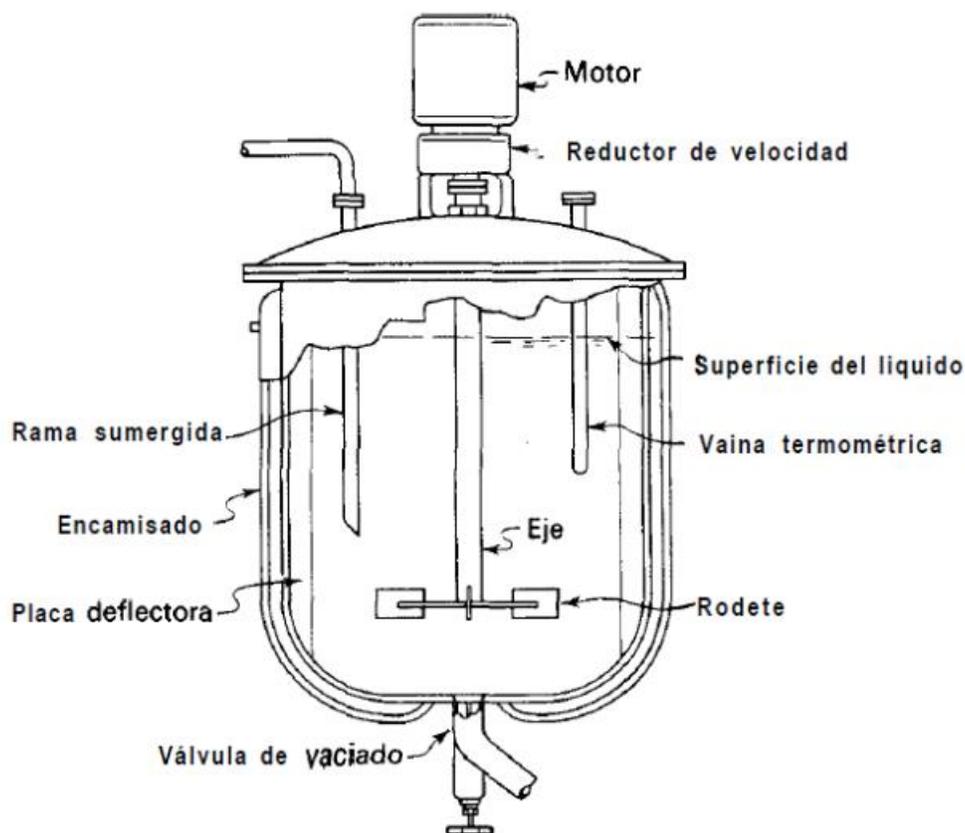
Para que el sistema de agitación funcione de forma correcta, se debe tomar en consideración la forma del tanque, estos por lo general pueden tener una forma esférica o una cilíndrica, en el centro tienen un eje vertical, el cual se encargará de tener el agitador acoplado,

para este caso en específico para el tanque se deberán considerar las especificaciones que proporciona (INGLESA, 2018).

El fondo del tanque debe ser redondeado para evitar que existan rincones o rebordes que puedan presentar un obstáculo donde no puedan llegar a penetrar de forma adecuada las corrientes de agitación

Figura 12

Ejemplo de un sistema de agitación



Nota. Tomado de quimicaitatljmm.files.wordpress.com por (Anónimo, 2023)

Agitador

Según (Picho, 2016) los agitadores dentro de un sistema de agitación se definen como:
 “Los agitadores son dispositivos impulsados por un rodete que se utilizan para homogenizar,

emulsionar una solución que se encuentra en un recipiente. Es importante indicar que el tipo de agitador se debe elegir de acuerdo a la viscosidad del fluido a homogenizar” (p.25)

Tomando esto en cuenta existen varias consideraciones que se deben tomar en cuenta para el diseño de un agitador, para ello se deben definir de una forma adecuada las partes de las que se encuentra compuesto el mismo.

Partes del agitador

Las partes de un agitador se dividen en tres:

- Motor (reductor)
- Eje
- Rodete

Donde en función del rodete se puede clasificar los diferentes tipos de agitador, cabe mencionar que este es el que se encarga de elevar el número de Reynolds dentro de la disolución, los rodetes pueden llegar a ser de dos clases

- Rodetes de flujo axial: Generan corrientes de manera paralela a su eje
- Rodetes de flujo radial: Generan las corrientes de manera tangencial o radial a su eje

Tipos de rodetes

Como se mencionó anteriormente los rodetes son los que definen el tipo de agitador, de esta forma se podría decir que existen tres grupos principales de agitadores, estos pueden ser los siguientes

Agitador de paletas planas

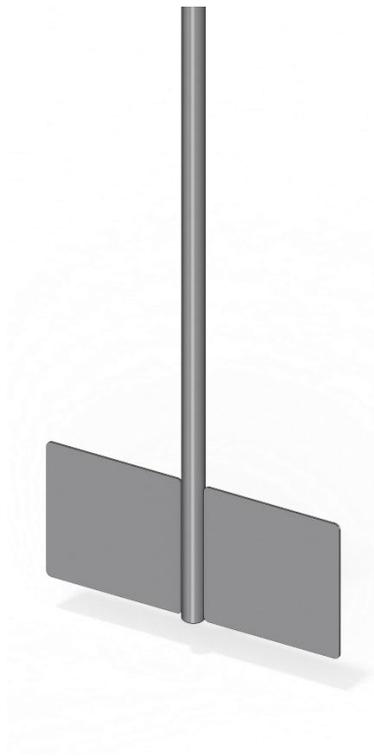
Este tipo de agitador es el más común dentro del mercado, se trata de una serie de palas planas que se encuentran fijas al eje del agitador, por lo general cuentan con un sistema

que va de 2 a 4 paletas, para esto es necesario que se utilice velocidad bajas o moderadas, esto desplaza las corrientes hacia las paredes.

Cuando se las implementa en tanques que tienen una altura considerablemente elevada, estos cuentan con una serie de palas instaladas a lo largo del mismo eje, es decir que se deben colocar la misma cantidad paletas varias ocasiones a lo largo del eje para lograr que exista una agitación apropiada.

Figura 13

Agitador de paletas planas



Nota. Tomado de <https://www.rvt-systeme.de/> por (RVT, 2023)

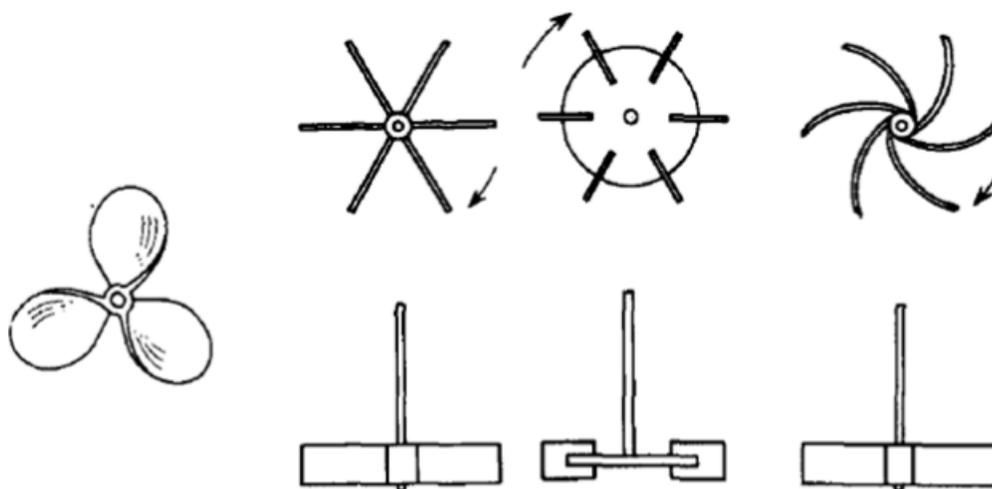
Agitador de turbina

El agitador tipo turbina puede ser realizado a partir rectas o curvas las cuales pueden ser inclinadas o verticales, el diámetro de este tipo de rodete debe ser menor que el de las palas, siendo ligeramente inferior al diámetro del tanque.

Este tipo de agitador es bueno para ser implementado cuando se encuentra en presencia de un líquido con bajas viscosidades generando corrientes que persisten a lo largo de todo el tanque, elevando material que está estancado en el fondo del tanque, la distribución de este tipo de rodets se puede apreciar en la

Figura 14

Formas de un agitador tipo hélice



Nota. Tomado de quimicaitatljmm.files.wordpress.com por (Anónimo, 2023)

Agitador de hélice

El agitador tipo hélice tiene incorporado un rodete de tipo axial, el cual funciona con motores de alta velocidad, se recomienda emplearlo cuando se encuentren agitando líquidos de baja viscosidad, se implementan frecuentemente en tanques grandes ya que su forma facilita que las corrientes de turbulencia se expandan por todo su volumen (Anónimo, 2023).

Figura 15

Agitador tipo hélice



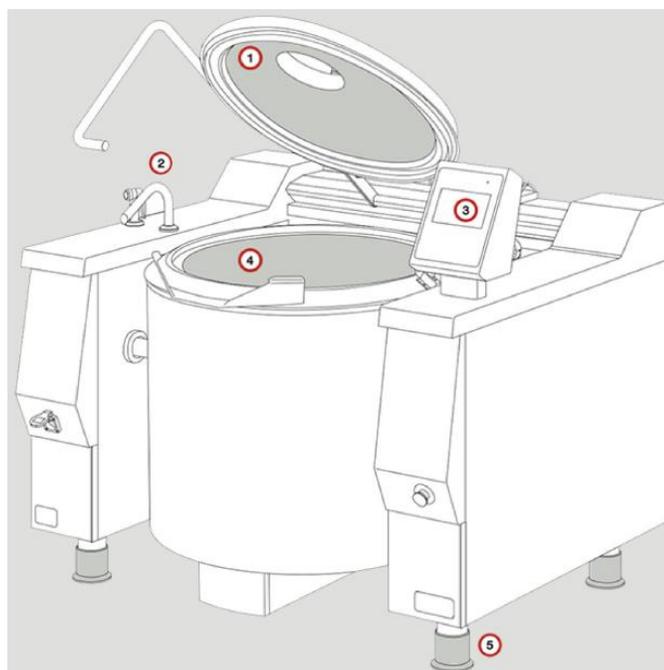
Nota. Tomado de <https://novatecmixers.com/> (Novatec, 2023)

Tecnología actual de las marmitas

En la actualidad, la construcción de marmitas ha ido incorporando una variedad de sistemas de última generación, los cuales facilitan el trabajo y acceso a los diferentes procesos de control para la evolución adecuada de las variables, para ello se han ido implementando interfaces de visualización por medio de paneles táctiles entre otros tipos de sistemas, según (Firex, 2023) lo último que se ha implementado en el desarrollo de marmitas industriales, consiste en una automatizada que se controla por medio de una interfaz táctil, posee un control inteligente que le permite reaccionar a interferencias externas

Figura 16

Marmita con mezclador Baskett elaborada por Firex



Nota. Tomado de <https://www.firex.com/es/soluciones/baskett/> por (Firex, 2023)

Donde:

1. Tapa
2. Grifo
3. FTC
4. Doble fondo
5. Mezclador
6. Cuba
7. Pies

El controlador se encuentra vinculado en la interfaz HMI del panel táctil ubicado en la esta interfaz puede ser encontrado con mayor detalle en la *Figura 16*

Figura 17

Interfaz de control HMI Firex



Nota: Tomado de <https://www.firex.com/es/soluciones/baskett/> por (Firex, 2023)

Capítulo III:

Diseño y Selección de Componentes del Sistema

Definición del sistema

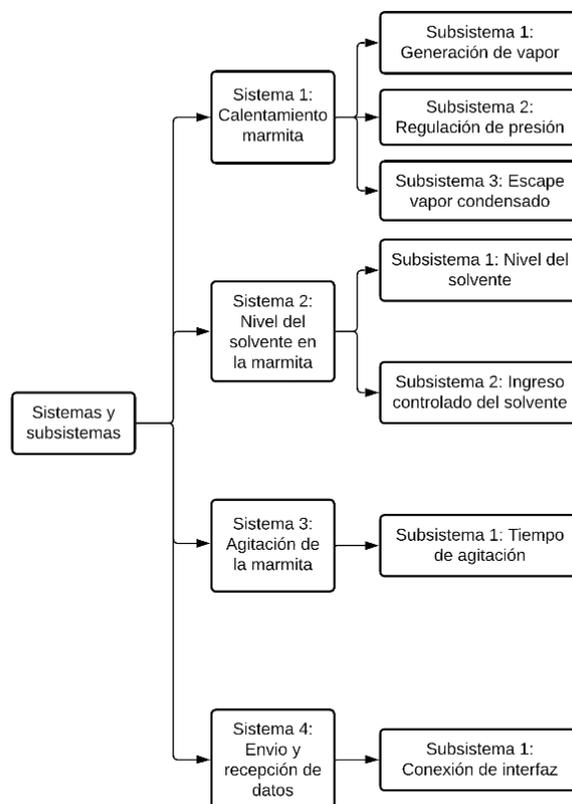
El presente trabajo de investigación, busca implementar de forma correcta una marmita capaz de vincularse por medio de IoT a una interfaz que permita la visualización y designación de parámetros de control,

Selección de variables de control

Para comprender las variables que deben ser controladas, es necesario clasificar los sistemas y subsistemas del módulo tipo marmita, este proceso se realiza en la Figura 16 que es donde se puede apreciar la división de los mismos

Figura 18

Sistemas y subsistemas del módulo marmita



Una vez se han establecido cuales son los sistemas y subsistemas se deben identificar las variables de control que existen en cada una de ellos

Variables de control sistema 1

Como se puede apreciar en Figura 18 el sistema 1 se encarga del calentamiento de la marmita, siendo entonces la variable de control la temperatura, el cual será realizado por medio de un actuador que será seleccionado posteriormente dentro de esta investigación, de igual manera se controlaría la presión en la chaqueta de la marmita por medio de una válvula de alivio y el vapor condensado con una trampa de vapor esto se realiza con el fin de evitar que exista una sobrepresión que pueda llegar a ser peligrosa para el módulo tipo marmita y para evitar que el vapor condensado enfríe al sistema.

Variables de control sistema 2

Dentro del sistema 2 se debe controlar la cantidad de solvente que ingresa en la marmita, esto se realiza por medio de control de nivel, esto se busca realizar por medio de transferencia del solvente desde el recipiente de almacenamiento hasta la marmita

Variables de control del sistema 3

En el sistema 3, se busca controlar el tiempo que debe estar encendido el agitador para poder diluir de forma correcta el soluto en el solvente para formar la disolución requerida, siendo entonces la variable de control el tiempo como tal

Variables de control del sistema 4

Dentro del sistema 4 se debe tomar la consideración de que este se encuentra dentro de un entorno virtual, es decir este será manipulado por medio de la interfaz de usuario que ha sido propuesta dentro del presente trabajo investigativo, además de ello está relacionado directamente con el controlador que será escogido en la sección de selección de materiales y componentes, por lo cual, dentro de este sistema, no existen variables de control.

