

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA: REINGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DEL
SISTEMA DE RETORNO DE CIENO DEL TANQUE DE
ALMACENAMIENTO AL TANQUE DE SEPARACIÓN (API 1) PARA
SU UTILIZACIÓN EN LOS MOTORES A BUNKER, EN LA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA GUANGOPOLO DE LA EMPRESA
CELEC TERMOPICHINCHA S.A**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**JUAN GABRIEL VALLEJO GÓMEZ
GUSTAVO ARMANDO MAIGUASHCA RIVERA**

**DIRECTOR: ING. ANGELO VILLAVICENCIO
CODIRECTOR: ING RODRIGO CONTRERAS**

SANGOLQUÍ, FEBRERO 2011

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto “REINGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RETORNO DE CIENO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO AL TANQUE DE SEPARACIÓN (API 1) PARA SU UTILIZACIÓN EN LOS MOTORES A BUNKER, EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA GUANGOPOLO DE LA EMPRESA CELEC TERMOPICHINCHA S.A.” fue realizado en su totalidad por los señores Juan Gabriel Vallejo Gómez y Gustavo Armando Manguashca Rivera, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Ángelo Villavicencio.
DIRECTOR

Ing. Rodrigo Contreras.
CODIRECTOR

Sangolqui, 25 de Febrero de 2011.

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.

“REINGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RETORNO DE CIENO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO AL TANQUE DE SEPARACIÓN (API 1) PARA SU UTILIZACIÓN EN LOS MOTORES A BUNKER, EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA GUANGOPOLO DE LA EMPRESA CELEC TERMOPICHINCHA S.A.”

ELABORADO POR:

Sr. Juan G. Vallejo G.

Sr. Gustavo A. Maiguashca R.

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**COORDINADOR DE LA CARRERA
DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Sangolqui, 25 de Febrero del 2011.

DEDICATORIA.

Dedico el esfuerzo invertido en este proyecto a Dios y a mis Padres.

Juan Gabriel Vallejo Gómez

*A mis padres Gustavo y Esperanza, a mis hermanas Andrea y Sofía, a mi amor
Tatiana y mi pequeña hija Arianna que me han dado la fuerza para seguir adelante
en los momentos difíciles .*

Gustavo Armando Maiguashca Rivera.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios y nuestras Familias.

Al Ing. Eduardo Aguilera por la confianza puesta en nosotros.

Al Ing. Ángel Benalcázar que siempre estuvo dispuesto a colaborarnos.

Al grupo de amigos del área de mantenimiento de la Central Guangopolo.

A nuestros Directores Ing. Ángelo Villavicencio e Ing. Rodrigo Contreras por la
paciencia y acertada dirección

Juan Gabriel Vallejo Gómez

Gustavo Armando Maignashca Rivera

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INDICE DE IMÁGENES.....	xv
INDICE DE TABLAS.....	xviii.
SIMBOLOGÍA.....	xx
RESUMEN.....	xxiv
INTRODUCCION	
Antecedentes.....	1
Definición del Problema.....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Alcance.....	3
Justificación e importancia.....	4
CAPITULO I: MARCO CONTEXTUAL	
1.1 La empresa “Celec Termopichincha S.A.”.....	5
1.1.1 Historia de la empresa.....	5
1.2 Direccionamiento estratégico.....	6
1.2.1 Misión.....	6
1.2.2 Visión.....	6
1.2.3 Objetivos.....	6
1.2.4 Estrategias.....	6
1.3 Central Térmica Guangopolo.....	7
1.3.1 Generalidades.....	7
1.3.2 Equipos.....	7
1.3.3 Producción.....	8

CAPITULO II: DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL DE BUNKER Y DE RETORNO DE CIENO.

2.1 Levantamiento técnico del sistema actual.....	9
2.1.1 Recorrido al sistema actual.....	9
2.1.1.1 Tanques de almacenamiento de bunker.....	9
2.1.1.2 Tanque intermedio de bunker.....	9
2.1.1.3 Purificadoras de bunker.....	10
2.1.1.4 Pozo de cieno y bomba de extracción.....	11
2.1.1.5 Tanque de separación API1.....	12
2.1.1.6 Purga de tanque de separación API1.....	12
2.1.1.7 Circuito de desagüe hacia las piscinas.....	12
2.1.1.8 Piscinas de decantación.....	12
2.1.1.9 Fosa de rebosamiento.....	13
2.1.1.10 Tanque de almacenamiento de cieno API2.....	13
2.1.1.11 Línea de retorno de cieno desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque API1.....	14
2.1.1.12 Línea de vapor para calefacción de bunker y cieno.....	15
2.1.2 Levantamiento del sistema original.....	15
2.2 Descripción del proceso original.....	15
2.2.1 Sistema de bunker.....	15
2.2.2 Sistema original de retorno de cieno.....	16
2.3 Revisión e informe de funcionamiento de equipos.....	17
2.3.1 Tanques de almacenamiento de bunker.....	17
2.3.2 Tanque intermedio de bunker.....	17
2.3.3 Purificadoras de bunker.....	17
2.3.4 Pozo de cieno y bomba de extracción.....	17
2.3.5 Tanque de separación API1.....	18
2.3.6 Purga de tanque de separación API1.....	18
2.3.7 Circuito de desagüe hacia las piscinas de decantación.....	18
2.3.8 Piscinas de decantación.....	18

2.3.9 Fosa de rebosamiento.....	18
2.3.10 Tanque de almacenamiento de cieno API2.....	18
2.3.11 Línea de retorno de cieno desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque API1.....	18
2.3.12 Línea de vapor para calefacción de bunker y cieno.....	19
CAPITULO III: DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ORIGINAL.	
3.1 Diagnóstico del sistema de bunker.....	20
3.1.1 Diagnóstico de los subsistemas del sistema de bunker.....	20
3.1.1.1 Tanques de almacenamiento de bunker.....	20
3.1.1.2 Tanque intermedio de bunker.....	20
3.1.1.3 Purificadoras de bunker.....	20
3.1.2 Diagnóstico general del sistema de bunker.....	21
3.2 Diagnóstico del sistema de retorno de cieno.....	21
3.2.1 Diagnóstico de los subsistemas del sistema de cieno.....	21
3.2.1.1 Pozo de cieno y bomba de extracción.....	21
3.2.1.2 Tanque de separación API1.....	21
3.2.1.3 Purga de tanque de separación API1.....	21
3.2.1.4 Circuito de desagüe hacia las piscinas de decantación.....	21
3.2.1.5 Piscinas de decantación.....	21
3.2.1.6 Fosa de rebosamiento.....	21
3.2.1.7 Tanque de almacenamiento de cieno API2.....	22
3.2.1.8 Línea de retorno de cieno desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque API1.....	22
3.2.2 Diagnostico general del sistema de cieno.....	22
CAPITULO IV: ACCIONES A TOMAR PARA LA MEJORA DEL SISTEMA.	
4.1 Propuesta para mejora en el Tanque de Almacenamiento de Cieno.....	23
4.1.1 Implementación de un Sistema de calefacción dentro del Tanque de almacenamiento.....	23
4.1.2 Implementación de Línea de Vapor, desde la línea principal de Vapor hacia el sector del Tanque de Almacenamiento de Cieno.....	23

4.2 Propuesta para la mejora de la Línea de Retorno de Cieno desde el Tanque de Almacenamiento hasta el Tanque de Separación API1	24
4.2.1 Selección y reemplazo del Sistema de Bombeo original.....	24
4.2.2 Implementación de una Configuración de tubo de vapor acompañante para la Línea de Retorno de Cieno.....	24
4.3 Propuesta para la mejora en las piscinas de decantación.....	25
4.3.1 Limpieza y mantenimiento en las Piscinas de decantación.....	25
4.3.2 Implementación de nuevos rebosaderos en las piscinas.....	25
4.4 Propuesta para la mejora en la Fosa de rebosamiento.....	26
4.4.1 Implementación de Sistema de calefacción para la fosa de rebosamiento.	26
4.4.2 Selección e instalación de un nuevo sistema de bombeo hacia el tanque de almacenamiento.....	26
4.5 Elaboración de informe de acciones para la mejora del sistema.....	26
CAPITULO V: MARCO TEORICO.	
5.1 Sistemas de Vapor.....	28
5.1.1 Calderas Piro tubulares.....	28
5.1.2 Tuberías para vapor y su dimensionamiento.....	29
5.1.2.1 Bases del procedimiento.....	29
5.1.2.2 Teoría.....	30
5.1.2.3 Procedimiento de cálculo.....	31
5.1.2.4 Dilatación lineal de la tubería de vapor.....	34
5.1.3 Aislamiento para líneas de vapor y su dimensionamiento.....	35
5.1.3.1 Introducción al aislamiento térmico de tuberías con acompañamiento de vapor	35
5.1.3.2 Desarrollo.....	36
5.1.3.3 Metodología de cálculo.....	37
5.1.4 Trampas de vapor y criterios para su selección.....	44
5.1.4.1 Introducción a las trampas de vapor.....	44
5.1.4.2 Clasificación de las trampas de vapor.....	44
5.1.4.3 Criterio de selección de trampas de vapor.....	47
5.2 Calentadores de serpentín.....	49

5.2.1	Introducción a la convección.....	49
5.2.1.1	Tipos de convección.....	50
5.2.1.2	Convección libre o natural.....	51
5.2.1.3	Consideraciones físicas.....	51
5.2.1.4	Números adimensionales.....	53
5.2.2	Método de diseño por convección libre para calentadores.....	54
5.3	Sistema de Bombeo.....	58
5.3.1	Introducción a la viscosidad de los fluidos.....	58
5.3.1.1	Viscosidad dinámica.....	58
5.3.1.2	Fluidos newtonianos y no newtonianos.....	58
5.3.1.3	Variación de la viscosidad con la temperatura.....	59
5.3.2	Flujo de fluidos y potencia de bombeo.....	59
5.3.2.1	Rapidez de flujo de fluido.....	59
5.3.2.2	Ecuación de continuidad.....	60
5.3.2.3	Velocidad de flujo recomendada en conductos y tuberías.....	61
5.3.2.4	Conservación de la Energía—Ecuación de Bernoulli.....	61
5.3.3	Pérdidas y adición de energía.....	61
5.3.3.1	Fricción de fluido.....	61
5.3.3.2	Nomenclatura de pérdidas y adiciones de energía.....	61
5.3.3.3	Ecuación general de la energía.....	62
5.3.3.4	Potencia requerida por bombas.....	62
5.3.3.5	Flujo laminar y flujo turbulento.....	63
5.3.3.6	Número de Reynolds.....	63
5.3.3.7	Pérdidas de energía debido a la fricción.....	63
5.3.3.8	Pérdidas de fricción en flujo laminar.....	64
5.3.3.9	Pérdidas menores de energía debido a la fricción.....	64
5.3.3.10	Perdida en la salida.....	65
5.3.3.11	Pérdida de entrada.....	65
5.3.3.12	Coeficientes de resistencia para válvulas y juntas.....	65
5.4	Diseño de soportes para línea de retorno y línea de vapor.....	67
5.4.1	Espaciamiento entre soportes.....	68

