

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE
DE MEZCLA CON CAMISA, SERPENTÍN
CALEFACTOR PARA LABORATORIO DE
TÉRMICAS”**

SILVA LARA ERIK JAVIER

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Noviembre, 30 de 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ERIK JAVIER SILVA LARA

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE DE MEZCLA CON CAMISA,
SERPENTÍN CALEFACTOR PARA LABORATORIO DE TÉRMICAS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ramiro Valenzuela S.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Rodrigo Díaz B.
ASESOR DE TESIS

Ing. Gilberto Zabala N.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ERIK JAVIER SILVA LARA

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RECIPIENTE DE MEZCLA CON CAMISA, SERPENTÍN CALEFACTOR PARA LABORATORIO DE TÉRMICAS”

Fecha de Examinación: Noviembre 30 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO N. (Presidente Trib. Defensa)			
ING. RAMIRO VALENZUELA S. (Director de Tesis)			
ING. RODRIGO DÍAZ B. (Asesor)			
ING. GILBERTO ZABALA N. (Asesor)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Erik Javier Silva Lara

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis Padres y hermanos por haber confiado en mí, a mis maestros que me formaron académicamente y de manera muy especial a mi esposa e hija que siempre están a mi lado.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Erik Javier Silva Lara

DEDICATORIA

A mis padres

A mi hermano

A mi hermana

A mi esposa

A mi hija

Erik Javier Silva Lara

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1	ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación técnico-económica.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
2	MARCO TEÓRICO.....	3
2.1	Conceptos básicos de la transferencia de calor.....	3
2.1.1	Conducción de calor.....	3
2.1.1.1	Conducción de calor en paredes planas.....	4
2.1.1.2	Conducción de calor en paredes cilíndricas.....	6
2.1.2	Transferencia de calor por convección.....	8
2.1.3	Transferencia de calor por condensación.....	12
2.1.3.1	Condensación de una película laminar sobre una placa o cilindro vertical.....	13
2.1.3.2	Condensación de películas en tubos horizontales.....	15
2.2	Recipientes con camisa.....	17
2.2.1	Recipientes sin agitación.....	17
2.2.2	Recipientes con agitación mecánica.....	18
2.3	Tipos de agitadores.....	20
2.3.1	Agitadores de hélices.....	22
2.3.2	Agitadores de paletas.....	22
2.3.3	Agitadores de turbina.....	23
2.4	Patrones de flujo en tanques agitados.....	24

2.4.1	Prevención de remolinos.....	25
2.5	Serpentines.....	26
2.5.1	Tipos de serpentines.....	26
2.5.2	Serpentín sumergido en un recipiente.....	27
2.6	Relaciones, ecuaciones y coeficientes.....	28
2.6.1	Relaciones matemáticas para el diseño térmico del recipiente agitado con camisa o serpentín calefactor.....	28
2.6.2	Ecuaciones de los coeficientes de transferencia de calor para camisas y serpentines.....	29
2.6.3	Coefficiente global de transferencia de calor para recipientes con camisa o serpentín calefactor.....	31
2.6.4	Diferencia de temperatura media logarítmica.....	33
2.6.5	Cantidad de calor cedido y ganado.....	35
2.7	Diseño hidráulico.....	36
2.8	Diseño mecánico.....	36
2.8.1	Normas ASME para recipientes a presión e intercambiadores de calor.....	36
2.8.2	Cargas.....	37
2.8.3	Esfuerzos en cascos cilíndricos.....	38
2.8.4	Presión.....	38
2.8.5	Fórmulas expresadas en función de las dimensiones interiores.....	39
3	DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	42
3.1	Generalidades.....	42
3.2	Selección de materiales.....	43
3.3	Propiedades del material.....	44
3.4	Requerimiento del proceso.....	45
3.4.1	Disposición del flujo.....	45

3.5	Parámetros de selección.....	46
3.6	Diseño térmico del recipiente con camisa.....	46
3.6.1	Estimación del flujo de calor requerido.....	46
3.6.2	Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica.....	47
3.6.3	Determinación del área de transferencia de calor.....	48
3.6.4	Proporciones geométricas del agitador y selección del motor.....	51
3.6.5	Cálculo de las áreas del recipiente en contacto con el agua.....	54
3.6.6	Estimación del coeficiente global de transferencia de calor del cilindro.....	54
3.6.6.1	Cálculo del coeficiente de convección del agua (ha).....	56
3.6.6.2	Cálculo del coeficiente de calor del vapor.....	57
3.6.6.3	Cantidad de calor conducido por la pared del cilindro.....	60
3.6.7	Estimación del coeficiente global de transferencia de calor del fondo.....	65
3.6.7.1	Cantidad de calor conducido por la pared del fondo.....	66
3.6.8	Cantidad de calor total conducido por la camisa.....	67
3.6.9	Masa de vapor necesario para calentar el agua.....	67
3.7	Diseño térmico del serpentín.....	69
3.7.1	Estimación del flujo de calor requerido.....	69
3.7.2	Cálculo de la diferencia de temperatura media térmica logarítmica (LMTD).....	69
3.7.3	Determinación geométrica del serpentín helicoidal.....	69
3.7.4	Cálculo del área supuesta de transferencia de calor del serpentín en contacto con el agua.....	71
3.7.5	Estimación del valor del coeficiente global de transferencia de calor.....	72
3.7.5.1	Cálculo del coeficiente de calor del agua en el recipiente con serpentín.....	73