Definición de especificaciones del sistema

Después de que se han definido los respectivos sistemas y subsistemas del módulo tipo marmita, se deben enumerar las especificaciones con las que debe contar el sistema, las cuales pueden ser apreciadas en la Tabla 1 estas deben ser tomadas en cuenta para la construcción del modelo, las cuales poseerán una ponderación que va del 1 al 5, esto según (Falco, 2009)

Tabla 1

Especificaciones del sistema

Núm.	Requisito	Ponderación
1	Fácil uso	5
2	Reprogramable	5
3	Portátil	4
4	Educativo	4
5	Interfaz de control	5
6	Seguro	4
7	Robusto	4
8	Automático	3
9	Desarmable	3
10	Económico	3

Nota. La tabla muestra los aspectos que se deben tomar en cuenta para la construcción y desarrollo del módulo tipo marmita para su uso dentro del laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

Estas especificaciones son definidas según las necesidades del cliente, que en este caso son los docentes y estudiantes que hacen uso del laboratorio

Especificaciones técnicas del sistema

Una vez fueron definidas las especificaciones que necesita el sistema, se procede a conceptualizar las necesidades técnicas para cumplir con lo postulado en la Tabla 1, esta parte

es sumamente importante para la selección de materiales que se realizara posteriormente, para la cual se utilizara la matriz QFD, en la se pueden revisar las métricas técnicas.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del sistema

Núm.	Métricas	Donde se implementan
1	Volumen	Sistema 2
2	Tamaño (Altura)	Diseño mecánico
3	Tipo de calefacción	Sistema 1
4	Tipo de agitador	Sistema 3
5	Ingreso soluto	Sistema 2
6	Ingreso solvente	Sistema 2
7	Salida solución	Sistema 2
8	Control	Sistema 4
9	Almacenamiento solvente	Sistema 2
10	Tiempo de funcionamiento	Sistema 3
11	Material del sistema	Diseño mecánico
12	Tipo de interfaz	Sistema 4
13	Tipo de válvulas	Diseño mecánico
14	Recipiente soluto	Diseño mecánico
15	Sensorización	Sistema 4

Nota. La tabla muestra los requerimientos necesarios para que el proceso pueda ser ejecutado de forma correcta.

Desarrollo de la función de calidad (QFD)

La matriz QFD es una técnica que se aplica para buscar relacionar las necesidades del cliente con una serie de métricas que permitan solucionarlas, se puede definir como: “Un sistema detallado para transformar las necesidades y deseos del cliente en requisitos de diseños de productos o servicios” (Artur y Falco, 2009).

Esta matriz permite identificar de manera eficiente que tan eficientemente se puede llegar a realizar el sistema, sin descuidar ninguno de los aspectos necesarios para poder ser competitivo en el mercado y poder compararse con la competencia e incluso superarla

ofreciendo productos de mayor calidad verificando de igual manera en que nivel se están cumpliendo con las exigencias del sistema.

Para realizar las comparaciones de las métricas con las necesidades, se debe implementar una serie de relaciones entre los requerimientos del cliente generando así una jerarquía, la cual se presenta en la Tabla 3 y Tabla 4

Tabla 3

Consideraciones para jerarquía en matriz QFD

Relación	Símbolo	Valor
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1
No aplica	-	0

Nota. La tabla indica los símbolos y sus respectivos valores cuantitativos matriz QFD

Tabla 4

Consideraciones para jerarquizar métricas en matriz QFD

Símbolo	Significado
++	Fuertemente positiva
+	Positiva
-	Negativa
▼	Fuertemente negativa

Nota. La tabla proporciona información de la relación que existe entre los diferentes requerimientos del cliente.

Adicionalmente se maneja una referencia para poder definir si las métricas se quieren maximizar, minimizar o a su vez se alcanzadas, esto se puede apreciar en la Tabla 5

Tabla 5

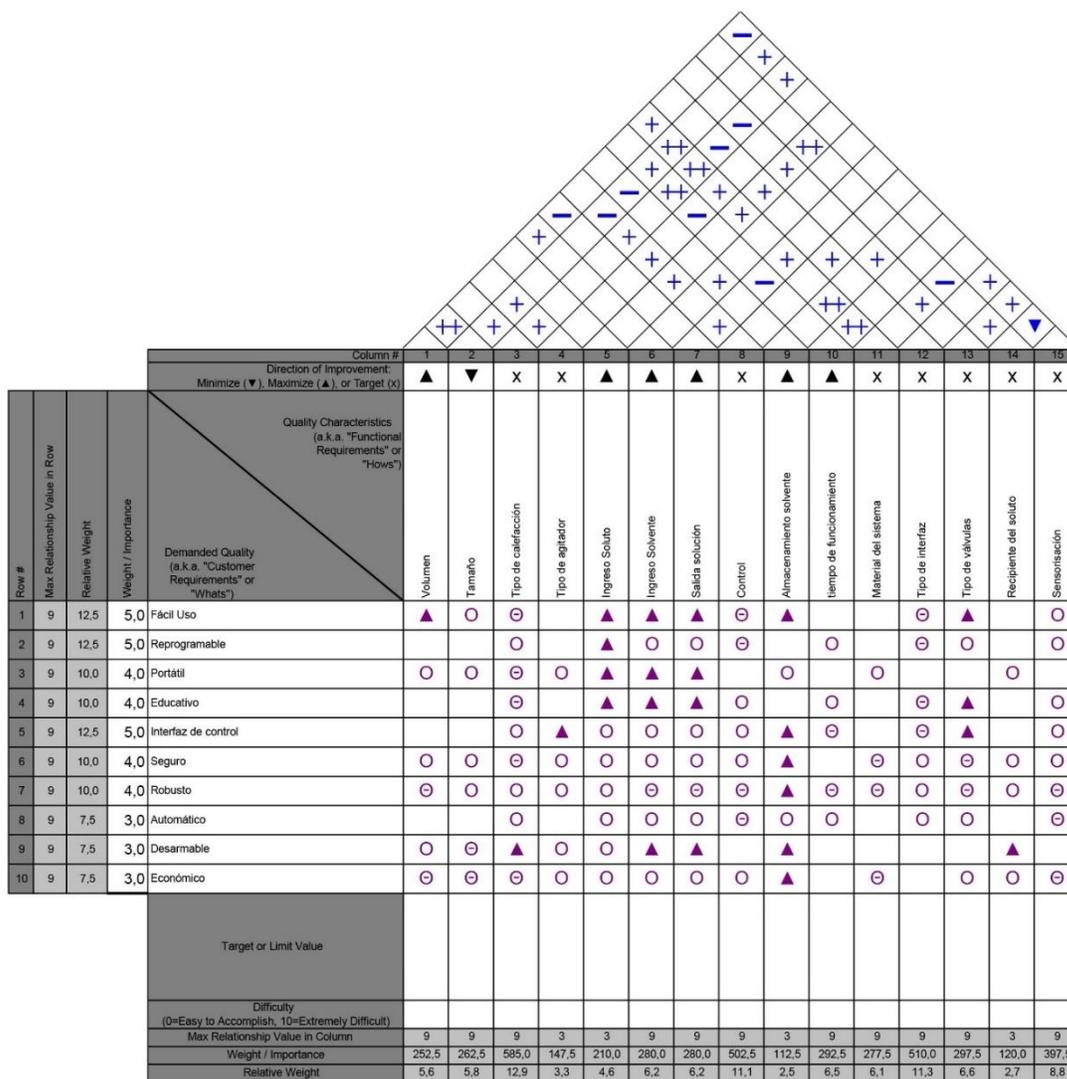
Consideraciones para clasificar la importancia de las métricas

Símbolo	Significado
▲	Objetivo a maximizar
▼	Objetivo a minimizar
x	Objetivo a alcanzar

Nota. La tabla representa la simbología que permite definir el fin de la métrica, es decir a donde se quiere llegar con la misma

Figura 19

Matriz QFD



Nota. La presente matriz tiene como finalidad representar las ponderaciones relativas y absolutas de las métricas en función de la importancia de las características solicitadas por los clientes, para mayor claridad se la puede encontrar en la sección de anexos

Resultados obtenidos de la Matriz QFD

Dentro de la matriz QFD se pueden llegar a evidenciar cuales son las métricas que generan un mayor impacto al momento de desarrollar el módulo tipo marmita, los cuales pueden ser clasificados según un orden jerárquico, en base a su nivel de importancia, además de esto los valores de los pesos relativos pueden ser utilizados para realizar posteriormente la matriz de selección de componentes, los valores obtenidos a partir del análisis de calidad se pueden evidenciar en

Tabla 6

Resultados Matriz QFD

Núm.	Métricas	Puntaje	Porcentaje
1	Tipo de calefacción	585	12,9
2	Tipo de interfaz	510	11,3
3	Control	502,5	11,1
4	Sensorización	397,5	8,8
5	Tipo de válvulas	297,5	6,6
6	Tiempo de funcionamiento	292,5	6,5
7	Salida solución	280	6,2
8	Ingreso solvente	280	6,2
9	Material del sistema	277,5	6,1
10	Tamaño (Altura)	262,5	5,8
11	Volumen	252,5	5,6
12	Ingreso soluto	210	4,6
13	Tipo de agitador	147,5	3,3
14	Recipiente soluto	120	2,7
15	Almacenamiento solvente	112,5	2,5

Nota. Los datos de la tabla se encuentran ordenados de mayor a menor según el porcentaje de sus pesos e importancia

Como se puede apreciar en la matriz, la selección del tipo de calefacción es el punto más importante al momento de desarrollar el módulo tipo marmita, por otro lado, el tipo de interfaz del usuario que es la segunda métrica más importante, será desarrollada en el transcurso de la presente investigación

Matriz de selección de componentes

Para el proceso de selección de componentes, se realiza planteando un sistema de calificación que se basa en una escala del 0 al 4, esta tiene 5 niveles los cuales son especificados en la Tabla 1, esta es una modificación de la norma ISO 1004 (Cifuentes et al., 2000)

Tabla 7

Ponderación métricas de selección de componentes

Puntuación	% del óptimo	Significado
0	< 35	Insatisfactorio
1	36-50	Poco satisfactorio
2	51-75	Medianamente satisfactorio
3	76-90	Satisfactorio
4	>90	Muy satisfactorio

Nota. Tomado de (Cifuentes et al., 2000)

Definición y selección de componentes

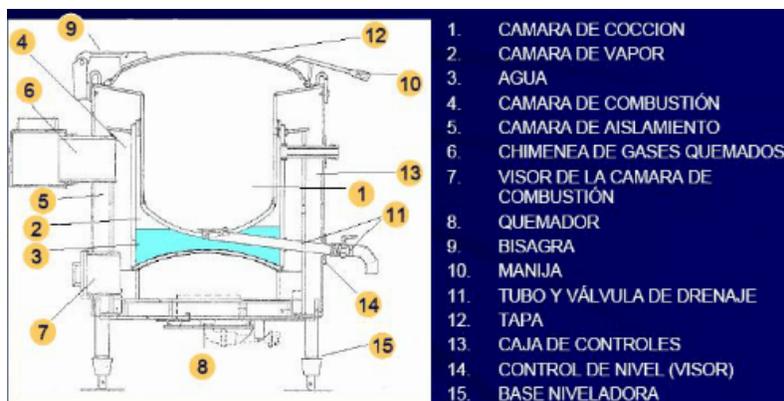
En esta sección se plantean todos los elementos que se utilizarán para la construcción del módulo tipo marmita, con esto se busca seleccionar de entre varias posibilidades la mejor alternativa, para esto se debe tomar en cuenta los diferentes actuadores y sensores que se utilizan en los diferentes sistemas y subsistemas del proyecto, además de esto, también se tomará en cuenta las diferentes ponderaciones que se obtuvieron en la implementación de la matriz QFD,

Esquema de una marmita

Para poder comprender de manera adecuada los elementos que deben ser seleccionados (Gonzales, 2020) afirma que las partes de una marmita son

Figura 20

Esquema de una marmita



Nota. Tomado de Industriadelacteosblog.wordpress.com por (Gonzales, 2020)

Selección del tipo de marmita

Para seleccionar el tipo adecuado de marmita hay que tener en cuenta los límites de funcionamiento y los elementos disponibles en el entorno donde esta será instalada, además de esto, es necesario considerar que el sitio donde será implementado este módulo es el laboratorio de mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

Como se pudo apreciar en la sección Tipos de marmitas, existen varias configuraciones con las cuales se podría llegar a implementar este módulo, para escoger se consideran las siguientes métricas

- Tipo de calentamiento
- Independencia de funcionamiento
- Tamaño

- Costo
- Facilidad de control
- Disponibilidad de construcción

Opción 1: Marmita a gas

Las características de este tipo de marmita pueden ser revisados en la sección Marmita a vapor

Opción 2: Marmita a vapor

Las características de este tipo de marmita pueden ser revisados en la sección Marmita a vapor

Tabla 8

Métricas para la selección del tipo de marmita

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Tipo de calentamiento	3	4
Independencia de funcionamiento	2	3
Tamaño	2	4
Costo	4	3
Facilidad de control	3	4
Disponibilidad de construcción	3	4
Total	17	22
Elegida para desarrollo	No	Si

A partir de la *Tabla 8*, se puede apreciar que se tiene que implementar la marmita de vapor para aprovechar de forma adecuada el entorno de trabajo, para la implementación de la misma se tienen que considerar una serie de parámetros que permitirán delimitar los límites de funcionamiento, al ser el módulo tipo marmita, una representación a escala de una marmita real, se obtendrán dichas características de trabajos de investigación previos que sean a fin con el curso del presente trabajo (Picho, 2016), y de consideraciones realizadas de parte del encargado del laboratorio.

Tabla 9*Crterios para el diseño de la marmita*

Ítem	Especificación
Presión	40 PSI
Capacidad	15 Lts
Tipo de soldadura	TIG
Acabado	Mate
Temperatura máxima	80 °C

Selección del controlador

El controlador es el dispositivo que se encarga de realizar las diferentes tareas de regulación en las variables de control, esto lo realiza por medio del uso de sensores y actuadores, para ello, es necesario conocer el tipo de sistema que se piensa implementar y como se realizaran dichas tareas, de igual forma es imprescindible tener en cuenta el lugar y entorno en el cual se piensa aplicar dicho sistema.

Opción 1: Controlador LOGO! V 8.3

El controlador LOGO! de la marca SIEMENS, es un PLC que cuenta con 8 entradas y 4 salidas , estas pueden tener un voltaje de máximo 220V AC/DC, cuenta con una pantalla y un sistema de navegación de la misma para poder facilitar su configuración y apreciar como realiza su funcionamiento, su alimentación se realiza por medio de 110V AC y sus salidas soportan un límite de 10 A, estos pueden ser integrados por distintos módulos de ampliación según los requerimientos del proyecto, además de esto, cabe recalcar que el módulo LOGO!, posee 2 entradas analógicas dentro de su sistema, este controlador cuenta con un puerto ethernet por medio del cual se debe cargar la programación dentro del mismo, además este tiene acceso al internet.