CAPITULO VI: DISEÑO

6.1 Diseño del Sistema de Vapor.....	70
6.1.1 Determinación de diámetro y espesor del tubo de vapor.....	70
6.1.1.1 Determinación del diámetro del tubo de vapor.....	70
6.1.1.2 Determinación del espesor del tubo de vapor.....	70
6.1.1.3 Determinación de la dilatación lineal de la tubería de vapor.....	71
6.1.2 Determinación de material y espesor de aislamiento.....	71
6.1.2.1 Determinación del material de aislamiento.....	71
6.1.2.2 Determinación del espesor de aislamiento.....	72
6.1.3 Determinación de tipo de trampas de vapor.....	73
6.2 Diseño de serpentines.....	74
6.2.1 Determinación de las superficies de transferencia.....	74
6.2.2 Determinación del número de pasos y geometría de los serpentines. ...	75
6.2.3 Diseño de soportes para los serpentines de dentro del tanque de almacenamiento API 2 y la fosa de rebosamiento.....	76
6.3 Diseño de sistemas de bombeo.....	78
6.3.1 Determinación de potencia de las bombas.....	78
6.3.2 Selección de Bombas.....	79
6.3.3 Diseño de soportes para la línea de retorno y línea de vapor.....	80

CAPITULO VII: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

7.1 Elaboración de lista de materiales.....	82
7.2 Planos del sistema.....	82
7.3 Mano de Obra.....	82
7.4 Equipos y herramientas.....	82
7.5 Secuencia de procesos para la construcción del sistema.....	83
7.5.1 Diagramas de procesos para elementos mecánicos del sistema.....	85
7.6 Informe de construcción y montaje.....	95

CAPITULO VIII: PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS

8.1 Instrumentación.....	118
8.2 Pruebas de operación del sistema.....	121
8.2.1 Verificación de funcionamiento.....	121

8.2.2 Toma de datos.....	121
8.2.3 Elaboración de informe de funcionamiento.....	122
CAPITULO IX: ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	
9.1 Inversión en materiales y equipos.....	124
9.2 Recuperación de la inversión.....	129
9.3 Calculo del VAN, TIR y análisis costo-beneficio.....	130
CAPITULO X: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
10.1 Conclusiones.....	133
10.2 Recomendaciones.....	134
ANEXOS	
ANEXO A: PLANOS.....	137
ANEXO B: MEMORIAS DE CÁLCULO.....	157
ANEXO C: INFORMES DE INSPECCION Y SOLDADURA.....	197
ANEXO D: FICHAS TECNICA DE EQUIPOS.....	209
ANEXO E: MANUAL DE USUARIO.....	227

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Configuración de Tubos para transporte de Crudos pesados.....	25
Figura 5.1. Esquema de funcionamiento de las calderas Piro tubulares.....	28
Figura 5.2 Para determinación de diámetro de tubo.....	33
Figura 5.3 Para determinación de pérdidas en la línea de vapor.....	33
Figura 5.4: Dilatación lineal.....	34
Figura 5.5: Tubería de vapor acompañante con ángulo selectivo de calentamiento.....	36
Figura 5.6 Trampa mecánica convencional.....	45
Figura 5.7 Trampas termostáticas convencionales tipo fuelle.....	46
Figura 5.8 Trampa Termodinámica de Disco convencional.....	46
Figura 5.9 Circulación estable e inestable.....	52
Figura 5.10 Explicativo.....	53
Figura 5.11 Distribución de Numero de Nusselt sobre un cilindro horizontal...	57
Figura 5.12 Sistema de flujo de fluido que ilustra la ecuación general de la energía.....	62
Figura 6.1. Fuerzas que actúan sobre un serpentín sumergido y sus soportes.	77
Figura 7.1. Soportes metálicos para bases.....	85
Figura 7.2. Serpentín de la fosa de rebosamiento.....	87
Figura 7.3. Serpentín del tanque de almacenamiento.....	89
Figura 7.4. Rebosaderos para recolección.....	91

INDICE DE IMÁGENES

Imagen1.1: Central Termoeléctrica Guangopolo.....	7
Imagen 1.2: Motores Mitsubishi – MAN, de la central Guangopolo.....	8
Imagen 2.1: Tanques de almacenamiento de Bunker.....	9
Imagen 2.2: Tanque Intermedio de Bunker.....	10
Imagen 2.3: Tanque de Almacenamiento de Cieno API2.....	13
Imagen 7.1: Corte de tubería original con arco de sierra.....	95
Imagen 7.2: Corte de perfil L de 2” a 45° y soldadura de estructuras.....	95
Imagen 7.3: Estructura terminada.....	96
Imagen 7.4: Terreno sin nivelar, por donde atravesarán las tuberías de cieno y vapor.....	96
Imagen 7.5: Terreno nivelado, por donde atravesarán las tuberías de cieno y vapor.....	96
Imagen 7.6: Excavación de plintos sobre terreno nivelado.....	97
Imagen 7.7: Encofrado y fundición bases.....	97
Imagen 7.8: Panorámica de la fundición de bases.....	97
Imagen 7.9: Sector en el cuál la tubería original está bajo tierra.....	98
Imagen 7.10: Tubería expuesta en el sector de la imagen 7.9.....	98
Imagen 7.11: Sección de la tubería de 2” con el tubo de cobre de1/4” en su interior.....	98
Imagen 7.12: Extracción del tubo de cobre.....	99
Imagen 7.13: Roscas NTP en neplera.....	99
Imagen 7.14: Soldadura en taller de tubería de vapor.....	99
Imagen 7.15: Soldadura de Tubería con E6011.....	100
Imagen 7.16: Ensamblaje de de tubería de cieno con universales y soldadura de tubo de vapor.....	100
Imagen 7.17: Tuberías de cieno y vapor sobre su base.....	100
Imagen 7.18: Tuberías de cieno y vapor aseguradas a su base mediante abrazaderas tipo U.....	101
Imagen 7.19: Configuración de tubería acompañante de vapor.....	101

Imagen 7.20: Piscinas de decantación sin rebosaderos.....	101
Imagen 7.21: Canal que conduce el cieno a las piscinas.....	102
Imagen 7.22: Piscinas de decantación con los rebosaderos instalados.....	102
Imagen 7.23: Instalación de rebosaderos.....	102
Imagen 7.24: Canal de la fosa de rebosamiento.....	103
Imagen 7.25: Detalle de los cordones de soldadura del serpentín de la fosa de rebosamiento.....	103
Imagen 7.26: Serpentín de la fosa de rebosamiento terminado.....	103
Imagen 7.27: Relación dimensional del serpentín.....	104
Imagen 7.28: Detalle de la soldadura (proceso MIG) para tubería de serpentín...	104
Imagen 7.29: Equipo de soldadura MIG, de la central Guangopolo.....	104
Imagen 7.30: Prueba de ultrasonido en el serpentín de la fosa de rebosamiento.	105
Imagen 7.31: Soportes del serpentín de la fosa de rebosamiento.....	105
Imagen 7.32: Soportes del serpentín del tanque de almacenamiento API2.....	106
Imagen 7.33: Tanque de almacenamiento de cieno API2, antes de su mantenimiento y sandblasting.....	106
Imagen 7.34: Mantenimiento al tanque de almacenamiento API2.....	107
Imagen 7.35: Terminado de sandblasting dentro del tanque API2.....	107
Imagen 7.36: Tanque terminado después de su mantenimiento.....	107
Imagen 7.37: Panorámica de la construcción del serpentín dentro del tanque API2, y manhole por donde se debe ingresar todo el material y equipos.....	108
Imagen 7.38: Soldadura del serpentín dentro del tanque con proceso SMAW y E6011.....	108
Imagen 7.39: Salida del serpentín del tanque de cieno API2.....	108
Imagen 7.40: Anillo de refuerzo para la entrada y salida del serpentín en el tanque.....	109
Imagen 7.41: Detección de una fuga dentro del tanque API2.....	109
Imagen 7.42: Detección de una porosidad a la salida del serpentín del tanque API2.....	110
Imagen 7.43: Detección de pequeñas porosidades en un cordón de soldadura dentro del tanque API2.....	110

Imagen 7.44: Eliminación de óxido del serpentín de la fosa de rebosamiento.	110
Imagen 7.45: Colocación del serpentín dentro de la fosa de rebosamiento...	111
Imagen 7.46: Vista del sistema original de bombeo en el sector del tanque API2.	111
Imagen 7.47: Distribución del sistema de bombeo original.....	111
Imagen 7.48: Redistribución del sistema de bombeo.....	112
Imagen 7.49: Sistema de bombeo redistribuido.....	112
Imagen 7.50: Colocación de válvulas y trampas de vapor termodinámicas a lo largo de la línea.....	112
Imagen 7.51: Trampa de vapor de balde invertido al final del serpentín de la fosa de rebosamiento.....	113
Imagen 7.52: Instalación de manómetros y termómetros para medición de presión y temperatura en la línea de vapor.....	113
Imagen 7.53: Sistema de bombeo redistribuido.....	113
Imagen 7.54: Acometida de la línea principal de la Central.....	114
Imagen 7.55: Acometida de los serpentines a la línea de vapor mediante electroválvula.....	114
Imagen 7.56: Nueva bomba instalada, con sus líneas de succión a la fosa y descarga.....	115
Imagen 7.57: Detalle de las líneas de succión y descarga.....	115
Imagen 7.58: Canal por donde pasa la línea de cieno y vapor.....	115
Imagen 7.59: Canal recién fundido.....	116
Imagen 7.60: Aislamiento de las líneas de cieno y vapor a lo largo de toda su extensión.....	116
Imagen 7.61: Detalle del método de aislamiento.....	116
Imagen 7.62: Detalle del sistema de aislamiento y recubrimiento.....	117
Imagen 7.63: Recubrimiento con lámina de aluminio a lo largo de la línea.....	117
Imagen 7.64: Panorámica de la línea ya aislada y recubierta.....	117
Imagen 8.1: Carátula del manómetro con Glicerina.....	118
Imagen 8.2: Termómetro Sugihra.....	119

INDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Coeficientes de dilatación lineal para algunos materiales.....	35
Tabla 5.2: Coeficiente de transmisión superficial del calor desde la tubería acompañante al aire en el interior de la cavidad, α_{AC} (W/m ² °C).....	41
Tabla 5.3: Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el aire en el interior de la cavidad a la tubería, α_A (W/m ² °C).....	41
Tabla 5.4: Valores del coeficiente de transmisión superficial del calor desde la superficie exterior del aislamiento hacia el aire exterior, α_2 (W/m ² °C).....	42
Tabla 5.5: Fórmulas para la determinación de los ángulos β, θ, T, ϕ	43
Tabla 5.6: Fórmulas para la determinación de la magnitud auxiliar m y las áreas F_{AC}, F_A, F_E	43
Tabla 5.7 Subdivisión de tipos de trampas de vapor.....	45
Tabla 5.8 Constantes de la ecuación (Ec. 5.29) para convección libre sobre un cilindro circular horizontal.....	56
Tabla 5.9 Rapidez de flujo de volumen típicas para diferentes tipos de sistemas.....	59
Tabla 5.10.- Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de potencia de fluido.....	61
Tabla 5.11 Resistencia en válvulas y juntas expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto (L_e / D)	66
Tabla 5.12.- Espaciado Sugerido entre Soportes.....	69
Tabla 6.1 Parámetros para selección de bombas	79
Tabla 8.1: Características de los manómetros implementados.....	118
Tabla 8.2: Características de los termómetros implementados.....	119
Tabla 8.3: Tabla de datos tomados para el sistema de vapor implementado..	121
Tabla 8.4: Tabla de datos tomados para el sistema de bombeo implementado..	121
Tabla 9.1: Materiales utilizados en la implementación del proyecto.....	124
Tabla 9.2: Trabajos contratados por parte de la Central a terceros.....	128
Tabla 9.3: Mano de obra y Equipos nuevos adquiridos.....	129
Tabla 9.4: Inversión total.....	129

SIMBOLOGIA Y ABREVIATURAS

A, Área transversal en la tubería de cieno.

alt, Altura del cieno, en la fosa de rebosamiento y el tanque.

C, Carga en un solo soporte

Cd, Carga distribuida por metro de soporte

Cp: Calor específico

D, Diámetro interior de la tubería de cieno

d, Diámetro interno de la tubería de vapor.

d_a, Diámetro de la Tubería principal aislada

d_{ac}, Diámetro de la tubería acompañante de vapor.

Dd, Diámetro interior en la línea de descarga

Ds, Diámetro interior de tubería de succión

Dt, diámetro externo de la tubería en pulgadas

Dt1, diámetro externo de la tubería en metros

d₂, Diámetro exterior de la tubería principal.

F, factor de seguridad para cálculo de potencia en bombas

f, coeficiente de fricción en tubería de cieno.

F_a, Superficie de cálculo de la tubería principal por unidad de longitud.

F_{ac}, Superficie de la tubería acompañante por unidad de longitud.

F_E, Área de la parte restante de la superficie de la insulación por unidad de longitud.

g, Gravedad

gr, Gravedad

Gv, Flujo de vapor

h, Altura desde el serpentín hasta el espejo del cieno para diseño de soportes para los serpentines

h, Coeficiente de convección

hA, Altura o cabeza total sobre la bomba

hL, Pérdidas por fricción por parte del sistema

k, Conductividad térmica

L, Máxima longitud, a la cual tiene lugar la condensación total del vapor para un flujo de vapor dado.

L, Longitud de transferencia de calor para diseño de serpentines

L_e, Longitud total de los entrepasos del serpentín

L_p, Longitud de cada paso del serpentín

L_s, Longitud del soporte para los serpentines

L_t, Longitud total del serpentín

m, Magnitud auxiliar

n, Numero de válvulas o accesorios en diseño de sistema de bombeo

Nu_D, Número de Nusselt

P, Numero de pasos del serpentín para determinación de cargas en los soportes.

P, Caída de presión

p, Presión en la línea de vapor

P_h, Presión que soporta el serpentín.

p_o, Presión atmosférica

Pot, Potencia en HP

Pr, Potencia en Kw

Pr, Número de Prandtl para diseño de serpentines

Q, Rapidez de flujo para diseño de bombeo

Q, Calor por unidad de longitud para diseño de serpentines.

q_{con}, Calor por convección

q_{rad}, Calor por radiación

Q₁, Calor requerido para calentar el cieno.

r, Calor de cambio de fase.

R_a, Resistencia térmica desde el aire en el interior de la cavidad termoaislada a la tubería calentada.

R_{ac}, Resistencia térmica desde la tubería acompañante al aire en el interior de la cavidad termoaislada.

Ra_D, Número de Rayleigh

R_e, Resistencia térmica total desde el aire en el interior de la cavidad termoaislada, a través de la insulación y hacia el aire exterior.

t_{ac} , Temperatura de la pared del tubo de vapor acompañante.
 T_c , Temperatura ambiente del cieno
 t_o , Temperatura ambiente.
 t_p , Temperatura a la cual debe mantenerse el producto en la tubería principal.
 T_s , Temperatura en la superficie de la tubería de vapor
 t_1 , Temperatura del aire en el interior de la cavidad termoaislada.
 T_2 , Temperatura final a calentarse el cieno.
 v , Velocidad de flujo para sistema de bombeo.
 ν , Viscosidad cinemática
 Vol , Volumen del cieno en la fosa
 W , Peso por cada metro del material del serpentín
 W , Flujo de masa del vapor para selección de tubería de vapor
 W_t , Peso total del serpentín de vapor
 x , $\cos\beta$
 z_1 , altura entre el nivel de espejo de cieno y línea de succión
 z_2 , altura entre el nivel de línea de succión y punto de descarga
 γ , Peso específico.
 ε , Eficiencia
 β , Coeficiente de expansión volumétrica de una sustancia para diseño de serpentines.
 ρ , Densidad
 σ , Constante de Stefan-Boltzman
 α , Difusividad térmica
 ξ , Emisividad del acero
 θ , Ángulo formado por la parte de la tubería sobre la cual se dispone el aislamiento.
 β , Ángulo formado por la parte de la tubería que se calienta por el aire en el interior de la cavidad para selección de aislamiento térmico
 α_{ac} , Coeficiente de transmisión superficial del calor desde la tubería acompañante al aire en el interior de la cavidad.
 α_1 , Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el fluido hasta la superficie interior de la tubería principal.

α_2 , Coeficiente de transmisión superficial del calor desde la superficie del aislamiento hacia el medio exterior.

λ_a , Coeficiente de conductividad térmica del material aislante térmico.

δ_a , Espesor de aislamiento

α_a , Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el aire en el interior de la cavidad a la tubería.

RESUMEN

Para evitar el desperdicio de combustible en la Central Guangopolo hemos propuesto en enero del 2010 la implementación del presente proyecto, titulado “REINGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DEL SISTEMA DE RETORNO DE CIENO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO AL TANQUE DE SEPARACIÓN (API 1) PARA SU UTILIZACIÓN EN LOS MOTORES A BUNKER, EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA GUANGOPOLO DE LA EMPRESA CELEC TERMOPICHINCHA S.A”, idea que fue aprobada por el directorio técnico de la CELEC Termopichincha S.A. y auspiciado por la misma.

La implementación de este proyecto dentro de la Central Guangopolo permite la recuperación del Cieno (combustible), que hasta noviembre del 2010 era despachado o regalado a la industria cementera, por tanto se logra la optimización de los recursos dentro de la Central, generando obviamente un ahorro, que se especifica a lo largo de este documento, y además reduce el impacto ambiental provocado por el dicho combustible.

El proyecto consta de tres etapas principales:

1. Diseño.
2. Construcción y montaje.
3. Puesta en marcha y pruebas.

Previo a las tres etapas del proyecto se tuvo que hacer un estudio de factibilidad, en el cuál se tuvo que demostrar los beneficios que generaría el proyecto para la autorización de los desembolsos.

La duración del proyecto en sus tres etapas fue de doce meses, y la carta de conformidad fue emitida el 11 de enero del 2011 por parte del Jefe Técnico de la central Guangopolo Ing. Eduardo Aguilera.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

En la Central Termoeléctrica Guangopolo de la Empresa CELEC¹ Termopichincha S.A. se genera energía eléctrica mediante motores de combustión interna, con 6 motores de marca Mitsubishi MAN de fabricación japonesa de 18 cilindros en V con capacidad de generación de 5.1 MW cada uno, y un motor de marca Stork-Wartsila de fabricación holandesa de 8 cilindros en línea con capacidad de generación de 1.6 MW, la máxima capacidad de generación de esta central está alrededor de 32MW de Potencia.

Este método de generación eléctrica necesita de combustible para funcionar, en este caso se utiliza el fuel oíl N°3 o bunker² proveniente de la refinería de Shushufindi, que es uno de los últimos productos de la destilación del petróleo, su viscosidad es elevada a bajas temperaturas por lo que se debe calentar previamente para poder ser transportado mediante bomba y además contiene una cantidad variable de agua e impurezas solidas, lo que nos obliga a realizar un tratamiento de purificación del bunker, previo a su combustión en los motores. Este tratamiento físico de purificación eleva la calidad del bunker, pero genera un desecho denominado CIENO, este desecho contiene agua, así como BUNKER y partículas de tierra, a este cieno se lo puede aprovechar extrayendo el bunker que contiene, pero la totalidad de este producto se lo regala a la industria cementera para ser incinerado en los hornos, produciendo así, el desperdicio de combustible con su respectiva pérdida económica para la Central Guangopolo y la contaminación ambiental involucrada con su incineración.

¹ CELEC: Corporación Eléctrica del Ecuador.

² Bunker: Combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos.