3.7.5.2	Cálculo del coeficiente de vapor dentro del serpentín.....	74
3.7.6	Cantidad de calor conducido por el serpentín.....	76
3.7.7	Masa de vapor necesario para calentar el agua.....	81
3.8	Diseño hidráulico.....	82
3.8.1	Cálculo de la caída de presión en el serpentín calefactor.....	82
3.9	Diseño mecánico del recipiente con camisa y serpentín calefactor.....	83
3.9.1	Diseño del recipiente.....	83
3.9.2	Diseño mecánico del serpentín.....	85
4	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.....	86
4.1	Construcción del recipiente de mezcla con camisa y serpentín calefactor.....	86
4.1.1	Descripción del proceso de construcción del recipiente de mezcla con camisa.....	86
4.1.2	Construcción del serpentín calefactor.....	88
4.1.3	Construcción del soporte del motor y serpentín.....	90
4.1.4	Construcción del agitador tipo paleta.....	90
4.1.5	Construcción de a mesa de soporte.....	91
4.1.6	Controlador de velocidad y sensor de temperatura.....	92
4.2	Máquinas-herramientas, equipos utilizados.....	93
4.3	Montaje del depósito de mezcla con camisa y serpentín calefactor.....	94
4.4	Pruebas de funcionamiento.....	96
4.4.1	Plan de pruebas.....	96
4.4.2	Tabulación de resultados.....	97
5	COSTOS.....	118
5.1	Generalidades.....	118
5.2	Costos directos.....	118
5.3	Costos indirectos de fabricación.....	119

5.4	Costo total.....	126
6	DESARROLLO DEL GUÍA DE LABORATORIO.....	127
6.1	Tema: Transferencia de calor a través de un recipiente de mezcla y serpentín calefactor.....	127
6.2	Introducción.....	127
6.3	Objetivos.....	129
6.4	Equipos y materiales.....	129
6.5	Esquema.....	130
6.6	Marco teórico.....	130
6.6.1	Cálculo de la diferencia de temperatura media térmica logarítmica.....	131
6.6.2	Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor teórico.....	132
6.6.2.1	Cálculo del coeficiente de convección del agua (ha).....	132
6.6.2.2	Cálculo del coeficiente global experimental de transferencia de calor.....	137
6.7	Procedimiento.....	138
6.8	Resultados.....	141
6.9	Conclusiones y recomendaciones.....	141
6.10	Bibliografía.....	141
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	143
7.1	Conclusiones.....	143
7.2	Recomendaciones.....	145

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BIBLIOGRAFÍA.

LINKOGRAFÍA.

ANEXOS.

PLANOS.

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
I	Valores del número de potencia en condiciones turbulentas N_p ...	20
II	Factor de corrección a	29
III	Propiedades del acero inoxidable 304 austenítico.....	45
IV	Calentamiento a través del serpentín con agitador.....	98
V	Calentamiento a través de la camisa con agitador.....	107
VI	Comparación de resultados a la misma presión 10 psig.....	116
VII	Costos de construcción recipiente con camisa.....	120
VIII	Costos de construcción de serpentín helicoidal.....	121
IX	Costos de construcción del agitador.....	122
X	Costos de acople de accesorios.....	123
XI	Costos equipo de control.....	125
XII	Costo total del equipo.....	126