Figura 21

Controlador LOGO V8.3 de SIEMENS



Nota. Tomado de LOGO V8 por (SIEMENS, 2023)

Opción 2: Controlador ESP 32

El controlador ESP 32, es un micro controlador genérico que posee comunicación Wi-Fi, Bluetooth, su voltaje de funcionamiento es de 3,3V DC y posee un total de 38 pines que se encuentran distribuidos entre entradas y salidas, este tipo de controlador tiene varias funciones predeterminadas dentro de sus diferentes pines para facilitar el trabajo del sistema de control, las entradas y salidas del sistema pueden recibir hasta un voltaje máximo de 5V DC, no permite la entrada de señales AC, permite la vinculación de varios sensores al mismo tiempo y envío-recepción de datos por medio de internet, no permite la vinculación de módulos externos de forma directa, por lo cual, es necesario poder implementar diferentes técnicas para la correcta vinculación de los dispositivos, por lo general no son recomendados para utilizar elementos de potencia

Figura 22*ESP 32*

Nota. Tomado de (TSMC, 2023)

Criterios de selección para el controlador

Para la selección del controlador, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos que son importantes dentro del proyecto

- Número de entradas
- Número de salidas
- Voltaje máximo
- Corriente máxima
- Facilidad de vinculación
- Robustez

Estas métricas son evaluadas con los datos adquiridos de los diferentes proveedores en la Tabla 10 a continuación

Tabla 10*Criterios de selección del controlador*

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Número de entradas	3	4
Número de salidas	3	4
Voltaje máximo	4	2
Corriente máxima	4	2
Facilidad de vinculación	4	2
Robustez	4	2
Total	22	16
Elegida para desarrollo	Si	No

Nota: La opción 1 es la seleccionada para el desarrollo

Selección de electro-válvulas

Dentro del sistema, se emplearán varias electroválvulas, las cuales controlarán el flujo controlado de diferentes elementos dentro del sistema, en este proyecto específicamente se utilizarán dos, una para el ingreso del solvente y otra para la salida de la disolución resultante del proceso de calefacción y agitación, por decisión del autor, se implementarán las mismas válvulas en todo el sistema

Opción 1. Válvula solenoide de 12 DC, 1/2" U.S Solid

La válvula solenoide de U.S Solid se puede ver en la Figura 23, esta válvula es normalmente cerrada y posee una salida de 1/2", esta válvula funciona con un voltaje de 12V DC con una potencia media de 18W el rango de funcionamiento de presión va de 0-101 PSI para líquidos y un flujo unidireccional de 4,8 GPM y una temperatura de -10 a 120 °C, el cuerpo esta realizado de acero inoxidable, la cual cuenta con una rosta hembra tanto a la entrada como a la salida

Figura 23

Válvula Solenoide U.S Solid 12V



Nota. Tomado de (US Solid, 2023)

Opción 2. Válvula solenoide de 12V DC, 1/2" GREDIA

La válvula solenoide GREDIA de 12V cuenta con una rosca macho de 1/2" tanto a la entrada como a la salida para realizar acoples, cuenta con una presión de funcionamiento cuyo rango es de 2-116 PSI, su potencia es de 10W y tiene un flujo unidireccional de 3,4 GPM, además de ello su temperatura de funcionamiento es de 0-100 °C, el cuerpo de la válvula es de PVC de grado alimenticio, esta válvula se puede visualizar en la Figura 24, esta válvula funciona a partir de una bobina que al momento de ser energizada mueve un pequeño émbolo que posee un empaque que sella el sistema, razón por la cual, este tipo de actuador, sirve únicamente para elementos líquidos

Figura 24*Válvula GREDIA*

Nota. Tomado de (GREDIA, 2023)

Criterios de selección para la válvula

Este dispositivo, es el encargado de permitir el flujo de agua tanto desde el tanque de almacenamiento hacia la marmita, y desde la misma hacia el siguiente módulo.

Para la selección de la válvula se situarán una serie de aspectos los cuales serán ponderados con los criterios seleccionados en la Tabla 7, las métricas para la selección son los siguientes:

- Tamaño rosca
- Tipo de apertura
- Material del cuerpo
- Temperatura de funcionamiento
- Flujo
- Costo

Tabla 11*Matriz de selección de las válvulas*

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Tamaño rosca	4	4
Tipo de apertura	3	4
Material del cuerpo	4	3
Temperatura de funcionamiento	4	3
Flujo	4	4
Costo	1	4
Total	20	22
Elegida para desarrollo	NO	SI

Nota: La opción 2 es la seleccionada para el desarrollo

Como se puede apreciar en la Tabla 11 la opción número 2 que es la válvula de 12V de la marca GREDIA, esta válvula cumple con los requisitos necesarios de temperatura y presión de funcionamiento, además de permitir un flujo constante en su interior, además de poder controlar su apertura, todo esto con un costo aceptable dentro del mercado.

Selección de bombas

En el módulo tipo marmita, se piensa implementar dos bombas para transporte de líquidos, estos pueden o no ser viscosos, además de esto, los actuadores deben ser resistentes a desgaste por temperatura, y de un material que no se corroa con facilidad, estas bombas serán situadas con la siguiente disposición, una a la salida del almacenamiento del solvente para transportarlo hacia la marmita, y otra en la salida de la marmita para poder transportar la disolución al siguiente módulo

Opción 1: Bomba de diafragma autocebante IEIK 12V DC

La bomba de diafragma IEIK funciona con 12V DC con una potencia de 60W, lo que le permite tener un flujo de salida de 5 LPM y una presión equivalente a 116 PSI tiene una presión nominal de 0,8 MPa y cuenta con una entrada tipo rosca de 1/2", además de contar con

acoples tipo manguera, esta bomba tiene un interruptor de sellado que le ayuda a evitar a evitar la corrosión, su temperatura de funcionamiento admite hasta 100 °C

Figura 25

Bomba de diafragma IEIK 12V DC



Nota. La bomba de la marca IEIK incluye dos adaptadores para manguera que se pueden acoplar a las salidas de la misma por medio de una rosca externa, permitiendo el flujo nominal, tomado de (IEIK, 2023)

Opción 2: Bomba de diafragma con cebado automático SEAFLO

La bomba SEAFLO es una bomba de corriente continua, funciona con un voltaje de 12V y es capaz de tener un caudal de 10,8 LPM, soporta una presión máxima de 45 PSI, las roscas de entrada y salida son de 1/2" y trabaja con una temperatura de los líquidos que circulan a través de ella de hasta 140°C, esta bomba soporta líquidos viscosos o no viscosos y tiene un sello interno que le ayuda a evitar la corrosión por el traslado de cierto tipo de sustancias que son corrosivas,

Figura 26

Bomba de diafragma SEAFLO 12V DC



Nota. Tomado de (SEAFLO, 2023)

Criterios de selección para la bomba

Para realizar la selección adecuada de la bomba que se utilizara para transportas los diferentes líquidos se deben tomar en cuenta una serie de aspectos y métricas que vayan acorde con la necesidad del proyecto, para esto se consideraría lo siguiente:

- Temperatura de líquido
- Consumo eléctrico
- Caudal
- Presión de funcionamiento
- Precio
- Tipo de entradas
- Material

Estos aspectos son evaluados y ponderados en la **Tabla 12**

Tabla 12*Resultado de selección para la bomba*

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Temperatura de líquido	3	4
Consumo eléctrico	4	3
Caudal	3	4
Presión de funcionamiento	4	4
Precio	4	3
Tipo de entradas	4	4
Material	4	4
Total	26	25
Elegida para desarrollo	Si	NO

Nota: La opción 1 es la seleccionada para el desarrollo

Una vez se ha utilizado la matriz de selección para identificar la mejor opción para el uso de la bomba, se puede evidenciar que es necesario trabajar con la opción 1 en la Tabla 12 la que es la bomba IEIK de cebado automático 12V DC

Selección sensores de nivel

El sensor de nivel será implementado dentro del tanque de almacenamiento del solvente, este sensor permite al sistema de control conocer si el nivel del solvente se encuentra alto o bajo, si el sistema no cuenta con suficiente de esta materia prima, este debe pararse mientras dicho nivel sea bajo, para la selección de dicho sensor, será necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de material
- Tipo de instalación
- Temperatura de funcionamiento
- Presión de funcionamiento
- Costo
- Tipo de funcionamiento

Para esto, se debe escoger entre las siguientes opciones:

Opción 1: Sensor de nivel Líquido PP marca Aopin

El sensor de nivel Aopin es uno de tipo boya, posee una circulación de corriente máxima de 0.5 A para su conmutación y hasta 1 A en transporte de corriente, su presión máxima es de 100 PSI y funciona en temperaturas de hasta 80°C, para su instalación consta con una rosca M10, este elemento está fabricado de polipropileno de alta densidad y su funcionamiento es por medio de un anillo magnético, que le permite conmutar de un switch NC a una posición diferente, el anillo magnético se encuentra posicionado dentro de la boya, la cual se mueve con el líquido, el sensor cuenta con un elemento tipo oring para evitar fugas del tanque posterior a su instalación

Figura 27

Sensor flotador Aopin



Nota. Tomado de (Aopin, 2023)

Opción 2: Sensor Uxcell acero inoxidable

El sensor de nivel Uxcell es un interruptor flotador tipo boya para tanques verticales, su corriente máxima de conmutación es de 0.5 A y su voltaje de interruptor como tope es de 100V DC, soporta una potencia de 10W, su presión máxima es de 120 PSI y el valor más alto para su temperatura es de 85 °C y el mínimo es de -10 °C, para su instalación consta con una rosca M10, el sensor está hecho de acero inoxidable y posee un anillo magnético, que le permite conmutar de un switch NC a una posición diferente, el anillo magnético se encuentra posicionado dentro de la boya, la cual se mueve con el líquido, el sensor cuenta con un elemento tipo oring para evitar fugas del tanque posterior a su instalación, utilizando un destornillador se puede cambiar su configuración de NC a NA, esto con fines de optimizar sus técnicas de control

Figura 28

Sensor de nivel tipo flotador Uxcell



Nota. Tomado de (Uxcell, 2023)

Criterios para la selección del sensor de nivel

Los resultados de la selección del sensor se encuentran en la

Tabla 13*Resultados selección del sensor de nivel*

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Tipo de material	3	4
Tipo de instalación	4	3
Temperatura de funcionamiento	3	4
Presión de funcionamiento	3	4
Costo	4	2
Tipo de funcionamiento	4	3
Total	21	20
Elegida para desarrollo	Si	NO

Nota: La opción 1 es la seleccionada para el desarrollo

Selección motor

El motor es el encargado de darle movimiento al agitador, este de aquí se debe encargar de llevar a un estado de turbulencia a la solución para que esta pueda llegar a emulsionarse de una forma adecuada, para esto debe ser capaz de romper la resistencia inicial del fluido y tener suficiente fuerza en su arranque, su eje debe permitir un acople sencillo y eficiente con el agitador, se debe tomar en cuenta que él motor debe ser capaz de adaptarse al controlador implementado y este debe poder ser instalado en la marmita, los criterios de selección son listados a continuación

- Velocidad del motor
- Potencia del motor
- Costo
- Material
- Tipo de arranque
- Facilidad de instalación

Opción 1: Motor reductor Exhibir 60W 24RPM

El motor Exhibir es un motor reductor que funciona con 110V de corriente alterna, este motor suele ser utilizado en aplicaciones que requieran desplazar pesos de hasta 30 kg la velocidad de salida de la caja de reducción es de 30RPM, cuenta con un eje de 12mm de diámetro y una longitud de 27mm, este motor puede ser acoplado por medio de una cuña o por medio de ajuste

Figura 29

Motor reductor EXHIBIR



Nota. Tomado de (Exhibir, 2023)

Opción 2: Motor reductor Walfront 12V DC

El motor reductor de la marca Walfront es uno que funciona con corriente directa de 12V con una potencia nominal de 60W y un factor de reducción de 1:36, siendo su velocidad de salida de 60 RPM, su consumo de corriente a carga es de 4.1A y una torsión de 3,1lbs.cm, este motor tiene en su estator ubicado un juego de imanes permanentes, que son los que permiten el funcionamiento del mismo, su eje posee un cuñero y tiene una longitud de 4 cm

Figura 30

Motor reductor Walfront 12V DC



Nota. Tomado de (Walfront, 2023)

Criterios para la selección del motor

Las métricas empleadas para la selección del motor para

Tabla 14

Criterios de selección del motor

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Velocidad del motor	3	4
Potencia del motor	4	3
Costo	4	2
Material	3	3
Tipo de arranque	3	4
Facilidad de instalación	4	4
Total	21	20
Elegida para desarrollo	Si	NO

Nota: La opción 1 es la seleccionada para el desarrollo

Selección sensor de temperatura

Dentro el módulo tipo marmita, es necesario poder medir la temperatura a la cual se encuentra la solución, esto se debe realizara para poder controlar de forma adecuada esta

variable, que a partir de los resultados obtenidos en la matriz QFD se pudo apreciar que es uno de los aspectos más importantes dentro de la elaboración del módulo, por otro lado se debe tener en cuenta que el sensor encargado de obtener los datos de temperatura, debe ser compatible con el controlador que será utilizado dentro de la presente investigación que en este caso es un PLC Logo V8.3, dentro de los parámetros de selección del sensor se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos

- Tipo de protección
- Rango mínimo
- Rango máximo
- Tipo de material
- Precio
- Facilidad de instalación

Opción 1: Termocupla tipo K con rosca M6

La termocupla tipo K de Walfont, puede llegar a sensar temperaturas que van desde los 0 °C hasta los 400 °C, este tipo de termocupla no cuenta con una vaina protectora especial, en su lugar, posee una rosca M6 que se encarga de proteger el sistema del termopar, esta termocupla se encuentra fabricada por medio de acero inoxidable y suele ser utilizado en diferentes sectores de la industria.

Este tipo de termocupla, debe ser adaptada para su correcto funcionamiento con los diferentes controladores que se pueden hallar en el mercado, para ello es necesario utilizar amplificadores operacionales

Figura 31

Termocupla tipo K Walfront



Nota. Tomado de (Walfront, 2023)

Opción 2: Sensor de temperatura RTD PT100 de YWBL-WH

El sensor de temperatura RTD PT100 de la empresa YWBL, es un termopar que cuenta con una vaina protectora hecha de acero inoxidable, la cual posee una rosca de 1/2" para poder ser adaptable a cualquier sistema, el tubo de protección, tiene una longitud de 200mm, lo cual facilita que el proceso de sensado se pueda realizar de una manera uniforme a lo largo de todo el trayecto, el rango de temperatura admisible para este termopar va desde los -200 °C hasta los 420 °C , al contar con todos los elementos de protección, la RTD se puede instalar con gran facilidad utilizando el roscado con el que viene incluido el sistema de medición, por otro lado, se debe tener en cuenta que este tipo de sensor, se puede adaptar con gran facilidad al controlador que fue seleccionado para el presente trabajo de investigación

Figura 32*RTD PT100 YWBL-WH*

Nota. Tomado de (YWBL-WH, 2023)

Criterios para la selección del sensor de temperatura

Para poder realizar la selección apropiada del sensor, se debe aplicar la selección en base a métricas que es presentado a continuación

Tabla 15

Métricas de selección del sensor de temperatura

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Tipo de protección	2	4
Rango mínimo	2	4
Rango máximo	3	4
Tipo de material	4	4
Precio	4	3
Facilidad de instalación	2	4
Total	17	23
Elegida para desarrollo	No	Si

Nota. La opción 2 es la seleccionada para el desarrollo

Selección válvulas de alivio

Opción 1: Válvula de alivio Slocable

La válvula de alivio Slocable se encarga de regular la presión dentro de un sistema cerrado, está fabricada de latón tiene una rosca de 3/4 para su instalación, tanto en la entrada como en la salida, la presión de funcionamiento es de 150 PSI.

Figura 33

Válvula Slocable



Nota. Tomado de (Slocable, 2023)

Opción 2: Válvula de alivio Merril MFG

La válvula de alivio Merril MFG se encarga de regular la presión dentro de un sistema cerrado, está fabricada de latón tiene una rosca de 3/4 para su instalación, tanto en la entrada como en la salida, posee además acabados de acero inoxidable en sus roscas para precautelar la corrosión del dispositivo, su presión de funcionamiento es de 100 PSI.