Para intentar recuperar este combustible que se desecha, se instaló al final de los 90's en la Central, una línea de retorno de Cieno³ que parte del tanque de almacenamiento de cieno (API2) y se dirige hasta el Tanque de separación (API1), lo denominamos "Sistema Original" (*Ver anexo A, plano VM-02*), El Tanque API1 es en donde se realiza la separación de agua y purificación del cieno, y el tanque API2 es donde se almacena el cieno de desecho. Este sistema de retorno nunca realizo su trabajo porque no fue diseñado técnicamente, y se convirtió en un gasto infructuoso. Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, se hace indispensable proponer una solución para optimizar los recursos y solucionar este problema que aqueja a esta institución desde hace más de diez años.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de purificación del Bunker, y extracción de Cieno está especificado en el diagrama de flujo en (*Anexo A, plano VM-01*), la purificación da lugar al Cieno como desecho, que no es más que Agua con BUNKER y partículas menores de tierra, este Cieno se deposita en primera instancia en un Pozo de cieno. Que almacena y calienta al cieno temporalmente y después es bombeado a un tanque de separación, que aplica el método de vasos comunicantes, denominado Tanque API1, para separar agua del Cieno, por diferencia de densidades. El drenado de agua de este tanque API1, mediante la purga provoca fuga de Cieno hacia las piscinas de decantación, donde debe recogerse mediante un rebosadero y ser llevado a una fosa de rebosamiento, pero este rebosadero no cumple su cometido satisfactoriamente. Posteriormente hay que bombear el Cieno desde las Piscinas hacia el tanque de almacenamiento, pero existen dificultades al bombearlo debido a la viscosidad del cieno a temperatura ambiente y al mal diseño de la línea que lo conduce, y mucho más difícil se hace bombearlo desde el Tanque de almacenamiento API2, al tanque API1, por la gran distancia y la falta de calefacción en el tanque y en la línea de retorno. Debido a estas dificultades no se ha podido utilizar nunca el sistema original de retorno de cieno.

³ Cieno: Residuo de la purificación del bunker.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Recuperar el cieno de desecho de las piscinas de decantación, para su incineración en los motores a Bunker de la Central Guangopolo y así optimizar los recursos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento técnico del sistema de cieno implementado originalmente.
- Análisis y determinación de deficiencias y necesidades en el sistema original de retorno de cieno.
- Determinar soluciones a las deficiencias y necesidades del sistema original de retorno de cieno.
- Implementar dichas soluciones en el sistema original de retorno de cieno.
- Realizar pruebas de funcionamiento al sistema mejorado de retorno de cieno.

ALCANCE

- Se logrará economizar en los costos de producción de energía eléctrica en la Central Guangopolo de la Empresa CELEC Termopichincha.
- Al recuperar el Cieno para su re purificación, se optimizan los recursos energéticos de la Central Guangopolo.
- Se elimina el requerimiento de contratar tanqueros para la evacuación del Tanque de Almacenamiento de cieno API2.
- Menor impacto ambiental.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La importancia de este proyecto radica en que se haría posible la utilización del Cieno que se desecha en gran cantidad, aproximadamente 5000 galones cada mes, a este cieno se lo puede volver a purificar recuperando alrededor del 30%, en volumen de Bunker, en relación al volumen total de cieno de desecho, para ser utilizado en los motores, esto significaría un ahorro cuantioso para la Empresa CELEC Termopichincha S.A ya que el galón de Bunker proveniente de Shushufindi, a la empresa le cuesta 0.43 \$ más su transportación que son 0.11 \$ de dólar. Además se reduce el impacto ambiental gracias a que se disminuye la producción de Cieno en la planta y se evitaría la incineración del Cieno en los hornos cementeros, lo que implica emisiones de CO₂.

Además se facilita la extracción mediante bombeo del Cieno almacenado dentro del tanque cuando sea necesario darle mantenimiento.

CAPITULO I

MARCO CONTEXTUAL

1.1 LA EMPRESA “CELEC TERMOPICHINCHA S.A”.

1.1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA

CELEC TERMOPICHINCHA S.A. es una de las 6 empresas principales generadoras del País, que pertenece al Fondo de Solidaridad.

Desde su constitución el 13 de enero de 1999, la Compañía de Generación Termoeléctrica⁴ TERMOPICHINCHA⁵ S.A. produce energía eléctrica con las mejores condiciones de calidad técnica, basando su gestión en la optimización de costos con recursos humanos especializados, que le permiten tener altos niveles de disponibilidad de sus equipos y actuar con responsabilidad social y ambiental.

La Compañía se creó mediante Resolución No. 99.1.1.1 de la Superintendencia de Compañías con domicilio en el Distrito Metropolitano de Quito, e inscrita en el Registro Mercantil del Cantón Quito del 29 de enero de 1999

La Compañía inicia sus operaciones con un monto de activos de US \$ 32'852.722, y un endeudamiento total de US \$ 12'105.693, según escrituras de constitución al 29 de enero de 2002.

TERMOPICHINCHA S.A. cuenta con tres generadoras termoeléctricas:

- **La Central Guangopolo⁶, ubicada en el Valle de los Chillos, viene operando desde abril de 1977, cuenta con una potencia instalada de 31.2 MW.**

⁴ Generación Termoeléctrica: Transformación de energía calórica en energía eléctrica.

⁵ Extraído de: <http://www.termopichincha.com.ec/>

⁶ Extraído de: <http://www.termopichincha.com.ec/>

- La Central Santa Rosa inició su operación en marzo de 1981, ubicada en el Km. 17 de la Panamericana Sur en el sector de Cutuglahua de Quito, cuenta con una potencia instalada de 51 MW, distribuida en 3 turbinas que funcionan como generadores o compensadores sincrónicos.
- La Central La Propicia ubicada en la Provincia de Esmeraldas, que pasó a ser propiedad de la Compañía a partir del 27 de marzo del 2007, cuenta con una potencia instalada de 8MW.

1.2 DIRECCIONAMIENTO ESTRATEGICO

1.2.1 MISION

Generar progreso a la sociedad ecuatoriana, mediante la producción y comercialización de energía eléctrica y la entrega de dividendos al Accionista para posibilitar el financiamiento de sus programas de desarrollo humano.

1.2.2 VISION

Compañía técnica, comercial y financiera consolidada; experta en generación térmica, geográficamente expandida, diversificada con fuentes de generación hidroeléctricas y no convencional; con cultura empresarial, procesos, sistemas, personas y relaciones de calidad; con alta responsabilidad social y ambiental; y, aportando beneficios económicos con valor agregado a su accionista

1.2.3 OBJETIVOS

- Producir energía eléctrica activa y reactiva al menor costo, con mejoramiento continuo de sus procesos técnicos y ambientales.
- Comercializar la energía bajo mecanismos competitivos, que aseguren la sostenibilidad financiera.
- Generar dividendos para el accionista con valor económico agregado

1.2.4 ESTRATEGIAS

- Mejoramiento competitivo
- Expansión y diversificación de la generación eléctrica
- Sostenibilidad financiera
- Fortalecimiento y desarrollo empresarial

- Gestión integrada de sistemas de calidad seguridad, salud ambiente y responsabilidad social

1.3 CENTRAL TERMICA GUANGOLOPO

1.3.1 GENERALIDADES

La Central Térmica Guangopolo cumplió ya más de 30 años de funcionamiento, constituyéndose en una de las principales centrales termoeléctricas del País, cuyo accionista es el Fondo de Solidaridad.

Desde su inicio ha operado con excelencia y con las mejores condiciones de calidad técnica. El trabajo en equipo ha sido clave, para llevar a cabo las acciones correspondientes y alcanzar los objetivos que actualmente se han logrado. Viene operando desde el 25 de abril de 1977 y se encuentra ubicada en el Sector de Guangopolo, Valle de los Chillos.



Imagen1.1: Central Termoeléctrica Guangopolo

1.3.2 EQUIPOS

Cuenta con 7 grupos de motor – generador. El combustible utilizado para el funcionamiento de estos grupos es el Residuo de Petróleo para la operación normal y Diesel No. 2 para el arranque y parada de las unidades.

Siguiendo un perfil estratégico, y con el fin de aumentar el nivel de generación de energía y la participación en el mercado, se instaló con éxito el Grupo Wärtsilä, que se constituyó en el séptimo motor de la Central Guangopolo, el mismo que

entró en operación comercial, el 30 de agosto del 2006. Con esto se aumentó la producción de 31.2 MW a 33 MW.



Imagen 1.2: Motores Mitsubishi – MAN, de la central Guangopolo

1.3.3 PRODUCCION

El voltaje de generación es de 6.6 KV, el mismo que es elevado a 138 KV para sincronizarse a la Subestación Vicentina y de ahí a la red interconectada nacional. En período de estiaje de las centrales hidroeléctricas, esta central opera para cubrir la demanda base del país y el resto del tiempo es programado para cubrir la demanda en horas pico y por requerimientos de energía reactiva.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ORIGINAL DE BUNKER Y DE RETORNO DE CIENO.

2.1 LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SISTEMA ORIGINAL.

2.1.1 RECORRIDO AL SISTEMA ORIGINAL.

Ver sistema original en: *(Anexo A, plano VM-02)*,

2.1.1.1 Tanques de almacenamiento de bunker.

La Central Guangopolo cuenta con 2 Tanques Atmosféricos, de 400000 galones de capacidad cada uno. Ambos forman parte del sistema de Bunker de la Central Guangopolo, aquí se almacena el bunker N° 3 proveniente de la refinería de Shushufindi, transportado mediante tanqueros desde la refinería hasta la Central Guangopolo. Estos tanques cuentan con un sistema de calefacción de vapor para disminuir la viscosidad del Búnker a menos de 200 cSt y facilitar su bombeo, estos tanques se encuentran a 300 metros de la Central por motivos de seguridad y facilidad de descarga para los tanqueros.

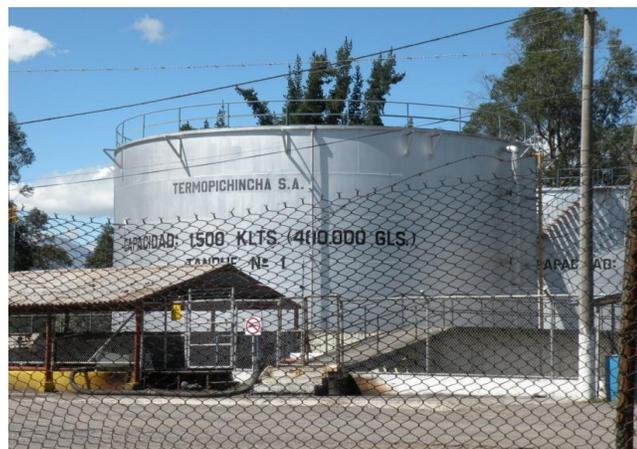


Imagen 2.1: Tanques de almacenamiento de Bunker.