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1.	Transferencia de calor en una pared plana.....	4
2.2.	Transferencia de calor en una pared cilíndrica.....	6
2.3.	Flujo del condensado en un tubo horizontal.....	15
2.4.	Recipiente con camisa y agitador.....	18
2.5	Campos de velocidades en el depósito con agitación axial (A) y radial (B).....	20
2.6	Móviles de agitación.....	21
2.7	Tipos de serpentines.....	27
2.8	Serpentín sumergido.....	27
2.9	Coefficientes de transferencia de calor para camisas y serpentines.....	31
2.10	Red de resistencias térmicas en el cilindro.....	31
2.11	Red de resistencias térmicas en el fondo.....	33
2.12	Variación de temperatura de los fluidos.....	35
2.13	Casco cilíndrico.....	40
3.1	Medidas principales del recipiente con camisa.....	50
3.2	Fluidos contenidos en el recipiente y camisa.....	50
3.3	Detalle de diámetros del recipiente encamisado.....	51
3.4	Área del recipiente en contacto con el agua.....	54
3.5	Disposición del serpentín helicoidal en un recipiente de mezcla.....	69
3.6	Red de resistencias térmicas en el serpentín.....	72
4.1	Ensamblaje recipiente de mezcla con camisa vista superior.....	87
4.2	Ensamblaje recipiente de mezcla con camisa vista frontal.....	88
4.3	Doblado de tubo.....	88

4.4	Conformado del serpentín.....	88
4.5	Soldado y acabado final del serpentín.....	89
4.6	Soporte del motor y serpentín.....	90
4.7	Eje del agitador.....	91
4.8	Agitador de 4 aspas.....	91
4.9	Mesa soporte.....	91
4.10	Tablero de control.....	92
4.11	Vista frontal del equipo.....	94
4.12	Vista superior del equipo.....	94
4.13	Ensamblaje final del equipo.....	95
4.14	Pantalla de Presentación.....	96
4.15	Curva de temperatura al calentar el agua a través del serpentín con agitación.....	99
4.16	Curva de temperatura al calentar el agua a través de la camisa con agitación.....	107
4.17	Comparación de curvas de temperatura al calentar el agua a través de la camisa o serpentín con agitación.....	117
4.18	Tiempos de calentamiento.....	117

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I.	Requerimientos generales de los materiales
ANEXO II.	Propiedades del agua
ANEXO III.	Proporciones geométricas para impulsores
ANEXO IV.	Propiedades termofísicas de sólidos metálicos
ANEXO V.	Tabla de vapor
ANEXO VI.	Recomendaciones geométrica para serpentín helicoidal
ANEXO VII.	Esfuerzo admisible máximo
ANEXO VIII.	Eficiencia de la junta
ANEXO IX.	Fondo del recipiente
ANEXO X	Tipos de unión
ANEXO XI.	Programación del micro controlador
ANEXO XII.	Otros ensayos realizados.
ANEXO XIII.	Análisis de precios unitarios APU
ANEXO XIV.	Coefficiente global de transferencia de calor U

RESUMEN

Con el objetivo de implementar en el laboratorio de térmicas varios tipos de intercambiadores de calor que refuerce los conocimientos teóricos y como aporte para este se ha diseñado y construido un recipiente de mezcla con camisa y serpentín calefactor, donde se utiliza como fluido frío agua y medio caliente vapor, que circula por la camisa o serpentín. Un agitador montado en la base superior se encarga de que la temperatura se distribuya de forma óptima por el recipiente.

El diseño se ha realizado en base a normativas internacionales como es la ASME (American Society of Mechanical Engineers). Para la predicción de resultados se ha utilizado el método MLTD (Diferencia de temperatura media logarítmica)

Durante el proceso de calentamiento del fluido contenido se realizan diversas mediciones, como son temperatura y tiempo de calentamiento mediante el software labview para dar inicio a la ejecución del programa "LECTOR_TEMPERATURAS_CASE1", de la misma manera ha sido instalado un circuito que nos permiten controlar la velocidad del agitador en determinados rangos.

Finalmente se hace una evaluación y comparación entre resultados experimentales y teóricos enfatizando en el coeficiente global de transferencia de calor, cuyos valores se encuentran dentro de los márgenes de confianza.

A futuro se recomienda utilizar otros tipos de agitadores para verificar la influencia de este en la transferencia de calor.

SUMMARY

To implement various types of the heat exchanges strengthening the theoretical knowledge and as a contribution to it, a mixing cased-container and a heating coil has been designed and constructed at the thermal lab. Water as a cold fluid and warm steam circulating through the case or coil are used. An agitator mounted on the superior base is in charge of the optimum temperature distribution through the container. The design was carried out on the basis of international norms such as the ASME (American Society of Mechanical Engineers). For the result prediction the MLTD (Logarithmic mean temperature difference) method has been used. During the fluid heating process diverse measurements such as temperature and heating time through the labview software were carried out to star the execution program LECTOR-TEMPERATURAS-CASE1. Likewise a circuit to control the agitator velocity in determined ranges has been installed. Finally, an evaluation and comparison are carried out between experimental and theoretical result stressing the heat transfer global coefficient whose values are within the reliability margins. In the future it is recommended to use other types of agitators to verify the influence of this one in heat transfer.