Figura 34

Válvula de alivio Merril MFG



Nota. Tomado de (Merril, 2023)

Criterios de selección para válvula de alivio

Para la selección de la válvula de alivio es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos

- Material
- Tamaño entrada
- Tamaño salida
- Presión de funcionamiento
- Precio
- Capacidad térmica

Los datos mencionados previamente, son tabulados y analizados a continuación

Tabla 16*Criterios de selección válvula de alivio*

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Material	3	3
Tamaño entrada	4	4
Tamaño salida	4	4
Presión de funcionamiento	3	4
Precio	3	4
Capacidad térmica	4	3
Total	21	22
Elegida para desarrollo	No	Si

Nota: La opción 2 es la seleccionada para el desarrollo

Selección conducto de vapor

Para poder transportar el vapor para la calefacción del sistema, es necesario tener un medio por el cual pueda viajar desde el generador, hasta la doble chaqueta de la marmita, para esto se debe tener en cuenta que se manejarán temperaturas elevadas dentro de este entorno, además de una presión considerable, por otra parte, igualmente hay que considerar que la instalación del sistema debe ser compacta, las métricas para la selección del conducto serán listadas a continuación:

- Tipo de material
- Temperatura máxima admisible
- Presión admisible
- Precio
- Facilidad de instalación
- Accesorios necesarios

Opción 1: Tubería de acero inoxidable

La tubería de acero inoxidable es una solución robusta para el transporte de sustancias o vapores que requieran un cuidado especial, ya que esta no se corroe ni se daña con facilidad,

además que no permite la presencia de trazas dentro de su sistema, de igual manera su conductividad térmica es buena lo que permite que se transfiera el calor de forma sencilla evitando una fatiga térmica, resistiendo temperaturas de hasta 1150 °C, teniendo una resistencia a la tracción de 460 MPa y una elongación de hasta 60% (GRUMEBER, 2021)

Dependiendo el tipo de tubería que se requiera pueden tener una mayor o menor resistencia a la presión y a la deformación, ya sea por esfuerzo mecánico o por térmico, además de esto, pueden ser soldables o roscables, de lo que dependerá la cantidad de accesorios que deban ser implementados.

Figura 35

Tubería y accesorios de acero inoxidable



Nota. Tomado de (Permanent Steel, 2023)

Opción 2: Manguera prensada para vapor

La manguera para vapor está diseñada de caucho tratado especialmente para poder funcionar a temperaturas elevadas, a su vez esta se encuentra reforzada por cuerdas de

alambre de acero que tiene una resistencia elevada, además de ser resistentes a la abrasión, su presión de trabajo va hasta los 250 PSI y su temperatura operativa es desde los -40 °C hasta los 208 °C, estas mangueras tienen en sus extremos la capacidad de admitir cualquier tipo de acople que sea adaptable, estos son soldados y posteriormente prensados a la misma manguera para evitar posibles fugas en el sistema presurizado o que a su vez esta pueda estallar.

Este tipo de mangueras son maleables y al no tener una buena conductividad térmica, no suelen generar una transferencia innecesaria de temperatura hacia el exterior, de igual manera la implementación de esta manguera es sumamente sencilla, ya que solo requiere de accesorios a la entrada y a la salida de la misma.

Figura 36

Manguera para vapor prensada



Nota. Tomado de (Representaciones industriales R.D.V, 2023)

Selección del tanque de almacenamiento (solvente)

Para el almacenamiento del solvente, es necesario un tanque que pueda retener el líquido, este tiene que tener la capacidad de ser recargado por el usuario y tener una salida que

pueda ser acoplada para la bomba que se encargará de transportar el líquido hacia el interior de la marmita, para su selección, se consideran las siguientes métricas:

- Capacidad
- Material
- Costo
- Facilidad de adquisición
- Adaptabilidad al sistema
- Robustez

Opción 1: Tanque plástico cuadrado

Este tanque plástico se encuentra elaborado a partir de polipropileno de alta densidad, su capacidad es de 20 lts y cuenta con una tapa hermética que permite el ingreso de líquido en su interior

Figura 37

Recipiente plástico rectangular



Nota. Tomado de (BPA, 2023)

Opción 2: Tanque de acero inoxidable

El tanque de acero inoxidable permite la retención de una gran cantidad de solventes sin necesidad de tener tratamientos adicionales, al momento de la elaboración del presente trabajo de investigación, en el mercado se pudo encontrar uno de 124 lts de capacidad, el cual posee una salida por medio de válvula mariposa de 1", este tanque cuenta con su propia estructura, la cual sería independiente del módulo tipo marmita, cabe recalcar que este producto es de segunda mano, motivo por el cual puede contar con ciertos fallos o detalles al momento de la adquisición

Figura 38

Tanque de acero inoxidable



Nota. Tomado de (Interempresas, 2023)

Criterios para la selección del tanque de almacenamiento

Las métricas y criterios de selección para el tanque de almacenamiento pueden ser visualizados a continuación

Tabla 17

Parámetros de selección para el tanque de almacenamiento

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Capacidad	4	1
Material	2	4
Costo	4	1
Facilidad de adquisición	4	1
Adaptabilidad al sistema	3	2
Robustez	2	4
Total	19	13
Elegida para desarrollo	Si	No

Nota: La opción 1 es la seleccionada para el desarrollo

Selección del agitador

El agitador es el elemento que se encarga junto al motor de llevar la disolución a un estado de turbulencia para permitir que el soluto y el solvente emulsionen de una forma adecuada, para ello es necesario que el material con el cual este agitador sea fabricado, sea resistente a la corrosión y no cambie las propiedades químicas de la disolución, es decir este no debe oxidarse y soltar trazas, para la selección apropiada de un agitador, es necesario tomar en cuenta las siguientes métricas:

- Material
- Resistencia
- Velocidad
- Costo
- Capacidad de agitación
- Vinculación con el sistema

Opción 1: Agitador de paletas planas

Las características de este agitador fueron detalladas en la sección Agitador de paletas planas

Opción 2: Agitador de turbina

Las características de este agitador fueron detalladas en la sección Agitador de turbina

Criterios de selección para el agitador

Para la selección del agitador se utiliza la siguiente tabla

Tabla 18

Criterio de selección para el agitador

Parámetros	Opción 1	Opción 2
Material	4	4
Resistencia	3	4
Velocidad	4	3
Costo	4	2
Capacidad de agitación	3	4
Vinculación con el sistema	4	2
Total	22	19
Elegida para desarrollo	Si	No

Nota: La opción 1 es la seleccionada para el desarrollo

Selección de complementos para los componentes

Una vez fueron seleccionados los componentes necesarios para el correcto funcionamiento del módulo tipo marmita, es necesario elegir los diferentes componentes que están ya disponibles en el mercado y que mejor se ajusten a los elementos anteriormente definidos.

Módulo de entrada analógica AM2 RTD para LOGO!

El módulo AM2 RTD, de la empresa SIEMENS, permite la vinculación de dos sensores de temperatura PT 100/ PT 1000, con el controlador LOGO!, este complemento es interpretado

por el PLC como un conjunto de entradas analógicas, las cuales ya vienen predeterminadas dentro del software Logosoft, por medio de la configuración de bloques de programación del mismo programa, cabe recalcar que este es un programa con licencia libre, por lo cual, cualquier persona puede utilizarlo.

El módulo AM2 RTD funciona con 12V DC y tiene una retroalimentación automática que le permite compensar errores al momento de realizar el sensado del proceso, su corriente de funcionamiento tiene el rango de 30-40 mA y permite sensar temperaturas desde los -50 hasta los 200 °C

Figura 39

Módulo AM2 RTD para LOGO!



Nota. Tomado de (PLC-City,2023)

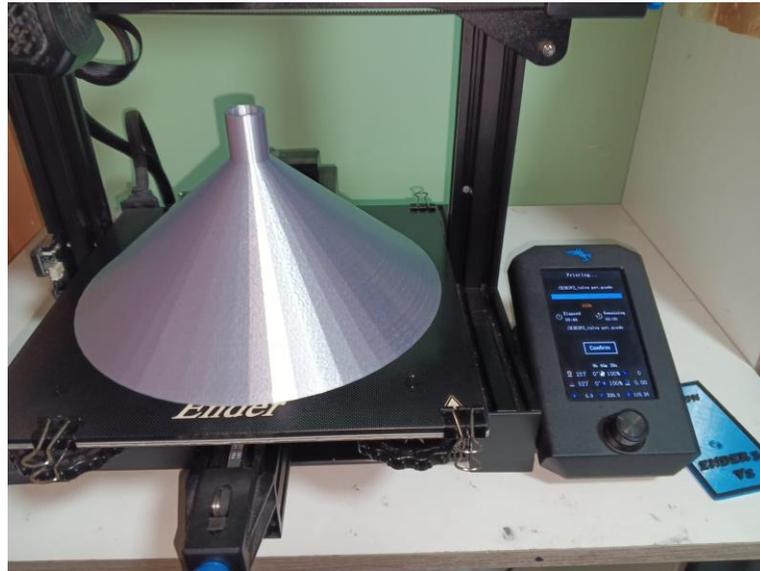
Tolva de alimentación

La tolva de alimentación es un accesorio que se debe implementar en la tapa del módulo tipo marmita, la cual se encargará de receptor el soluto del sistema encargado del pesaje para dejarlo pasar directo al interior de la marmita para que pueda ser disuelto una vez inicie el proceso, este accesorio debe ser compatible con la intención del proyecto, por dicha

razón es necesario crearla de acuerdo a las necesidades del sistema, para ello se deberá generar un diseño CAD para realizar una impresión 3D

Figura 40

Tolva de alimentación



Accesorios hidráulicos

Dentro del presente trabajo de investigación, se debe implementar una cantidad considerable de accesorios hidráulicos para poder llevar las sustancias (que en este caso serán de carácter líquido), a diferentes puntos del sistema, para esto es necesario implementar accesorios que faciliten el traslado de las mismas por medio de las bombas que fueron seleccionadas en el proceso anterior, además de ello, estos accesorios serán implementados para poder vincular de forma adecuada otros elementos que han sido seleccionados en la sección “Definición y selección de componentes” los accesorios que se utilizarán en el módulo marmita serán detallados en Lista de accesorios.

Figura 41*Accesorios hidráulicos*

Nota: Tomado de ecumangueras.com por (Ecuamangueras, 2023)

Selección de materiales

Para poder seleccionar los materiales se debe tomar en cuenta que el enfoque del diseño debe ser higiénico, “Los materiales de construcción en la industria alimentaria deben ser resistentes a la corrosión, no tóxicos, mecánicamente estables, de fácil limpieza y no deben contribuir a la proliferación de microorganismos”. (BETELGEUX, 2015)

Acero inoxidable

El acero inoxidable es un tipo de metal que es aleado con carbono para otorgarle una mayor resistencia y durabilidad, además de poseer una gran resistencia a la corrosión, esto permite que también sea resistente a los productos de limpieza que son utilizados, por este motivo es uno de los materiales más utilizados en la industria en lo referente a un diseño higiénico, este material no necesita de un tratamiento de recocido después de ser soldado, lo que facilita sus operaciones al momento de ser trabajado dentro de la industria, este permite a

su vez una capacidad de trabajo bajo temperaturas moderadas de hasta 150 °C (Picho, 2016), para este trabajo de investigación, se ha optado por utilizar el acero inoxidable AISI 304, cuyos parámetros se encuentran detallados en la Tabla 19

Tabla 19

Especificaciones técnicas acero AISI 304

Parámetros Acero AISI 304	
Resistencia a la fluencia	310 MPa
Resistencia a la cedencia	620 MPa
Elongación	30%
Reducción de área	40%
Módulo de elasticidad	200 GPa
Densidad	7,8 g/cm ³

Diseño del sistema de la marmita

En esta sección se procede a realizar el diseño del sistema en base a los elementos que ya fueron seleccionados para la implementación del módulo tipo marmita, estos diseños serán respaldados por medio de cálculos y simulaciones en diferentes softwares CAD-CAE

Diseño del tanque (cuerpo marmita)

Para empezar el diseño del tanque es necesario hacer referencia a la Tabla 9, esto para obtener los valores necesarios para iniciar el cálculo de los datos y características de la marmita.

Diámetro del tanque

Para el cálculo del diámetro de la banda se aplica la fórmula del volumen como explica (Nuñez, 2017)

$$V_t = V_{cilindro} + V_{semiesfera}$$

$$V_t = \frac{\pi}{4} \phi_i^2 h_{tanque} + \frac{\pi}{12} \phi^3$$

Donde:

V_t = Volumen del tanque de la marmita

ϕ_i = Diámetro interno de la marmita

h_t = Altura de la marmita

Se obtiene la fórmula del factor de forma en tanques cilíndricos a partir de Mario Calle (2014)

$$h_{tanque} = 0.9(\phi_i)$$

Reemplazando se obtiene

$$\phi_i = \left[\frac{12(V_{tanque})}{(3\pi * 0,9) + 1} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\phi_i = \left[\frac{12(15000cc)}{(3\pi * 0,9) + 1} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$\phi_i = 29,81cm \approx 30cm$$

Altura del tanque

Para obtener la altura se lo realiza el factor de forma de tanques cilíndricos

$$h_t = 0.9(\phi_i)$$

$$h_t = 0.9(30)$$

$$h_t = 27cm$$

Altura de la chaqueta

Se implementa la ecuación obtenida de (INGLESA, 2018)

$$h_{chaqueta} = \frac{h_t}{1 + f}$$

$$h_{chaqueta} = \frac{0,27}{1 + 0,1}$$

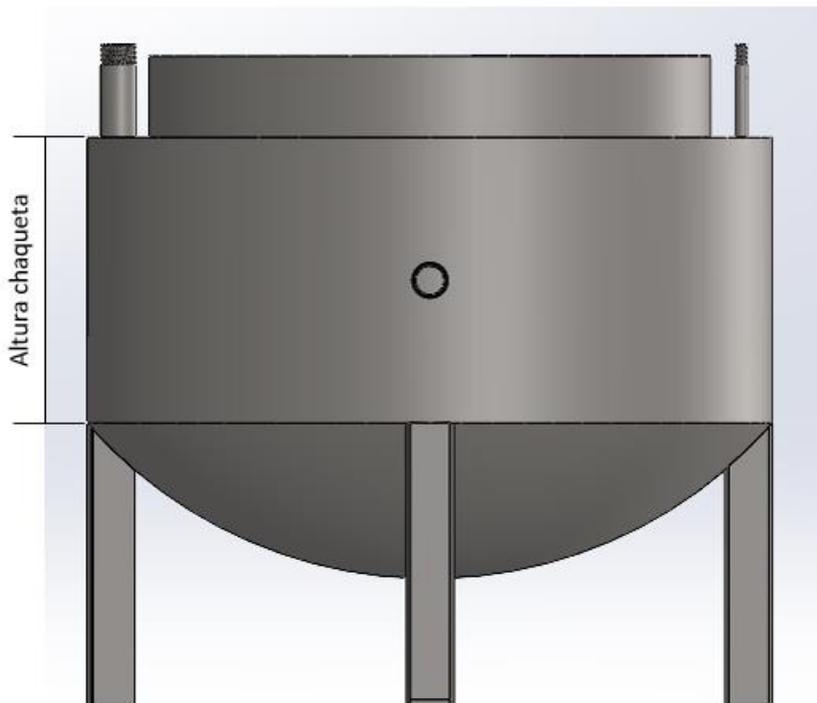
$$h_{chaqueta} = 0,24 \approx 24cm$$

Donde:

- $h_{chaqueta}$: Altura de la chaqueta de calentamiento
- h_t : Altura del tanque de la marmita
- f : Factor de seguridad de para evitar derrames (INGLESA, 2018)

Figura 42

Altura de la chaqueta



Selección espesor de la plancha de acero

Para la selección del espesor que deben tener las planchas de acero de la marmita, INGLESA proporciona la siguiente tabla

Tabla 20*Espesores para planchas de acero*

Diámetro nominal (m)	Espesor mínimo (mm)
<15.24	3
15.24-36.576	6.35
36.576-60.96	7.93
>60.96	9.52

Nota. Tomado de (INGLESA, 2018)