2.1.1.2 Tanque intermedio de bunker.

A este tanque de 15000 litros de capacidad que forma parte del sistema de Bunker de la Central, es enviado el bunker desde los tanques de almacenamiento

anteriormente mencionados, su función es almacenar el bunker previo a su purificación. Posee también sistema de calefacción de vapor.



Imagen 2.2: Tanque Intermedio de Bunker.

2.1.1.3 Purificadoras de bunker

Son los dispositivos del sistema de Bunker de la Central, encargados de extraer, mediante fuerza centrífuga y calor, el exceso de agua y las impurezas existentes en el bunker proveniente de los tanques intermedios. En estas máquinas se origina el Cieno, que no es más que Agua con impurezas mas una cantidad variable de Bunker, Este cieno se deposita en el pozo de cieno ubicado en la misma área de tratamiento de combustible.

- **Datos técnicos de las purificadoras**

CANTIDAD:	4 PURIFICADORAS
MARCA:	MITSUBISHI KAKOKI KAISHA LTD
ESTADO:	OPERABLES
CAPACIDAD:	6000 Lt/h
POTENCIA:	11KW
VELOCIDAD:	1500 rpm
PESO:	935 Kg
FABRICACION:	JAPONESA SEPT. 1975

- **Motores de las purificadoras**

MARCA:	SUPER LINE
POTENCIA:	11 KW
VELOCIDAD:	1720 RPM
VOLTAJE:	380 V
HZ:	60
INTENSIDAD:	21 AMP
TEMP. AMB:	40 °C
CODIGO:	F
FABRICACION:	JAPONESA, AGO, 1975

2.1.1.4 Pozo de cieno y bomba de extracción.

El Pozo de Cieno es un compartimento de 2 x 1,2 metros por 1 metro de profundidad con capacidad para 582 galones, en el cuál se recolecta el Cieno inmediatamente después de salir de las purificadoras, la bomba (*ver datos técnicos abajo*) es la encargada de succionar el Cieno y enviarlo hacia el Tanque de separación API1. El pozo cuenta con sistema de calefacción interna de vapor.

- **Datos técnicos de la bomba de extracción.**

MARCA:	EBARB PUMPS
TIPO:	CENTRIFUGA
CAPACIDAD:	6 m ³ /h
ALTURA TOTAL:	20 metros
VELOCIDAD:	1750 RPM
FABRICACION:	JAPONESA. AGO. 1975

- **Motor de la bomba.**

MARCA:	LITTLE KING
POTENCIA:	3.7KW, 4P
VELOCIDAD:	1720 RPM
VOLTAJE:	380 V
HZ:	60
INTENSIDAD:	7,4 AMP

2.1.1.5 Tanque de separación API 1.

En este tanque se deposita el cieno después del proceso de purificación de bunker, tiene 4500 galones de capacidad, aquí se somete al cieno a una separación física mediante decantación por vasos comunicantes. El objetivo de este tanque es extraer agua del cieno, y recircular el cieno hacia la purificadora N°4, destinada únicamente a la purificación de cieno, En el (*Anexo A, plano VM-6*) se detallan las dimensiones y geometría del Tanque de separación API1. La estadía del cieno en este tanque es de 24 horas. Este tanque cuenta con sistema de calefacción interna de vapor.

2.1.1.6 Purga de tanque de separación API 1

Esta válvula de purga del tanque API 1, tiene la función de eliminar el exceso de agua de los compartimentos del tanque API 1. Pero no envía solamente agua, sino también Cieno, alrededor de 80 galones de cieno por día hacia las piscinas en el sector API 2.

2.1.1.7 Circuito de desagüe hacia las piscinas de decantación.

Este circuito conduce el cieno, que fuga por la purga del tanque API1 y fluye hasta las piscinas, este circuito conduce también las aguas lluvias de tres desagües de la central, que se necesita reencauzarlas.

2.1.1.8 Piscinas de decantación.

Estas piscinas tienen, en conjunto, una capacidad para aproximadamente (14300 litros/ 3800 galones) de Cieno, aquí se vuelve a separar mediante decantación y vasos comunicantes, al cieno del agua y de las partículas sólidas. El cieno separado en este proceso se dirige hacia la fosa de rebosamiento, y el agua separada se dirige hacia las piscinas de tratamiento de aguas residuales. El Cieno debe ser recolectado por un rebosadero existente en la tercera piscina, pero este único rebosadero NO cumplía su propósito satisfactoriamente, por lo cual los operarios se ven en la necesidad de bombear el Cieno desde la primera piscina

para evacuarlo. En el (*Anexo A, plano VM-07*) se detallan las dimensiones y la geometría de las Piscinas de Decantación.

2.1.1.9 Fosa de rebosamiento.

Es un compartimento de 1.83 x 0.92 metros por 1.8 metros de profundidad con una capacidad de (3000 litros/800 galones), ubicado a un costado de las piscinas de decantación, cuya función es almacenar provisionalmente el Cieno separado por el rebosadero, para luego ser extraído mediante bomba desde este compartimento, pero debido a que el rebosadero no satisface las necesidades de recolección, el Cieno NO se bombeaba desde esta fosa sino desde la piscina1.

2.1.1.10 Tanque de almacenamiento de cieno API⁷ 2.

Se trata de un tanque de 7 m de diámetro y una Capacidad de Almacenamiento de 50000 Galones, (*Ver en anexo A, plano VM-10*), A éste tanque llega el Cieno bombeado desde la primera piscina de decantación⁸, el proceso de bombeo hacia este tanque es totalmente ineficiente. Este tanque carece de un sistema de calefacción lo que dificulta la extracción del Cieno mediante bombeo hacia el tanque API1 o hacia los tanqueros que lo llevan como desecho.



Imagen 2.3: Tanque de Almacenamiento de Cieno API2

⁷ API: American Petroleum Institute.

⁸ Decantación: Separación de mezclas por diferencia de densidad.

2.1.1.11 Línea de retorno de cieno desde el tanque de almacenamiento API2 hacia el tanque API1

El diámetro de la salida del Tanque de almacenamiento es de 4 pulgadas, luego existe una reducción a 2 pulgadas, para acoplarse al filtro y a la bomba (*ver abajo los datos técnicos*), después de la bomba, en toda la extensión de la línea se tiene tubo de diámetro de 2 pulgadas Cédula⁹ 40. La longitud de la línea es de aproximadamente 120 metros, y existen dos diferencias bruscas de nivel, una de 6 y otra de 2 metros.

Esta línea de 2 pulgadas, llevaba por dentro un tubo de cobre de ¼ de pulgada cuya función habría sido llevar vapor para calentar el Cieno que fluya dentro del tubo de 2 pulgadas. Es evidente que el diseño, la selección de materiales y dimensionamiento equipos de todo este sistema de retorno fue realizado en forma empírica, razón por la cual esta línea de retorno nunca llevó a cabo su cometido.

- **Datos técnicos de la bomba de la línea de retorno.**

MARCA: SHIMADZU PUMPS
TIPO: DE ENGRANES
FABRICACION: JAPONESA.

Nota: Información escasa en la placa de esta bomba

- **Motor de la bomba.**

MARCA: MEIDENSHA ELECTRIC LTD
POTENCIA: 3.7KW, 4P
VELOCIDAD: 1720 RPM
VOLTAJE: 380 V
HZ: 60
INTENSIDAD: 7,4 AMP
CODIGO: E
FABRICACION: JAPONESA, 1976

⁹ Cédula: 40/80 denota el espesor del tubo

2.1.1.12 Línea de vapor para calefacción de bunker y cieno.

En la Central Guangopolo se tiene la línea principal de vapor la cual se encuentra a una presión de 6 bar, se cuenta con 6 Calderas del Tipo Piro-tubulares (Por el interior de los tubos de la Caldera circulan los gases de escape de la combustión de los motores), una por cada motor Mitsubishi - MAN de la Central. Además también se cuenta con una Caldera Auxiliar que se la utiliza para calentar los subsistemas de los motores en el encendido de los motores. El Vapor de las Calderas desemboca en una línea principal de Vapor, se trata de un tubo de 4 pulgadas de diámetro cédula 80, La presión en esta línea es de 6 bar, la temperatura es 150 °C y el caudal másico de vapor es de 195 Kg/h. Esta línea alimenta, entre otros, a los sistemas de calefacción de bunker en los tanques intermedios y de almacenamiento de bunker, así como en las purificadoras, pozo de cieno y tanque de separación API1.

2.1.2 LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA ORIGINAL.

Elaboración de planos del sistema original.

VER ANEXO A, PLANOS VM-01, VM-02, VM-03, VM-06, VM-07 Y VM-10.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ORIGINAL.

El proceso seguido originalmente para la purificación del Bunker, generación y retorno de cieno es el siguiente:

2.2.1 SISTEMA DE BUNKER

- Recepción y bombeo del Bunker de los Tanqueros hacia los Tanque de almacenamiento.
- Bombeo del Bunker desde los Tanques de Almacenamiento hacia el Tanque intermedio.
- Calentamiento y purificación del Bunker en purificadora 1, 2, y 3, proveniente del Tanque intermedio.
- Calentamiento y purificación del Cieno en purificadora 4, proveniente del Cubículo 5 del Tanque de Separación API1.

- Envío del Bunker purificado al Tanque Diario y luego hacia los Motores Mitsubishi-MAN y Wartsila, para la generación eléctrica.