En base a los datos de la *Tabla 20*, al ser diámetro de la marmita de 30cm, se debe implementar el dispositivo con una plancha de 3mm de espesor

Análisis térmico

Para realizar el análisis térmico, se debe considerar el nivel máximo de agua del cuál podría receptar la marmita que en este caso es de 15 litros, para ello se debe realizar el cálculo y balance de energías considerando que este sistema es uno abierto

Balance de energías con la tapa cerrada

Para que el sistema funcione adecuadamente, la tapa de la marmita, debe estar cerrada, para evitar que el calor escape del sistema con facilidad, el balance de energía se lo debe realizar por medio de la aplicación de la fórmula de la conservación de la energía de un sistema según (Yunus A, 2011, pág. 525)

$$\Delta E_{Sistema} = E_{entra} - E_{sale}$$

Despejando

$$E_{entra} = \Delta E_{Sistema} + E_{sale}$$

Variación de la energía interna del sistema

Dentro de un sistema, se encuentran en armonía varios tipos de energía, estos dependen de la cantidad de elementos que existen dentro del mismo, es entonces, que la

energía interna de un sistema se puede llegar a definir como la sumatoria de todas las energías existentes dentro del mismo (Yunus, 2011), resultando para el presente caso de investigación en la siguiente ecuación:

$$\Delta E_{sistema} = \Delta E_{agua} + \Delta E_{tanque} + \Delta E_{vapor} + \Delta E_{chaqueta} + \Delta E_{tapa}$$

Al ser energías calóricas todas las propuestas en la fórmula anterior, se sabe que:

$$\Delta E = mc_p \Delta T$$

Donde:

- ΔT : Variación de temperaturas
- c_p : Calor específico
- m : masa

Reemplazando se tiene

$$\Delta E_{sistema} = (mc_p \Delta T)_{agua} + (mc_p \Delta T)_{tanque} + (mc_p \Delta T)_{vapor} + (mc_p \Delta T)_{chaqueta} + (mc_p \Delta T)_{tapa}$$

Energía que sale (pérdidas de calor)

Dentro de un sistema con transferencias de calor, las pérdidas se pueden dar por convección o por radiación por lo tanto se dice que:

$$\Delta E_{sale} = E_{convección} + E_{radiación}$$

$$Q_{sale} = Q_{convección} + Q_{radiación}$$

$$Q_{sale} = hA_s(T_s - T_\infty) + \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_\infty^4)$$

Nota. Tomado de (Yunus. A, 2011, pág. 525)

Datos para el cálculo térmico

- **Solvente (agua)**

$Vol_{agua} = 15\text{ lts}$ Volumen previamente definido

$c_p = 4.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$ Calor específico del agua (Yunus A, 2011, Pág. 867)

- **Tanque marmita (Acero inoxidable AISI 304 espesor 3mm)**

$m_{tanque} = 7.272 \text{ kg}$ Masa del tanque interior de la marmita

$c_p = 0,477\text{kJ/kg}^\circ\text{K}$ Calor específico acero AISI 304 (Yunus A, 2011, Pág. 869)

- **Cámara de vapor**

$T = 150^\circ\text{C}$ Temperatura estándar de una cámara de vapor

$P = 40 \text{ PSI}$ Presión estándar de una cámara de vapor

$c_p = 1.8723 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$ Calor específico del vapor de agua (Yunus A, 2011, Pág. 867)

- **Tapa marmita (Acero inoxidable AISI 304 espesor 3mm)**

$m_{tapa} = 3.424 \text{ kg}$ Masa de la tapa de la marmita

$c_p = 0,477\text{kJ/kg}^\circ\text{K}$ Calor específico acero AISI 304 (Yunus A, 2011, Pág. 869)

En la siguiente tabla se pueden encontrar algunos de los parámetros que se deben tomar en cuenta para el diseño térmico de la marmita

Tabla 21

Parámetros para diseño térmico

Parámetros	Valor
Temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$)	20 $^\circ\text{C}$
Temperatura inicial del agua ($^\circ\text{C}$)	15 $^\circ\text{C}$
Temperatura máxima ($^\circ\text{C}$)	80 $^\circ\text{C}$
Temperatura de la entrada del vapor a la cámara	150 $^\circ\text{C}$
Tiempo en que el agua llega a su temperatura de ebullición (s)	300 s
Altura del tanque	0,27 m
Diámetro del tanque	0,3m

Nota. Los datos iniciales y ambientales fueron tomados de (Picho, 2016)

Cálculo de masas

- **Solvente (agua)**

$Vol_{agua} = 15\text{ lts}$ Volumen previamente definido

$\rho_{agua} = 1\text{ kg/lit}$ Densidad del agua

$$\rho_{agua} = \frac{m}{v}$$

$$m = \rho_{agua}(v)$$

$$m = 15(1)$$

$$m_{agua} = 15\text{ kg}$$

- **Vapor agua (cámara de vapor)**

Según (Picho, 2016) la densidad del vapor de agua a una presión de 40 PSI es

$$\rho_{vapor} = 1.397\text{ kg/m}^3$$

Se conoce que el volumen donde circula el vapor es

$$v_{vapor} = 0,0084\text{ m}^3$$

Reemplazando en la fórmula de la densidad

$$\rho_{vapor} = \frac{m}{v}$$

$$m_{vapor} = 0.0084(1.397)$$

$$m_{vapor} = 0.0117\text{ kg}$$

Cálculo de la energía interna del sistema

Partiendo de la fórmula de la variación de la energía, se reemplazan los datos que se obtuvieron previamente, se debe considerar que el sistema parte desde la temperatura inicial del agua (15 °C) hasta la temperatura máxima deseada (80 °C)

$$\Delta E_{sistema} = (mc_p \Delta T)_{agua} + (mc_p \Delta T)_{tanque} + (mc_p \Delta T)_{vapor} + (mc_p \Delta T)_{chaqueta} + (mc_p \Delta T)_{tapa}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{sistema} = & \left[\left(15kg \times 4,18477 \frac{kJ}{kg^\circ K} \right) + \left(7.272kg \times 0.477 \frac{kJ}{kg^\circ K} \right) + \left(0.0117kg \times 1.8723 \frac{kJ}{kg^\circ K} \right) \right. \\ & \left. + \left(3.424kg \times 0.477 \frac{kJ}{kg^\circ K} \right) + \left(4.572kg \times 0.477 \frac{kJ}{kg^\circ K} \right) \right] [(80 + 273) - (15 \\ & + 273)]^\circ K \end{aligned}$$

$$\Delta E_{sistema} = 70.08 \frac{kJ}{^\circ K} (65)^\circ K$$

$$\Delta E_{sistema} = 4555.60 \text{ kJ}$$

Para transformar la energía del sistema a kW-h se utiliza un factor de conversión proporcionado por (Picho, 2016)

$$\Delta E_{sistema} = 4555.60 \text{ kJ} \times \left| \frac{1kW - h}{3.6 \times 10^3 kJ} \right|$$

$$\Delta E_{sistema} = 1.265 \text{ kW} - h$$

A partir de la obtención de la energía que necesita el sistema, se debe calcular la energía perdida dentro del sistema

Energía perdida del sistema

Según (Picho, 2016), el coeficiente de expansión volumétrica β y el número de Prandtl

$$\beta = 0.0033 \text{ }^\circ K \wedge k = 0.02588 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$Pr = 0.7282$$

Con dicho valor se procede a calcular el número de Rayleigh que relaciona el número de Grashof con el número de Prandtl, resultando en la expresión:

$$R_a = G_r P_r$$

Nota. Fórmula obtenida de (Yunus A., 2011, Pág. 527)

Reemplazando los valores se obtiene la expresión

$$R_a = \left[\frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \right] P_r$$

$$R_a = \left[\frac{9.81 \times 0.0033(80 - 60)(0.27)^3}{(1.608 \times 10^{-5})^2} \right] 0.7282$$

$$R_a = 35.89 \times 10^6$$

Una vez se calculó el número de Rayleigh, es posible utilizar las correlaciones empíricas del número de Nusselt para la convección natural de una placa que genera la siguiente expresión

$$N_u = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{P_r} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Donde

$$N_u = 41.271$$

Una vez se ha obtenido el número de Nusselt, se debe calcular el coeficiente promedio de transferencia de calor sobre la superficie (h)

$$h = \frac{k}{L} N_u$$

$$h = \frac{0.02588}{0.27} (41.271)$$

$$h = 3.956 \frac{W}{m^2 \cdot C}$$

Nota. Tomado de (Yunus A., 2011, Pág.531)

Una vez obtenidos estos valores, se procede a reemplazarlos en la ecuación de pérdida de calor por convección

$$Q_{convección} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

$$Q_{convección} = h(4\pi r^2)(T_s - T_\infty)$$

$$Q_{convección} = 3.956(4\pi 0.15^2)(80 - 20)$$

$$Q_{convección} = 67,11 W$$

Se realiza el cálculo de pérdidas por radiación tomado de (Yunus A., Pág. 542)

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4)$$

Donde:

$\varepsilon = 0,17$ Valor de la emisividad acero AISI 304

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K$ Constante de Stefan-Boltzmann

$$Q_{rad} = 0.17 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.283(80^4 - 20^4)$$

$$Q_{rad} = 8.80 W$$

Por lo tanto

$$E_{sale} = Q_{rad} + Q_{convección}$$

$$E_{sale} = 67,11 + 8.8$$

$$E_{sale} = 75.91 \text{ W}$$

Se multiplica por el tiempo de funcionamiento

$$E_{sale} = 75,91 \times 300s$$

$$E_{sale} = 22,775 \text{ kJ}$$

Se obtiene la energía en kW-h aplicando el factor de conversión

$$E_{sale} = 22,775 \text{ kJ} \times \frac{1 \text{ kW} - \text{h}}{3.6 \times 10^6 \text{ kJ}}$$

$$E_{sale} = 0.006326 \text{ kW} - \text{H}$$

Energía que entra al sistema

Para calcular la energía que entra al sistema o la energía requerida se reemplaza los valores hallados en la siguiente ecuación

$$E_{entra} = \Delta E_{Sistema} + E_{sale}$$

$$E_{entra} = 1.265 + 0.006326$$

$$E_{entra} = 1,27 \text{ kW} - \text{h}$$

Siendo la energía requerida para calentar 15lts de agua de 1,27 kW-h, para poder calentar dicha cantidad de agua en menos de 20 minutos se realiza la siguiente operación

$$E_{requerida} = (1,27 \text{ kW} - \text{h}) \times 3$$

$$E_{requerida} = 3.81 \text{ kW-h}$$

Siendo esa la potencia del calentador mínima para calentar en menos de 20 minutos los 15 kg de agua planteados para el tema de investigación

Diseño del agitador

La función del agitador es crear corrientes que generen una turbulencia en la substancia evitando que existan acumulaciones indeseadas dentro del tanque, para el diseño del agitador se utilizan las fórmulas propuestas por (Imbett, 2022)

Figura 43

Agitador de la marmita



Longitud del brazo

$$L_b = \frac{5}{8} \phi_{in}$$

$$L_b = \frac{5}{8} (30)$$

$$L_b = 18,75 \text{ cm}$$

Espesor del agitador

$$E_r = \frac{1}{10} L_b$$

$$E_r = \frac{1}{10} (18.75)$$

$$E_r = 1.875 \approx 2 \text{ cm}$$

Diámetro del rodete

$$\phi_r = \frac{3}{4} \phi_{in}$$

$$\phi_r = \frac{3}{4}(30)$$

$$\phi_r = 22.5 \text{ cm}$$

Alto de la paleta

$$A_p = \frac{1}{5} L_b$$

$$A_p = \frac{1}{5}(18.75)$$

$$A_p = 3.75 \text{ cm}$$

Potencia del agitador

Para calcular la potencia del agitador, es necesario calcular el número de Reynolds, para lo cual se utiliza la fórmula tomada de (Imbett, 2022)

$$N_r = \frac{\phi_{in}^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

$$N_r = \frac{(0.30m)^2 \times \left(30 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 s}\right) \times 1320 \frac{kg}{m^3}}{1.34 \frac{Pa}{s}}$$

$$N_r = 44.33$$

Donde:

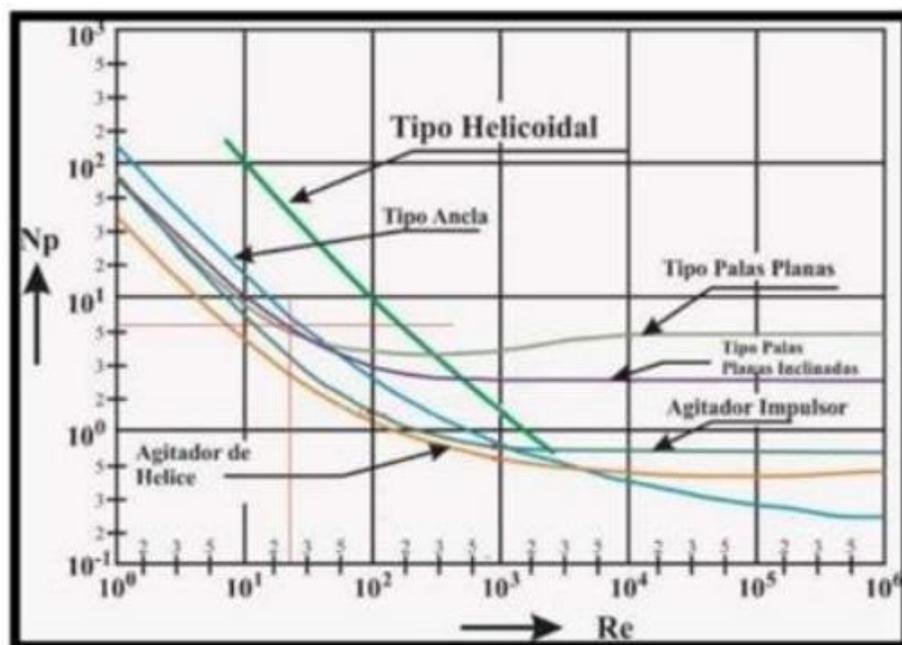
- ϕ_{in} : Diámetro interno de la marmita
- N : Velocidad del motor

- ρ : Densidad del medio (Jarabe de azúcar)
- μ : Viscosidad del medio (Jarabe de azúcar)

Para hallar la potencia, es necesario que utilizar el siguiente diagrama de Moody que permite hallar la relación del valor N_p para poder calcular la potencia requerida para el sistema de agitación

Figura 44

Diagrama de Moody agitadores



Nota. Tomado de (Imbett, 2022)

Empleando el diagrama de Moody, se puede observar que el número de potencia

$$N_p = 6$$

Cálculo potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor, se utiliza la siguiente fórmula que fue tomada de (Imbett, 2022)

$$P = \frac{N_p}{gc} (\rho \times N^3 \times \phi_{in}^5)$$

$$P = \frac{6}{1} \left(1320 \times \left(30 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 s} \right)^3 \times 0.3^5 \right)$$

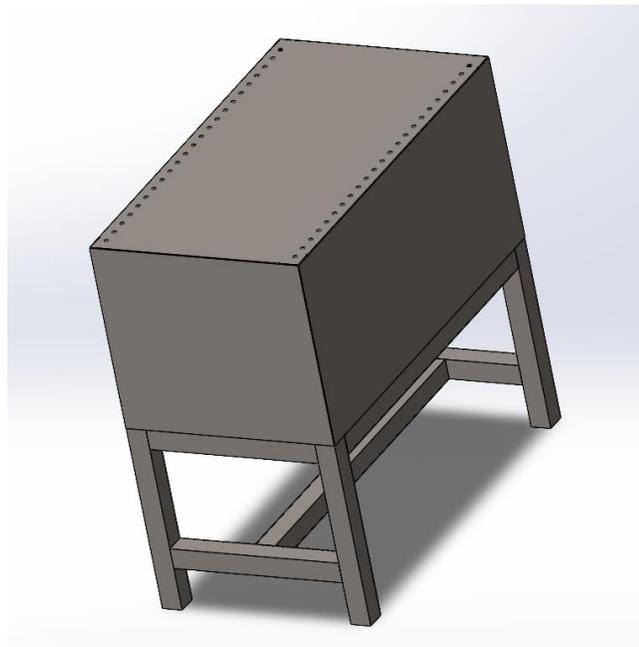
$$P = 2.4057 W$$

Diseño de la mesa

Para el diseño de la mesa, se han tomado en cuenta las mesas que existen actualmente dentro del laboratorio de mecatrónica, en base a estas se presenta un modelo CAD

Figura 45

CAD mesa soporte

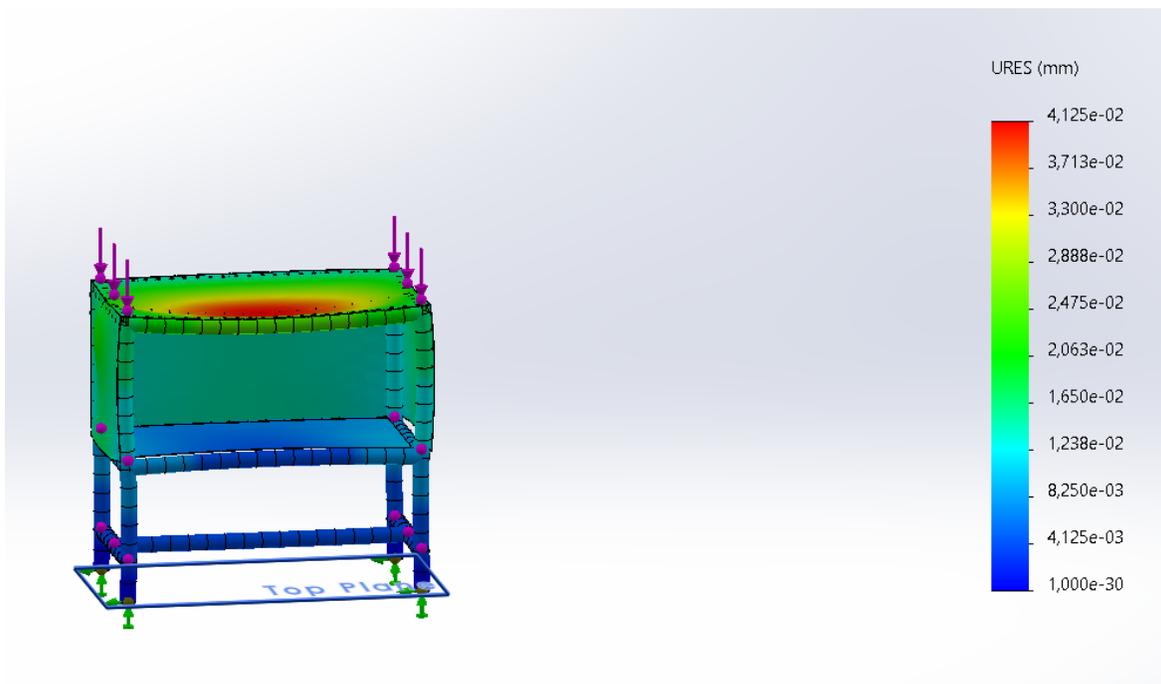


Una vez se ha realizado el diseño CAD, se realiza una simulación con ayuda de un programa CAE para determinar las deformaciones y esfuerzos generados sobre la mesa, y verificar la robustez del diseño, para ello las fuerzas a las que se encuentran sometidas son de

80kg que sería el valor del peso de la marmita, generador de vapor y tanque de almacenamiento a plena carga.

Figura 46

Análisis estático de cargas en la mesa



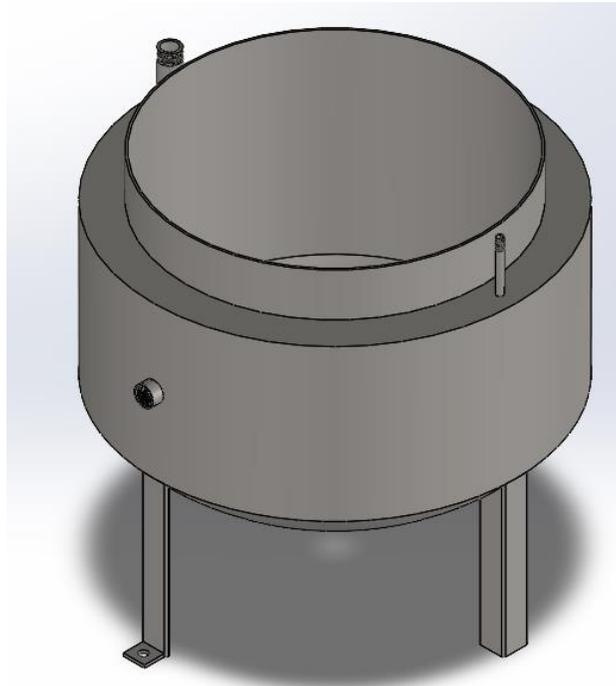
Como se puede apreciar existe una deformación menor a 1 mm, por lo cual el diseño de la mesa es robusto y cumple con su función.

Simulación de la marmita

En base a los criterios de diseño aplicados en la sección “Diseño del sistema de la marmita”, se procede a realizar un diseño CAD con los datos previamente encontrados, para ello se utilizará la ayuda de herramientas computacionales que permiten simular las condiciones de funcionamiento del módulo

Figura 47

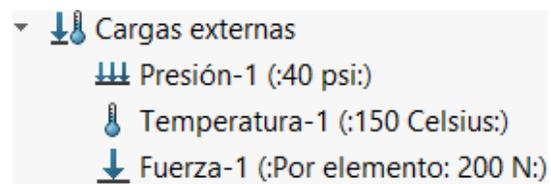
Diseño CAD marmita



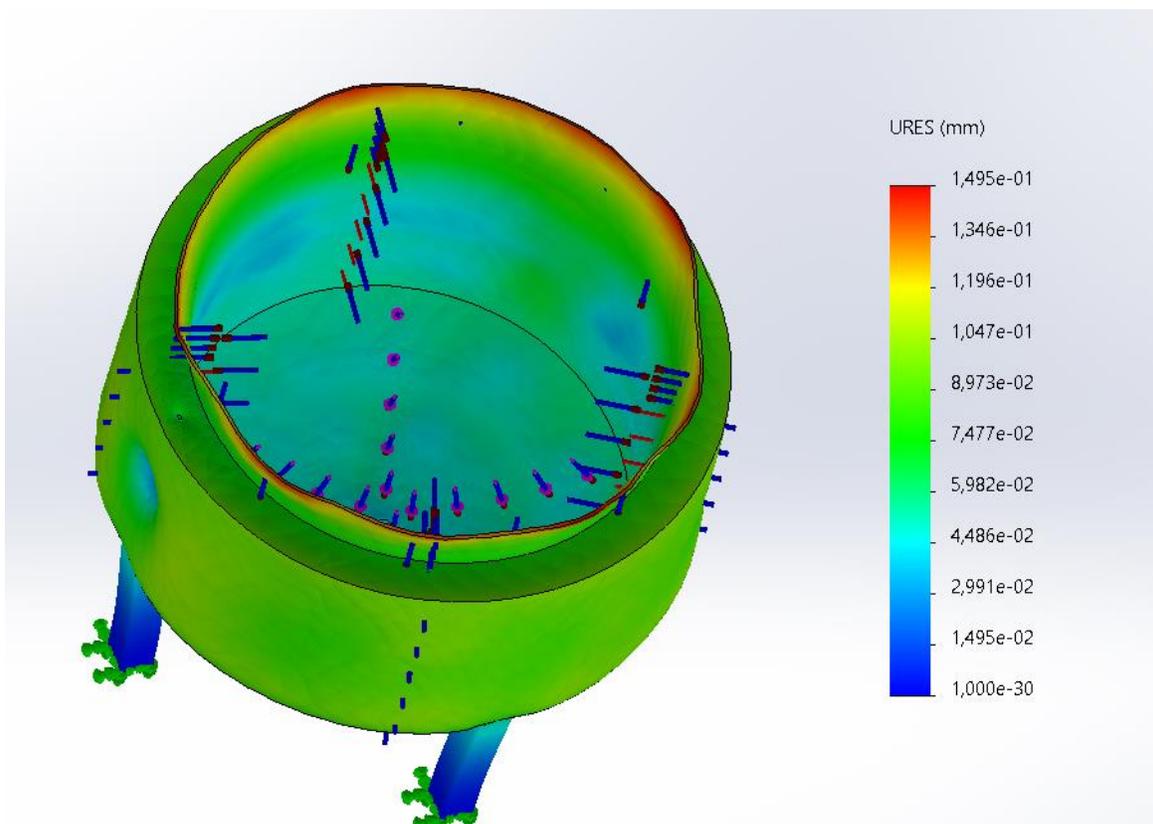
Después de realizar el sólido en el software CAD, se procede a realizar el análisis estático utilizando las condiciones de funcionamiento a las que se encontraría sometida la marmita en su implementación, estas condiciones que fueron aplicadas en el software CAE, son expuestas a continuación

Figura 48

Condiciones para el análisis CAE



Con estas consideraciones se realiza el análisis con el software CAE para verificar que tanta deformación existe

Figura 49*Análisis estático marmita*

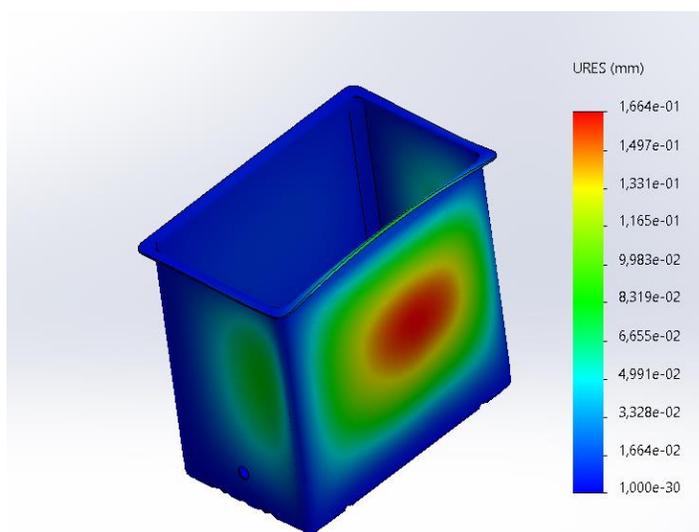
Como se puede apreciar al ser ejercida una presión de 40 PSI dentro de la doble camisa de la marmita, esta tiene una deformación menor a 1mm, además de la temperatura del vapor a dicha presión que es de aproximadamente 150 °C

Análisis térmico del tanque de almacenamiento

Para verificar el correcto funcionamiento del tanque de almacenamiento, se realizó un análisis CAE para apreciar la deformación producida en el mismo debido a la transmisión de calor producida por el generador de vapor

Figura 50

Análisis térmico tanque de almacenamiento



Nota. Se puede apreciar que existe una deformación menor a 1 mm por lo cual el tanque no sufre daños

Análisis de cargas eléctricas

Una vez han sido seleccionados todos los dispositivos necesarios para el funcionamiento del módulo marmita, se debe realizar un análisis de la corriente eléctrica que consume cada elemento para dimensionar de forma correcta las fuentes de alimentación y dispositivos de seguridad.

Tabla 22

Cálculo de carga consumida

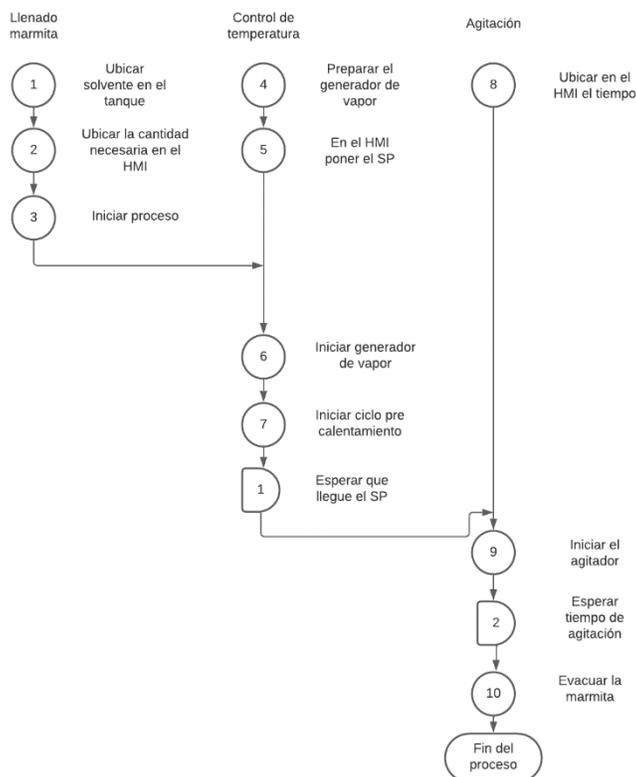
Elemento	Voltaje	AC	DC	Potencia (kW)	F.P.	Corriente consumida
Motor	110		x	0,25	0,95	3,907
Calefactor	220		x	3	0,95	23,443
Bomba 1	12	x		0,06	0,95	8,596
Bomba 2	12	x		0,06	0,95	8,596
Electroválvula 1	12	x		0,0001	0,95	0,014
Electroválvula 2	12	x		0,0001	0,95	0,014

Diagrama de flujo del proceso

Para poder comprender el funcionamiento del módulo marmita, se procede a realizar el diagrama de flujo de este sistema.

Figura 51

Diagrama de flujo del proceso



Componentes del diseño eléctrico

Para la selección de los componentes eléctricos, se debe tomar en cuenta los valores de corrientes obtenidos en la Tabla 22 y el tipo de voltaje que emplean, es decir si se trata de corriente alterna o de corriente directa.

Bloque de distribución

El bloque de distribución seleccionado para el tablero eléctrico debe soportar una carga superior a la suma de todas las corrientes del sistema, para este caso en particular, también

debe contar con dos polos (uno para cada fase), de los datos obtenidos se puede saber que es necesario que este soporte al menos 32 amperios, en caso de que el sistema llegase a activar todos su actuadores, por ello se optó por implementar el siguiente accesorio

Figura 52

Caja de distribución de dos polos



Nota. Tomado de (Wonke, 2023)

Disyuntor

Para la selección del disyuntor, se debe tomar en cuenta que este también debe ser capaz de soportar una carga igual a la del Bloque de distribución, por este motivo se selecciona un disyuntor comercial de 32 amperios, al ser el sistema uno que utiliza dos fases, el disyuntor debe contar con dos polos

Figura 53

Disyuntor bipolar de 32 A



Nota. Tomado de (Schneider, 2023)

Contactor

Para poder energizar el generador de vapor, el elemento calefactor debe ser capaz de recibir 220V de corriente alterna, para ello se utilizará un contactor bipolar capaz de soportar su corriente, la cual fue definida en la Tabla 22, este contactor será activado por medio de su bobina, la cual recibe una señal a partir de la programación del PLC que fue escogido como elemento de control en la sección de diseño

El contactor al estar cerca de líquidos y objetos con temperaturas elevadas, será del tipo de caja moldeada

Figura 54

Contactor bipolar



Nota. Tomado de (CHNT, 2023)

Fuente de poder corriente directa

Para la fuente de corriente continua, es necesario tomar en cuenta la carga que consumirán todos los elementos que se alimentan de este tipo de voltaje, en este caso se necesitaría implementar una fuente que tenga más de 18A, la cual comercialmente se podría adquirir en su presentación de 20^a

Figura 55

Fuente de poder 12V DC



Nota. Tomado de (GESD, 2023)

Lista de accesorios

Para la implementación adecuada del sistema, es necesario utilizar una serie de acoples y accesorios de tubería, estos permiten vincular las diferentes partes del módulo marmita y facilitan su funcionamiento adecuado, estos elementos se encuentran enlistados a continuación.