2.2.2 SISTEMA ORIGINAL DE RETORNO DE CIENO

- Envío del Cieno desde las Purificadoras de Bunker hacia el Pozo de Cieno.
- Bombeo del Cieno, desde el Pozo de Cieno hacia el Tanque de Separación API1.
- Separación, mediante decantación y vasos comunicantes, de Agua del Cieno en el Tanque API1.
- Purga y escape de Cieno desde el Tanque de Separación API1, hacia las Piscinas de Decantación.
- Separación, mediante decantación y vasos comunicantes, de Agua y partículas solidas del Cieno en las Piscinas de decantación.
- Recolección del Cieno de la superficie de la Piscina 3, mediante un rebosadero, y envío del mismo hacia la fosa de rebosamiento. Tanto el rebosadero como la fosa no cumplen su función correctamente, razón por la cual no son utilizados.
- Bombeo rudimentario, con bomba sumergible, del Cieno y gran cantidad de agua, desde la Piscina 1 hacia el Tanque de Almacenamiento de Cieno.
- Almacenamiento del Cieno y Gran Cantidad de Agua en el Tanque de Almacenamiento de Cieno.
- Extracción y Bombeo del Cieno desde el Tanque de Almacenamiento hacia el Tanque de Separación API1, La línea de retorno y el Tanque de almacenamiento de Cieno no cuentan con sistema de calefacción, además el sistema de bombeo está dimensionado incorrectamente, razón por la cual nunca se pudo Bombear el Cieno desde el Tanque de Almacenamiento hacia el Tanque API1.

2.3 REVISIÓN E INFORME DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS Y ELEMENTOS EN EL SISTEMA ORIGINAL.

Revisión e informe al lunes 19 de abril del 2010

2.3.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE BUNKER

- Correcto funcionamiento en ambos tanques.
- Sistema de calefacción interna sin agujeros ni fallas.
- Aislamientos de tubería deteriorados superficialmente pero todavía funcionales.
- Tapas manhole de 60 cm, correctamente cerradas y sin fuga.
- Empaquetaduras de tapas manhole en buen estado.

2.3.2 TANQUE INTERMEDIO DE BUNKER

- Correcto funcionamiento en el tanque
- Sistema de calefacción interna sin agujeros ni fallas.
- Aislamiento térmico de tubería en buen estado.
- Líneas de alimentación y descarga de Bunker sin agujeros ni falla.
- Empaquetaduras de tapas manhole en buen estado.

2.3.3 PURIFICADORAS DE BUNKER

- Las 4 unidades están operables
- Líneas de alimentación y descarga de Bunker sin agujeros.
- Línea de evacuación de Cieno sin agujeros.
- Motores eléctricos operables.
- Línea de vapor y aislamiento sin agujero ni falla

2.3.4 POZO DE CIENO Y BOMBA DE EXTRACCION.

- Bomba centrífuga operable.
- Línea de succión y descarga sin agujeros.
- Motor eléctrico operable.
- Pozo de Cieno libre de impurezas.
- Sistema de calefacción interna sin agujeros ni fallas.

2.3.5 TANQUE DE SEPARACION API 1

- Línea de alimentación y descarga sin agujeros ni falla.
- Cubículos de Cieno libres de obstrucciones.
- Baffles de separación libres de picadura y corrosión.
- Sistema de calefacción interna sin agujeros ni fallas.

2.3.6 PURGA DE TANQUE DE SEPARACIÓN API 1.

- Válvula de purga sin obstrucciones.

2.3.7 CIRCUITO DE DESAGUE HACIA LAS PISCINAS DE DECANTACION.

- Desagüe propenso a obstrucciones.

2.3.8 PISCINAS DE DECANTACION.

- Piscinas sin agrietamientos ni fugas visibles en la superficie.
- Piscinas expuestas a polvo y partículas solidas del medio ambiente.
- Sedimentación de lodos en el fondo de las piscinas, que no permite la determinación del estado del fondo de las piscinas.
- Rebosadero sin falla pero ineficiente.

2.3.9 FOSA DE REBOSAMIENTO.

- Fosa sin agrietamientos ni fugas visibles.
- Fosa encerrada no expuesta medio ambiente.
- Nunca utilizada

2.3.10 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CIENO API 2.

- Correcto funcionamiento en el tanque.
- No posee sistema de calefacción interna.
- Alimentación y descarga de Cieno sin agujeros ni falla
- 2 Tapas manhole de 60 cm, correctamente cerradas y sin fuga.
- Empaquetaduras de tapas manhole en buen estado.

2.3.11 LINEA DE RETORNO DE CIENO DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO HACIA EL TANQUE API1.

- Línea de 2 pulgadas de diámetro y 130 metros de extensión sin agujeros ni fallas superficiales en el tubo.

- Bomba y motor operables.
- Filtro en correcto estado.

2.3.12 LINEA DE VAPOR PARA CALEFACCION DE BUNKER Y CIENO.

- Tubo de 4" de diámetro de la línea principal en correcto estado.
- Fugas de vapor en varios subsistemas de la central.
- Aislamiento de la línea principal en correcto estado.

CAPITULO III

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA ORIGINAL.

3.1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE BUNKER.

3.1.1 DIAGNÓSTICO DE LOS SUBSISTEMAS.

3.1.1.1 Tanques de almacenamiento de bunker.

- Estos tanques realizan correctamente su trabajo de almacenar el Bunker proveniente de Shushufindi¹⁰, se les da mantenimiento periódicamente y no presentan ningún inconveniente, no tiene participación en el sistema de retorno de Cieno, por lo tanto no necesita adecuaciones.

3.1.1.2 Tanque intermedio de bunker.

- Este tanque cumple también su trabajo correctamente, al igual que los tanques de almacenamiento de búnker, a este también se le da mantenimiento de acuerdo con el plan de mantenimiento de la Central. Tampoco tiene participación en el sistema de retorno de Cieno, por lo tanto no amerita adecuaciones.

3.1.1.3 Purificadoras de bunker.

- Las 4 Purificadoras son operables, se les da el mantenimiento periódico requerido para su correcto funcionamiento, pero debemos tomar en cuenta que estas purificadoras han estado funcionando desde los inicios de la Central Guangopolo, desde el año 1975. El desecho del proceso de purificación es el Cieno. Las purificadoras 1,2 y 3 son encargadas de purificar el Bunker del Tanque Intermedio, mientras que la purificadora 4 está destinada únicamente a la purificación del Cieno del Tanque API1. Las purificadoras efectúan correctamente su trabajo, por lo tanto no necesitan adecuaciones.

¹⁰ Shushufindi: Refinería ubicada en el oriente ecuatoriano.

3.1.2 DIAGNÓSTICO GENERAL DEL SISTEMA DE BUNKER

- El Sistema de Bunker está funcionando correctamente, ninguno de los subsistemas presenta avería ni complicaciones, no requiere de reemplazos ni adecuaciones.

3.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ORIGINAL DE RETORNO CIENO.

Ver sistema original en (*Anexo A, plano VM-01, VM-02 y VM-03*)

3.2.1 DIAGNÓSTICO DE LOS SUBSISTEMAS.

3.2.1.1 Pozo de cieno y bomba de extracción.

- Tanto el pozo como la bomba de extracción cumplen correctamente su trabajo, no es necesario efectuar ningún cambio en este subsistema.

3.2.1.2 Tanque de separación API 1.

- Este tanque cumple satisfactoriamente su función de separación, no necesita ser reemplazada o de adecuaciones.

3.2.1.3 Purga de tanque de separación API1.

- Esta válvula normalmente abierta, no presenta inconvenientes en su funcionamiento por lo tanto no necesita ser reemplazada.

3.2.1.4 Circuito de desagüe hacia las piscinas de decantación.

- Este circuito no presenta inconvenientes en su funcionamiento, por lo tanto no necesita de adecuaciones.

3.2.1.5 Piscinas de decantación.

- Cumple parcialmente su función, de separar el agua y partículas del Cieno.
- Contiene gran cantidad de lodos sedimentados en el fondo y no permiten su correcto desempeño.
- Rebosadero insuficiente para la recolección adecuada del Cieno que se acumula en la superficie de las piscinas.

3.2.1.6 Fosa de rebosamiento.

- No tiene falla, pero no es utilizado porque la recolección es ineficiente.
- No cumple función alguna dentro del sistema actual.

3.2.1.7 Tanque de almacenamiento de cieno API2.

- No tiene falla y almacena correctamente el Cieno.
- No posee un sistema de calefacción que disminuya la viscosidad del Cieno y que haga más sencillo el proceso de extracción del Cieno mediante de bombeo.

3.2.1.8 Línea de retorno de cieno desde el tanque de almacenamiento hacia el tanque API1

- Dimensionamiento incorrecto del sistema de bombeo.
- Tubería de 2 pulgadas en muy buen estado.
- No existe sectorización de la línea de retorno de cieno, se presuriza toda la línea en el proceso de bombeo.

3.2.2 DIAGNÓSTICO GENERAL DEL SISTEMA DE RETORNO DE CIENO

Funcionamiento parcial e ineficiente del sistema, se requiere de cambios e implementaciones en los siguientes subsistemas:

- Tanque de Almacenamiento de Cieno.
- Línea de retorno de Cieno del Tanque de Almacenamiento hacia el Tanque de Separación API1.
- Piscinas de decantación.
- Fosa de rebosamiento.

CAPITULO IV

ACCIONES A TOMAR PARA LA MEJORA DEL SISTEMA.

4.1 PROPUESTA PARA MEJORA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CIENO.

(Se muestra al sistema mejorado en Anexo A, plano VM-04 y VM-05)

4.1.1 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DENTRO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Para hacer más fácil la extracción del Cieno desde el Tanque de Almacenamiento se requiere elevar la temperatura del Cieno dentro del Tanque a más de 50°C, que es la temperatura a la que el Cieno ha disminuido su viscosidad¹¹ lo suficiente para su fluidez (Ver anexo B pág. 195, propiedades físicas y químicas del Cieno), esto facilita el proceso de bombeo así como también la separación del agua contenida en el cieno, disminuyendo así el porcentaje de humedad del mismo.

Entonces se hace obvia la necesidad de instalar un serpentín que ceda calor en el interior del Tanque. Debido a las sobresalientes propiedades de transferencia de calor y a la gran disponibilidad de Vapor en la Central, será un serpentín¹² con flujo interno de vapor. *(En el siguiente numeral se muestran las propiedades y la disponibilidad de Vapor dentro de la Central Guangopolo)*

4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DE LÍNEA DE VAPOR, DESDE LA LÍNEA PRINCIPAL DE VAPOR HACIA EL SECTOR DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CIENO API2.

¹¹ Viscosidad: Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza

¹² Serpentín: Tubería de geometría variable que realiza un intercambio de calor, cediendo o absorbiendo calor.