Accesorios aceros inoxidable

Tabla 23

Listado de accesorios de tubería de acero inoxidable

Accesorios de acero inoxidable	
Elemento	Cantidad
Codo roscable 1/2" 90°	3
Unión roscada 1/4"	1
Unión roscada 1/2"	2
Unión roscada 3/4"	1
Unión roscada 1 1/2"	1
Neplo roscable 1/2"	3
Neplo roscable 1 1/2"	2
Neplo roscable 1/4"	1
Bushing 3/4"- 1/2"	1
Bushing 1"- 1/2"	2
Válvula mariposa 1"	1
Válvula mariposa 1 1/2"	1

Accesorio PVC

Tabla 24

Listado de accesorios de tubería de PVC

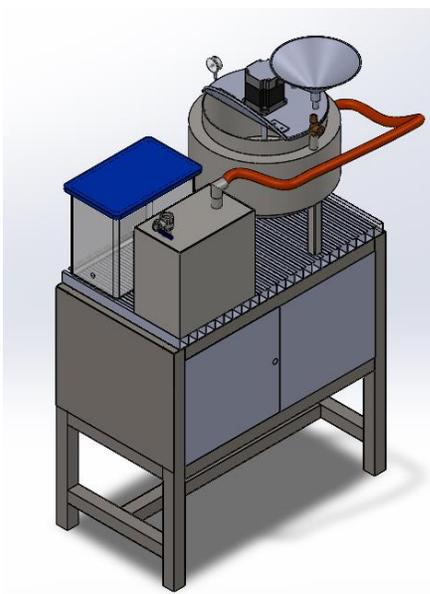
Accesorios de PVC	
Elemento	Cantidad
Codo roscable 1/2" 90°	1
Codo roscable 1/2" 45°	1
Unión roscada 1/2"	5
Neplo roscable 5cm 1/2"	1
Neplo roscable corrido 1/2"	1
Adaptador roscable manguera 1/2"	7
Adaptador de tanque 1/2"	1
Adaptador roscable/pegable 1/2"	1

Diseño final

Una vez se realizó el correcto diseño del sistema, se realizó una simulación con ayuda de software CAD obteniendo lo siguiente:

Figura 56

Diseño final módulo marmita



Capítulo IV: Implementación y Pruebas

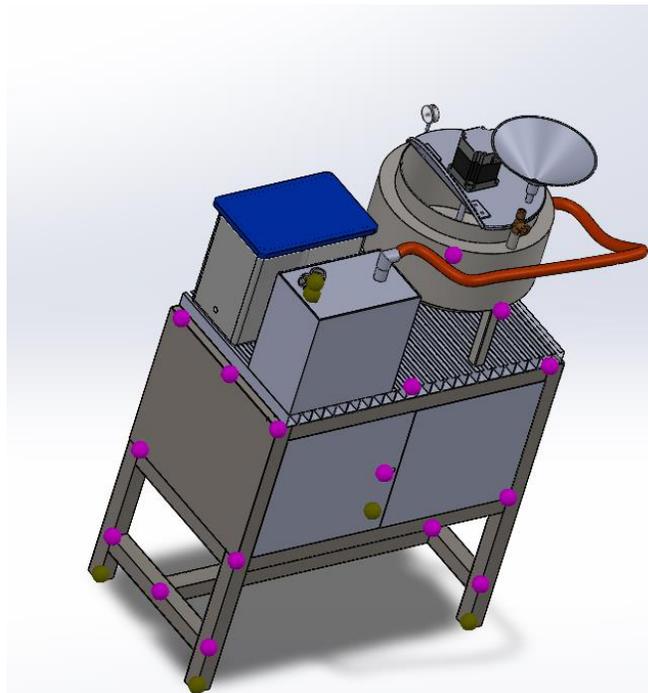
Implementación

Para la implementación del módulo marmita, una vez se realizaron los cálculos y la selección de materiales para el proyecto, con esto se realizó el diseño CAD y se generaron los planos necesarios para la implementación del mismo

Una vez se realiza el diseño, se debe proceder a la fabricación del módulo, para esto se generan los planos mecánicos que se encuentran en la sección de anexos, para poder realizar las operaciones de manufactura necesarias para poder construir el sistema de una forma correcta.

Figura 57

Vista del módulo



Con los planos mecánicos del sistema, se procede a realizar las operaciones mecánicas necesarias para la obtención de las partes necesarias para la elaboración del módulo, en este caso se realizaron operaciones de:

- Doblado
- Barolado
- Corte plasma

Figura 58

Partes mecánicas del módulo marmita



En la Figura 58 se puede apreciar todas las partes necesarias para realizar el generador de vapor, la tapa, el tanque interior y la doble camisa del módulo tipo marmita, todas estas piezas deben ser soldadas con un material de aporte AISI 304 por medio de soldadura TIG para evitar errores o contaminación.

Para iniciar el proceso de suelda, es necesario utilizar puntos de referencia para evitar que las piezas se mueven durante el proceso de soldadura este proceso es conocido coloquialmente como el punteo de las piezas, para esto, es necesario aplicar tres o más puntos de suelda a lo largo de la unión de las piezas.

En la **Figura 59** se puede apreciar cómo se realiza este proceso, lo cual permite verificar como se verán las diferentes partes de la marmita de vapor con doble camisa una vez esta sea soldada en su totalidad.

Figura 59

Piezas punteadas para su soldadura



Una vez está realizado este procedimiento, se debe comenzar a utilizar los cordones de soldadura TIG para unir de forma definitiva los extremos de las piezas según sea necesario.

Figura 60

Cordón de soldadura para la tapa

**Figura 61**

Cordón de soldadura en el generador de vapor



Figura 62

Cordón de soldadura en el cuerpo de la marmita

**Figura 63**

Unión de la doble camisa con el tanque interior



Una vez se ha finalizado con la soldadura de los elementos, es necesario limpiar los restos de soldadura, este proceso se lo realiza por medio de un ácido que permite retirar las marcas de oxido y de sobrecalentamiento que produce el metal debido a la fatiga térmica que se genera una vez este se encuentra expuesto al calor y la radiación que emite la soldadura debido a sus altas corrientes

Este proceso, debe ser realizado con sumo cuidado y en todos los cordones de soldadura que se hayan realizado para evitar contaminación en los productos.

Figura 64

Marmita posterior al proceso de ácidos de suelda



Una vez todas las partes de la marmita hayan sido culminadas, se procede a la elaboración de la mesa del módulo

Figura 65*Mesa del módulo marmita*

Al estar terminados tanto la mesa, la marmita y el generador de vapor, se procede a realizar una implantación de los mismos

Figura 66*Propuesta implantación módulo marmita*

Una vez se encuentra realizada la implantación, se procede a instalar los diferentes accesorios para su correcto funcionamiento

Figura 67

Instalación manguera de vapor y tanque de almacenamiento



Se procede con la instalación de los accesorios de seguridad, primero se busca permitir que el usuario conozca la presión que existe dentro del sistema para lo cual se instala un manómetro

Figura 68

Instalación manómetro



Para evitar que existan sobrepresiones dentro del sistema se procede con la instalación de la válvula de alivio

Figura 69

Instalación válvula de alivio



Para el control de temperatura se ubica el sensor PT100 en la tapa de la marmita, para evitar que colisione con el agitador cuando esté en funcionamiento

Figura 70

Instalación accesorios para la tapa de la marmita



Una vez han sido instalados todos los elementos de la marmita y el generador de vapor, se comienza a realizar la parte eléctrica del sistema, empezando con el doble fondo del tablero, el cual se instala para evitar que los tornillos o pernos que se empleen para la instalación de los dispositivos eléctricos sobresalgan del módulo

Figura 71

Instalación del doble fondo



Se procede a instala la riel DIN para los elementos del tablero

Figura 72

Instalación de la riel DIN



Se realizan agujeros en el cajetín para poder pasar los cables y las mangueras necesarias para los cables y las bombas que serán colocadas allí, dentro de este tablero se ubicará todos los dispositivos eléctricos de la sección Componentes del diseño eléctrico

Figura 73

Realización de agujeros en el tablero



Se instalan las bombas de agua dentro del gabinete para su control

Figura 74

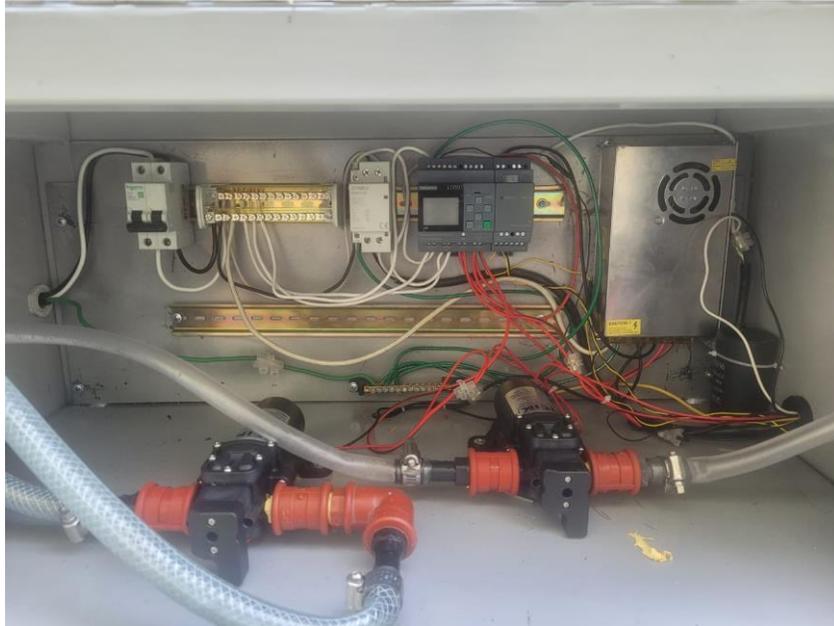
Instalación de las bombas



Por último, se realizan las conexiones eléctricas dentro del tablero según el plano eléctrico que se encuentra en los anexos

Figura 75

Conexiones eléctricas del sistema



Una vez se ha implementado el sistema eléctrico se realiza la programación necesaria para el control del sistema, para este caso específico se utilizó lenguaje FUP para LOGO! V8.3 para cumplir con el diagrama expuesto en la Figura 51, esta programación puede ser observada en la sección de anexos

Por último, se debe realizar las pruebas de funcionamiento para comprobar la programación y la implementación del módulo marmita, para ello es necesario utilizar la interfaz diseñada en el software libre Logo Web Editor (LWE), para el cual se han utilizado los colores recomendados por la guía de diseños de interfaces humano-máquina

Figura 76

Interfaz de control



Figura 77

Módulo marmita en funcionamiento



Pruebas de funcionamiento

Una vez el sistema del módulo tipo marmita fue implementado, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento para verificar que cumpla con los requisitos de diseño de una manera satisfactoria, con estos datos se procede a realizar la validación de la hipótesis y la robustez del sistema.

Prueba llenado de la marmita

Para el llenado de la marmita se realizan las siguientes pruebas para verificar la precisión y la exactitud del sistema, estas consisten en que a partir de la interfaz se envía el volumen requerido para poder llenarla de manera adecuada, cabe recalcar que la columna del tiempo hace referencia al tiempo que se demoró la bomba en llenar la marmita la cantidad solicitada.

Tabla 25

Pruebas de funcionamiento de llenado

Prueba	Nivel HMI (ml)	Nivel Real (ml)	Tiempo (s)	Aceptación
1	4000	3900	52	Si
2	5000	4900	65	Si
3	6000	6100	78	Si
4	7000	7050	91	Si
5	8000	8050	104	Si
6	9000	9100	117	Si
7	10000	10100	130	Si
8	11000	11100	143	No
9	12000	11500	156	No
10	10000	10100	130	Si
11	10000	10000	130	Si
12	10000	9900	130	Si
13	10000	10050	130	Si
14	10000	10000	130	Si
15	10000	10100	130	Si
16	10000	9900	130	Si
17	10000	9950	130	Si
18	10000	10000	130	Si
19	10000	10100	130	Si
20	10000	10000	130	Si

Nota. Las pruebas de funcionamiento tienen una precisión aceptable dentro de los rangos permitidos.

Para poder aceptar la prueba, se tomó en cuenta el error que tiene, en este caso, fueron rechazados los errores que generaron un rebose dentro del sistema

Prueba de funcionamiento del control de temperatura

Para el proceso de control de temperatura del módulo marmita, se implementó una cámara de vapor, el cual permite el calentamiento uniforme dentro del sistema y evita que existan puntos de calor donde se produzcan asentamientos de rebabas del producto, los resultados del proceso son evidenciados en la Tabla 26

Tabla 26

Resultados prueba de funcionamiento control de temperatura

Prueba	Temperatura HMI (°C)	Temperatura PT 100 (°C)	Temperatura Termómetro (°C)	Observación	Aceptación
1	20	25	24.2	Menor a temp ambiente	No
2	20	24.3	24	Menor a temp ambiente	No
3	25	25.5	24,8	-	Si
4	30	32.1	33	-	Si
5	30	33,4	34.5	-	No
6	35	37.5	38	-	Si
7	40	42,3	43	-	Si
8	40	43,5	44	-	No
9	45	48,3	48	-	No
10	50	53.2	53.9	-	Si
11	50	52,1	53	-	Si
12	55	57,3	57	-	Si
13	60	63,5	64	-	Si
14	60	64,2	64,9	-	No
15	65	68,1	69	-	Si
16	70	73,4	74	-	Si
17	70	74	74	-	No
18	75	77,5	77	-	Si
19	80	82,4	83	-	Si
20	80	83,5	84	-	No

Nota. Las pruebas de funcionamiento tienen una precisión aceptable dentro de los rangos permitidos.

Pruebas de activación del sistema de agitación

El sistema de agitación, se encarga de la emulsión del líquido con el soluto, generando dentro del sistema una turbulencia, este tiempo puede ser predefinido por el usuario en base a sus necesidades,

Tabla 27

Resultados prueba de agitación

Prueba	Tiempo Agitación HMI (seg)	Tiempo Agitación Real (seg)	Aceptación
1	30	30	Si
2	60	60	Si
3	90	90	Si
4	120	120	Si
5	150	150	Si
6	180	180	Si
7	210	210	Si
8	240	240	Si
9	270	270	Si
10	300	300	Si
11	30	30	Si
12	60	60	Si
13	90	90	Si
14	120	120	Si
15	150	150	Si
16	180	180	Si
17	210	210	Si
18	240	230	No
19	270	260	No
20	300	290	No

Nota. Las pruebas de funcionamiento tienen una precisión aceptable dentro de los rangos permitidos.