Dentro de la Central Guangopolo se cuenta con 6 Calderas¹³ del Tipo Piro-tubulares (Por el interior de los tubos de la Caldera circulan los gases de escape de la combustión de los motores), una por cada motor Mitsubishi - MAN de la Central. Además también se cuenta con una Caldera Auxiliar que se la utiliza para el encendido de los motores. El Vapor de las Calderas desemboca en una línea principal de Vapor, se trata de un tubo de 4 pulgadas de diámetro cédula 80, La presión en esta línea es de 6 bar, la temperatura es 150 °C y el caudal másico de vapor es de 195 Kg/h. Para implementar un sistema de Calefacción en el Tanque de Almacenamiento API2, se necesita instalar obligatoriamente una **nueva línea de vapor** que salga desde la **línea principal de vapor** y se dirija hacia el serpentín dentro del Tanque de almacenamiento de Cieno.

4.2 PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA LÍNEA DE RETORNO DE CIENO DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO API2 HASTA EL TANQUE DE SEPARACIÓN API1.

4.2.1 SELECCIÓN Y REEMPLAZO DEL SISTEMA DE BOMBEO ORIGINAL.

Como vimos en los capítulos anteriores, el Sistema de bombeo actual no es capaz de elevar la presión en la línea lo suficiente como para llevar el Cieno desde el Tanque de Almacenamiento hasta el Tanque de Separación API1, la solución a este problema es sustituir con un sistema correctamente diseñado, tomando en cuenta los factores de temperatura, pérdidas en accesorios, fluido a ser transportado, etc.

4.2.2 IMPLEMENTACIÓN DE UNA CONFIGURACIÓN DE TUBO DE VAPOR ACOMPAÑANTE PARA LA LÍNEA DE RETORNO DE CIENO.

Para mantener la temperatura por encima de los 50°C del Cieno constante a lo largo del circuito de retorno es necesario que exista la transferencia de calor desde el tubo de vapor que se va a instalar, hacia el tubo que conduce el cieno. La

¹³ Caldera: Dispositivo generador de vapor.

configuración de los tubos y el aislante para este cometido se especifica en la figura de abajo.

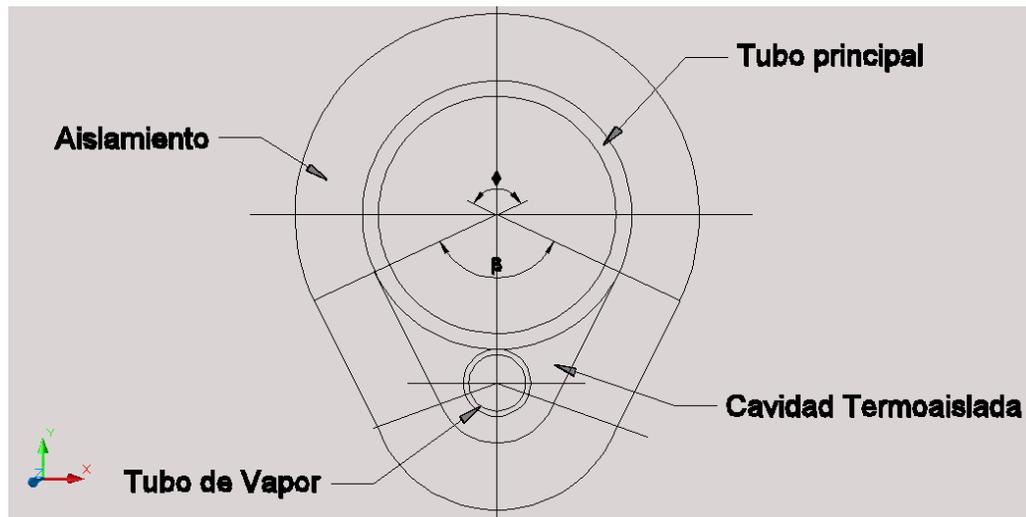


Figura 4.1 Configuración de Tubos para transporte de Crudos pesados.

4.3 PROPUESTA PARA LA MEJORA EN LAS PISCINAS DE DECANTACIÓN.

4.3.1 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO EN LAS PISCINAS DE DECANTACIÓN.

Se desconoce el estado del fondo de estas piscinas, no se les ha realizado mantenimiento desde hace tres años, debido a la dificultad de acceso y limpieza de las mismas, entonces en primera instancia se debe realizar una limpieza completa de las piscinas de decantación, para retirar los lodos sedimentados del fondo y que obstruyan el paso del agua por debajo de los baffles¹⁴ de las piscinas. De esta forma podemos inspeccionar y diagnosticar acerca del estado del fondo de estas piscinas.

4.3.2 IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS REBOSADEROS EN LAS PISCINAS.

Además se deberá instalar 2 rebosaderos del tipo placa orificio para la separación del cieno en la superficie de las piscinas 1 y 2 respectivamente, con esto se

¹⁴ Baffles: Separador de compartimentos en un contenedor, tanque o piscina

mejora la capacidad recolección del cieno de las piscinas y envió hacia la fosa de rebosamiento, situada al costado de las piscinas.

4.4 PROPUESTA PARA LA MEJORA EN LA FOSA DE REBOSAMIENTO.

4.4.1 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CALEFACCIÓN PARA LA FOSA DE REBOSAMIENTO.

Proponemos implementar un sistema de calefacción en la fosa de rebosamiento, para disminuir la viscosidad del cieno que se almacenará allí y hacer más fácil su extracción hacia el Tanque de almacenamiento, La toma de vapor se lo hará a la línea de vapor que se implementará *según el numeral 3.1.2.*

4.4.2 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE BOMBEO HACIA EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

En el sistema original se bombea desde la piscina 1, con una bomba sumergible, (*proceso de transporte manual*). Se instalará un sistema de bombeo destinado sólo a este trabajo de bombear desde la fosa de rebosamiento hacia el Tanque de separación API1 así como al tanque de almacenamiento de cieno API2 .

4.5 ELABORACIÓN DE INFORME DE ACCIONES PARA LA MEJORA DEL SISTEMA.

Se realizarán los siguientes cambios e implementaciones:

Para mejora en el tanque de almacenamiento de cieno API2

- Implementación de un serpentín en el interior del tanque.
- Implementación de una línea de vapor desde la línea principal de vapor de la Central, hasta el tanque de almacenamiento.

Para la mejora de la Línea de Retorno de Cieno desde el Tanque de Almacenamiento hasta el Tanque de Separación API1.

- Redistribución del sistema actual de bombeo.
- Implementación de configuración de tubo de vapor acompañante y aislamiento para la línea de retorno de cieno.

Para la mejora en las piscinas de decantación.

- Limpieza y mantenimiento del fondo de las piscinas.
- Instalación de Rebosaderos en las piscinas 1 y 2 para una recolección más eficiente del cieno de la superficie de las piscinas.

Para la mejora en la Fosa de rebosamiento

- Implementación de un serpentín al interior de la fosa de rebosamiento.
- Instalación de sistema de bombeo desde la fosa de rebosamiento hacia el tanque de almacenamiento.

CAPITULO V

MARCO TEORICO

5.1 SISTEMAS DE VAPOR.

5.1.1 CALDERAS PIROTUBULARES.

En la central Guangopolo existen 6 calderos Pirotubulares de vapor llamados economizadores, uno en cada motor, estos producen vapor y abastecen a toda la planta, trabajan a una presión de 7 bares y a una temperatura máxima de 170 °C, pero la central también cuenta con un caldero auxiliar utilizado para el momento de arranque de los grupos o en caso de emergencia. Para el motor WÄRTSILÄ , el abastecimiento de vapor se lo hace mediante un múltiple de vapor.

Se denominan calderos Pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, (Como se muestra en la figura de abajo) los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

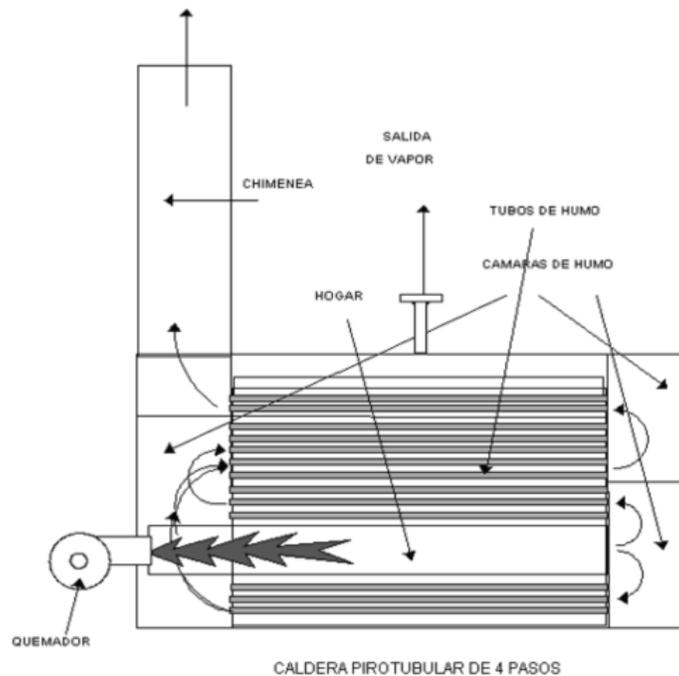


Figura 5.1. Esquema de funcionamiento de las calderas Pirotubulares

El combustible se quema en un hogar, en este caso en la cámara de combustión de los 6 motores Mitsubishi MAN, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

5.1.2 TUBERÍAS PARA VAPOR Y SU DIMENSIONAMIENTO¹⁵.

A¹⁶ continuación se presenta un procedimiento simple para calcular los diámetros de tubería en sistemas típicos de distribución de vapor en plantas industriales, que proporcione resultados confiables y económicos. Este método considera todos los aspectos prácticos que intervienen en el flujo de vapor en tuberías con uso principal de calentamiento en plantas industriales. Este método no trata de abarcar tuberías de vapor para generación de energía eléctrica. El método también reconoce el hecho de que este tipo de cálculos son más un arte que una ciencia y por lo tanto se tienen que establecer ciertos límites dentro de los cuales el calculista se debe de mantener para uniformizar este tipo de cálculos. Pero aún así el calculista tendrá que utilizar cierto criterio para hacer una selección que cubra los requerimientos de la instalación y al mismo tiempo sea económica.