Prueba de envío y recepción de señales

Para la vinculación del sistema, se lo realiza por medio del envío y recepción de señales digitales que funcionan como banderas dentro del sistema, cuando estas se activan, dan paso al inicio

Tabla 28

Pruebas envió recepción de señales

Prueba	Señal de inicio (módulo 1)	Señal de salida (módulo 2)	Aceptación
1	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si
5	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si
8	Si	Si	Si
9	Si	Si	Si
10	Si	Si	Si
11	Si	Si	Si
12	Si	Si	Si
13	Si	Si	Si
14	Si	Si	Si
15	Si	Si	Si
16	Si	Si	Si
17	Si	Si	Si
18	Si	Si	Si
19	Si	Si	Si
20	Si	Si	Si

Se puede observar que las señales que indican que el módulo 1 ya culminó su proceso, fueron recibidas de forma adecuada, y a su vez, que el módulo 3 puede recibir el solvente producido a partir de la marmita

Prueba ingreso de soluto a la marmita

Para comprobar como el módulo marmita es capaz de recibir el soluto desde el otro módulo, se realizaron pruebas que permitan verificar la cantidad real que ingresa al sistema, y las trazas de producto que pueden terminar atrapadas en la tolva

Tabla 29

Prueba de ingreso de soluto



Donde se puede apreciar que una vez se vertió todo el contenido del recipiente por la tolva, quedaron atrapadas algunas trazas dentro de las mismas, para esta prueba se acepta si el rango de dichas trazas es menor al 5% de la muestra, es decir para si son menores a 7 gr.

Tabla 30

Trazas en la tolva



Tabla 31*Resultados de pruebas ingreso de solvente*

Prueba	Peso inicial	Peso que ingresa	Peso trazas	Aceptación
1	140	138	2	SI
2	140	133	7	NO
3	140	134	6	SI
4	140	136	4	SI
5	140	139	1	SI
6	140	130	10	NO
7	140	132	8	NO
8	140	135	5	SI
9	140	134	6	SI
10	140	133	7	NO
11	140	136	4	SI
12	140	137	3	SI
13	140	134	6	SI
14	140	138	2	SI
15	140	136	4	SI
16	140	139	1	SI
17	140	132	8	NO
18	140	133	7	NO
19	140	137	3	SI
20	140	138	2	SI

Validación de hipótesis

Se sabe que la hipótesis planteada en este proyecto es la siguiente:

¿Diseñar e implementar un módulo tipo marmita que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación para elaborar una disolución, permitirá el correcto funcionamiento del sistema ensamblado con los diferentes módulos de la línea y la correcta visualización de datos por medio de un sistema ciberfísico?

En donde se tiene que la variable dependiente del sistema es:

Funcionamiento de la línea con los módulos y visualización en interfaz de sistema ciberfísico

Mientras que la variable independiente es:

El módulo tipo marmita que permita el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación

Para poder validar la hipótesis del trabajo, se planea utilizar el método estadístico descriptivo Chi-Cuadrado que permite verificar si existe una relación entre las variables cuantitativas del proyecto, este se lo realiza planteando dos escenarios en los cuales existe una hipótesis nula y una hipótesis alternativa

Para este caso se tiene lo siguiente

Hipótesis nula (H0)

El módulo marmita que permite el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación no permite el correcto funcionamiento del sistema ensamblado y la visualización de datos

Hipótesis alternativa (H1)

El módulo marmita que permite el control de nivel, temperatura y tiempo de agitación permite el correcto funcionamiento del sistema ensamblado y la visualización de datos

Cálculo del Chi-Cuadrado

Con los resultados de la **Tabla 25**, **Tabla 26** y **Tabla 27** se procede a construir la tabla de frecuencias observadas, la cual se encuentra a continuación

Tabla 32

Frecuencias observadas

Resultado aceptable	Control de nivel	Control de temperatura	Control tiempo de agitación	Envío y recepción	Ingreso de soluto	Total
Si	18	12	17	20	14	82
No	2	8	3	0	6	18
Total	20	20	20	20	20	100

Para poder elaborar la tabla de frecuencias esperadas, es necesario aplicar la siguiente fórmula

$$E_{ij} = \frac{O_i \times O_j}{O}$$

Donde:

O_i : Valor de la fila

O_j : Valor de la columna

O : Valor de todas las muestras

Tabla 33

Frecuencias esperadas

Resultado aceptable	Control de nivel	Control de temperatura	Control tiempo de agitación	Envió y recepción	Ingreso de soluto	Total
Si	16	16	16	16	16	80
No	4	4	4	4	4	20

Para poder calcular el Chi-Cuadrado se aplica la siguiente fórmula

$$x^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Donde

x^2 : Chi-Cuadrado

r : número de filas

k : número de columnas

O_{ij} : Frecuencia observada en la fila i de la columna j

E_{ij} : Frecuencia esperada en la fila i de la columna j

Resultando en:

$$x^2 = 27,2916$$

Se calcula el grado de libertad

$$v = (\text{cantidad de filas} - 1) * (\text{cantidad de columnas} - 1)$$

$$v = (2 - 1) * (5 - 1)$$

$$v = 4$$

Con estos valores se consulta la tabla de Chi-Cuadrado adjunto en los anexos con un margen de error al 5% $\alpha = 0.05$, donde:

$$x_{\text{Tabla}}^2 = 11.0705$$

$$11.0705 < 27,2916$$

Validación

Sabiendo que el Chi-Cuadrado calculado es mayor que el obtenido de la tabla se puede descartar la hipótesis nula, permitiendo reconocer la hipótesis alternativa como correcta.

Análisis de costos

Tabla 34

Análisis de costos

Elemento	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Mesa	1	100	100
Plancha acero AISI 304 3mm	1	180	180
Operaciones mecánicas	1	200	200
Soldadura	1	450	450
Accesorios de acero AISI 304	1	120	120
Manguera de vapor	1	120	120
Manguera sanitaria PT100	1	40	40
Bomba de lóbulos 12v	2	20	40
Fuente de 12V	1	24	24
LOGO v8.3	1	120	120
AM2 RTD	1	90	90
Disyuntor 32A	1	6,5	6,5
Contactador 2 polos 25A	1	9,5	9,5
Centro de distribución	1	12	12
Barra de cobre	1	3,5	3,5
Tanque de laboratorio	1	15	15
Elemento calefactor 4.5Kw	1	80	80
Motor AC 110V	1	120	120
Accesorios PVC	1	30	30
Manómetro	1	12	12
Válvula de alivio	1	18	18
Electroválvula	2	11	22
Accesorios eléctricos	1	50	50
		Total	1882,5

Según (Firex, 2023), una marmita que disponga este tipo de tecnología cuesta entre 5000 y 6000 dólares americanos.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Para el diseño del módulo marmita se identificaron las variables que se necesitan controlar en cada sistema y subsistema, esto para poder verificar que tipo de sistema de control se puede implementar y los actuadores necesarios para poder realizarlo, en la parte del nivel se optó por realizar un control por medio de una regresión lineal a partir de los datos obtenidos de la bomba seleccionada, por este motivo fue necesario adquirir una bomba que tenga un caudal constante, sin embargo esta bomba presentaría un pequeño error al momento de la salida del líquido, ya que dentro de las mangueras quedaba un restante, este error fue compensado al momento de obtener la regresión lineal
- Dentro del generador de vapor fue necesario realizar un diseño CAD basado en trabajos científicos anteriormente publicados, para poder obtener el vapor de una forma eficaz y rápida, fue necesario implementar un calentador de 4.5kW de potencia, el cual puede llevar al volumen máximo admisible del generador (14 litros) a un punto de ebullición en aproximadamente 4 minutos.
- El vapor generado por el módulo marmita, se condensa al momento de entrar en contacto con la doble camisa que cubre al tanque de la misma, esto genera un flujo constante de agua el cual debe ser purgado para evitar que se acumule dentro de la chaqueta, lo que genera que el sistema pierda su habilidad de calentarse de forma adecuada
- Se pudo evidenciar que al momento de calentar el módulo marmita con el generador de vapor, este fue capaz de conservar el calor por un tiempo prolongado, esto se debe a

que el sistema de doble camisa que es el que lo retiene, es un sistema cerrado, y según la norma AISI 304, el acero inoxidable no permite que el calor escape fácilmente.

- Al implementar el controlador LOGO! V8.3 dentro del módulo marmita, permite el uso de módulos externos pertenecientes a la marca SIEMENS, los cuales facilitan la adquisición de datos de diversos sensores, en este caso se utilizó el módulo AM2 RTD el cual permite acondicionar el sensor PT100 de una manera sencilla, además de permitir una compensación a la lectura de sus datos permitiendo que la lectura tenga mayor precisión.
- Se realizaron diversas pruebas en diferentes valores de temperatura para la validación de hipótesis del sistema, se puede apreciar que el error al momento de llevar la disolución al valor del setpoint es alrededor de 3°C, esto debido al sobre impulso que existe en el sistema debido al control que fue seleccionado para el trabajo (ON/OFF)
- En las pruebas realizadas para el control de nivel del sistema, se puede apreciar que existe un error de +/-100ml, el cual se debe a las pequeñas burbujas de aire que se generan dentro de las mangueras de transmisión que se producen por la apertura y cierre de las electroválvulas
- Se pudo comprobar que el rodete escogido para el agitador, permite que se presente la turbulencia necesaria para realizar una disolución adecuada del soluto en el solvente, el líquido entra automáticamente en estado de turbulencia debido a las paletas planas instaladas.
- Al utilizar un calefactor eléctrico con una potencia elevada, fue necesario implementar un sistema eléctrico de 220V de corriente alterna, esto para reducir el impacto en la carga eléctrica del sistema, este actuador consume aproximadamente 18 A en cada fase, lo que genera una carga que puede interferir con la lectura adecuada de los

sensores, por este motivo, se optó por separar la alimentación de los elementos de control

- Para la comunicación entre el usuario y el sistema, se implementó una conexión inalámbrica por medio de un HMI, el cual fue creado a partir del software libre de SIEMENS Logo!soft y Logo Web Editor, esta interfaz permite la comunicación de los cuatro módulos de la línea de producción por medio de señales tanto análogas como digitales, las cuales son enviadas al PLC principal que se encuentra conectado físicamente por medio de un router al resto de controladores, permitiendo así una comunicación bilateral entre todos los módulos y la visualización de datos con el HMI de forma remota con cualquier dispositivo que se encuentre en la red local

Recomendaciones

- Se debe implementar bombas que permitan un control analógico dentro del sistema, además de ello, para compensar los errores con mayor eficiencia, se podría llegar a cerrar el lazo de control con la implementación de sensores de caudal que puedan verificar en tiempo real el caudal entregado por la bomba
- Verificar el nivel de agua del generador de vapor antes y después de su uso, ya que este por el momento no cuenta con indicadores de nivel o sensorización que permita conocer si existe un nivel de líquido adecuado dentro del mismo, lo que puede dar paso a fallas críticas en el sistema
- El agua generada a partir de la condensación del vapor se encuentra dentro de un depósito en el sector de las bombas, esta debería ser vertida de nuevo dentro del generador de vapor para poder ser reutilizada.
- Se puede implementar una trampa termostática a la salida de la doble camisa del generador de vapor, para evitar que el sistema pierda calor y conservar por una cantidad mayor de tiempo el mismo
- Es posible implementar otro sensor PT100 en el módulo marmita para tener una lectura aún más precisa del proceso, utilizando la entrada libre en el módulo AM2 RTD
- Para disminuir el error existente entre el valor real del proceso y el valor deseado (Setpoint) se puede implementar un control PID o un control borroso en base a los datos adquiridos del módulo marmita, esto reduciría considerablemente el sobre impulso generado en el sistema
- Separar la alimentación de todos los dispositivos que forman parte del sistema de control, de los actuadores que consumen corriente, que son los responsables de generar transientes en la red eléctrica

Bibliografía

Agudelo, N., Tano, G., y Vargas, C. (2020). *Historia de la automatización*.

<http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>

Anónimo. (2023). *Procesos de separación* .

<https://quimicaitatljmm.files.wordpress.com/2018/07/procesos-de-separacion-i-iii-1-2013.pdf>

Artur, R., y Falco, R. (2 de abril de 2009). *Despliegue de la función de calidad(QFD)*.

<https://web.cortland.edu/matresearch/qfd.pdf>

Aula 21. (15 de 08 de 2023). *Automatización Industrial: Qué es y cómo funciona*.

<https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/>

BETELGEUX. (25 de Marzo de 2015). *Diseño higiénico en la industria alimentaria*.

<https://www.betelgeux.es/blog/2015/03/25/disenio-higienico-en-la-industria-alimentaria/>

Cámara de Valencia. (18 de Enero de 2022). *Sistemas Ciberfísicos: la respuesta a las necesidades de la sociedad y la industria*.

<https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/sistemas-ciberfisicos-la-respuesta-a-las-necesidades-de-la-sociedad-y-la-industria/>

Castaño, S. (13 de Agosto de 2023). *Lazo abierto y Lazo Cerrado* .

<https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/#:~:text=ventajas%20y%20desventajas.->

,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20lazo%20abierto%20y%20lazo%20cerrado%20ejemplos%3F,la%20evoluci%C3%B3n%20de%20la%20variable.

- Chitalogro, O. (2019). *Repotenciación y automatización del sistema de vapor a las marmitas de cocción en la empresa embutidos "La Madrileña"*.
- Cifuentes, M., Izurieta, A., y Faria, H. (2000). *Medición de la Efectividad del manejo de áreas verdes protegidas*. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2000-131-Es.pdf>
- Cruz, L. (2022). *Procedimiento para el funcionamiento de una marmita a vapor de volteo y su aplicación en el área de alimentos*.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/3313f659-cb0c-44d7-a6ad-db9c5d19dd66/content>
- EMAC. (17 de Septiembre de 2021). *Sistemas de control industrial*.
<https://emacstores.com/sistemas-de-control-industrial/>
- Erazo, S. (2012). *Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso*.
- Fernández, B., y Nelson, G. (2006). *Evaluación, ajuste y construcción del prototipo diseñado anteriormente en la E. E. Cimpa, como equipo accesorio de la marmita de concentración de pulpas de 40 kg de capacidad por bache*. CORPOICA.
- FESTO Didactics. (2020). *Automation Technology Learning Systems*. <https://www.festo-didactic.com/>
- Foundation, N. S. (19 de Junio de 2014). *Cyber-Physical Systems (CPS)*.
<https://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14542/nsf14542.htm>
- GRUMEBER. (29 de Abril de 2021). *Acero Inoxidable AISI 304: propiedades*.
<https://grumeber.com/acero-inoxidable-aisi-304/>
- Gualpa, D., y Proaño, O. (2019). *Diseño e implementación de un sistema ciber-físico con realidad aumentada para facilitar el desarrollo de prácticas de la estación de trabajo*

compacta MPS mediante el monitoreo y despliegue virtual de información en el laboratorio de mecatrónica .

Imbett, D. (2022). *Diseño de una marmita con una capacidad de 80 litros para la producción de yogurt.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/46045/2022danielimbett.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INGLESA. (2018). *Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento .* INGLESA.

Nuñez, S. (2017). *Diseño del proceso industrial para la elaboración de la bebida "PHALLCHA" a base de Ñachag (bidens andícola) para la asociación de producción industrial Lican-Riobamba.* <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6595/1/96T00389.pdf>

Picho, C. (23 de Septiembre de 2016). *Biblioteca Virtual ODUCAL.*

<http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl/vufind/Record/oai:localhost:123456789-1450515>

REIMSE. (2023). *Marmita De Volteo A Gas MGv.* <https://reimse.mx/producto/marmita-de-volteo-a-gas-mgv>

Torres, S., y Vaca, N. (2010). *Diseño, construcción e instalación de un tanque marmita de 2800 lts y rediseño de la lavadora de botellas N° 1 de la empresa LICORAM, en la empresa NEVADO ROSES.*

Villalva, L. (2012). *Diseño e implementación de una máquina automática multifunciones para obtener mermeladas, jugos de fruta y pulpa de fruta pasteurizada.*

Yunus, A. C. (2011). *Transferencia de calor y masa.* McGraw-Hill.

Anexos