5.1.2.1 Bases del procedimiento.

Este procedimiento es exacto hasta en un +- 2% para vapor saturado hasta una presión de 1400psig y es bajo hasta un 10% para vapor con sobrecalentamiento de hasta (700°F / 371°C).

¹⁵ Tubos para vapor y su dimensionamiento: Kern Donald Q "Procesos de Transferencia de Calor" Editorial continental S.A de C.V México (1984)

¹⁶<http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/dimenstubvap.doc>

La capacidad máxima que se podrá manejar confiablemente con este método será de 1000000 lbs de vapor por hora.

Este método utiliza nomogramas para solucionar las ecuaciones empíricas que se utilizan.

Los rangos de velocidades recomendadas para vapor en tuberías serán:

Para vapor Saturado de (0 a 50 psi / 0 a 3.4 bar) - - - - (4000 a 6000 ppm / 20.3 a 30.4 m/s)

Para vapor saturado de (50 a 600 psi / 3.4 a 41.3 bar) - - (6000 a 10000 ppm / 30.4 a 50.8 m/s)

Vapor sobrecalentado (200 psi / 13.8 bar y mayor) - - - - 10000 a 15000 ppm / 50.8 a 76.2 m/s).

La caída de presión (P) debida a la fricción de las tuberías estará limitada de 0.5%-0.7% de la presión de línea por cada (100 pies / 30.5 metros) de longitud total equivalente, para cabezales y tuberías con pulsaciones. Para tramos cortos con flujos continuos la caída de presión (P) podrá ser del 1.0% al 2.0% de la presión de línea.

5.1.2.2 Teoría.

Uno de los criterios más importantes para el dimensionamiento de una tubería es la velocidad de flujo del vapor dentro del tubo.

La velocidad del vapor en una tubería circular se puede expresar como:

$$(Ec. 5.1) \quad v = 3.056 \text{ Ve } W / d^2$$

Donde; v = La velocidad del vapor, pies por minuto (ppm).

Ve = Volumen específico de vapor, pies cúbicos por hora (cfh).

W = Flujo de masa del vapor, (lbs/h).

d = Diámetro interno de la tubería de vapor, (pulgadas).

En el rango de presiones hasta (600 psi / 41.3 bar), el volumen específico del vapor saturado puede ser representado por

$$(Ec. 5.2) \quad \text{Ve} = 334 / p^{0.938}$$

Donde,

p = Presión absoluta del vapor, psi

Substituyendo en (Ec. 5.1):

$$v = 1020 (W/d^2) p^{0.938} \quad \text{ó} \quad d^2 = 1020 (W/v)/p^{0.938}$$

La Figura 5.2 resuelve esta ecuación para velocidades de (6,000 y 10,000 ppm / 30.4 a 50.8 m/s).

La pérdida de presión debido a la fricción en las tuberías se puede determinar con suficiente exactitud para diseño por medio de fórmulas empíricas. La fórmula de UNWIN es de las más populares en la industria por su facilidad de solución gráfica. La fórmula es la siguiente:

$$(Ec. 5.3) \quad \Delta P = K V_e L W^2 / d^5 \quad \text{en psi}$$

Donde;

V_e = Volumen específico del vapor, (cfh).

L = Longitud equivalente de tubería, (pies).

W = Flujo masa del vapor, (lbs./hr).

d = Diámetro interior de la tubería, (pulgadas).

$$(Ec. 5.4) \quad K = 3,625 (1 + 3.6 / d) / 10^{11}$$

La Figura 5.3 resuelve esta ecuación para varias condiciones de vapor y de tuberías.

5.1.2.3 Procedimiento de Cálculo

El problema básico es determinar un diámetro adecuado de tubería para manejar un cierto flujo de vapor a una velocidad razonable con pérdidas de presión por fricción aceptables. La velocidad de vapor está limitada por la erosión que esta causa sobre las paredes del tubo y la pérdida de presión correspondiente. Desde el punto de vista económico, la velocidad se debe de mantener lo más alta posible, sin

exceder los límites establecidos ó la caída máxima permisible entre el punto de suministro al punto de alimentación de vapor.

El siguiente procedimiento asume el uso de las gráficas anexas aunque también pueden utilizarse las fórmulas para mayor exactitud ó si las condiciones del sistema quedan fuera del rango de las gráficas.

1. Hacer un croquis ó dibujo de la instalación, de preferencia en isométrico, mostrando cambios de dirección, bajadas, subidas, ramales, etc.

En cada tramo se deberá indicar su longitud real de tubería y su longitud de tubería equivalente.

Se deberá indicar el flujo de vapor máximo que vaya a fluir -por cada tramo.

2. Las condiciones del vapor se deberán definir:
 - a. La presión inicial (P_1).
 - b. La presión terminal mínima permisible (P_2).
 - c. El flujo de vapor.
 - d. Grado de sobrecalentamiento del vapor.
3. Cuantificar la longitud equivalente de conexiones y válvulas. Sumar y sacar la longitud total equivalente de cada tramo de tubería.
4. Utilizando la Figura 5.2 obtener un diámetro de tubería tentativo suponiendo una velocidad razonable. Seleccionar uno ó dos diámetros tentativos.
5. Con los diámetros seleccionados en (Ec. 5.3), determinar la pérdida de presión unitaria (por 100 pies) utilizando la Figura 5.3 .
6. Calcular la caída de presión total P de toda la longitud equivalente (L) utilizando la Figura 5.3, para cada uno de los diámetros tentativos.
7. Hacer la selección del diámetro que cumpla mejor con todos los requerimientos técnicos y económicos, verificando que este diámetro dé una caída de presión dentro del rango permisible y que está dentro de las velocidades permisibles del vapor.
8. Sí se considera necesario, verificar con el uso de las fórmulas (Ec. 5.1) y (Ec. 5.3) la velocidad y la caída de presión con el diámetro seleccionado.

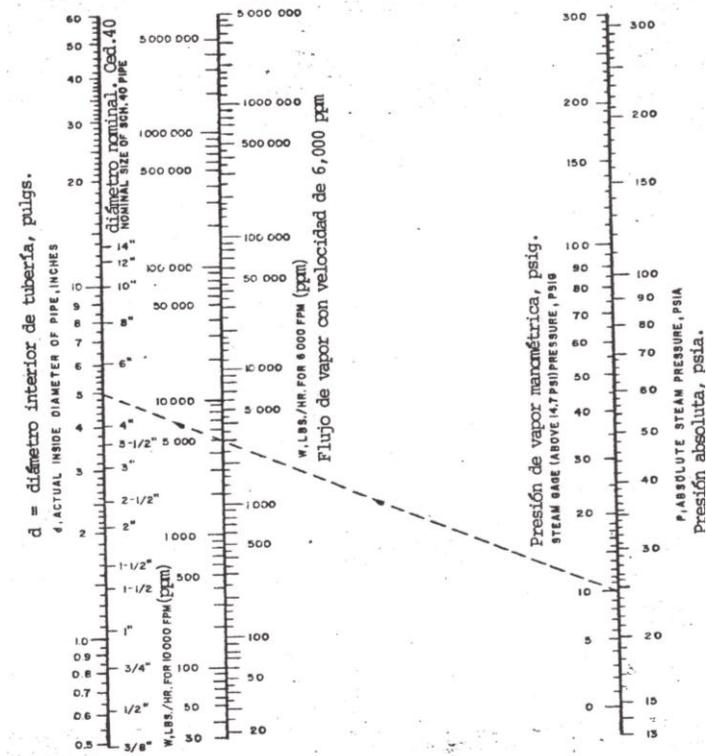


Figura 5.2 para determinación de diámetro de tubo

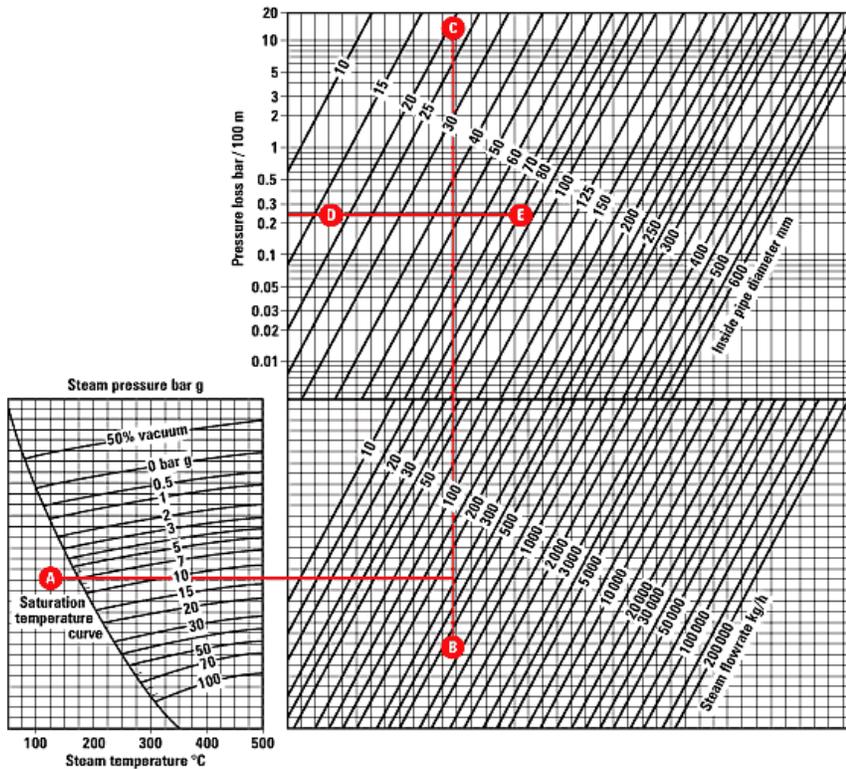


Figura 5.3 para determinación de pérdidas en la línea de vapor.

5.1.2.4 Dilatación lineal de la tubería de vapor¹⁷.

¹⁸La experiencia muestra que los sólidos se dilatan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. La dilatación y la contracción ocurren en tres (3) dimensiones: largo, ancho y alto.

A la variación en las dimensiones de un sólido causada por calentamiento (se dilata) o enfriamiento (se contrae) se denomina Dilatación térmica.

La dilatación de los sólidos con el aumento de la temperatura ocurre porque aumenta la energía térmica y esto hace que aumente las vibraciones de los átomos y moléculas que forman el cuerpo, haciendo que pase a posiciones de equilibrio más alejadas que las originales. Este alejamiento mayor de los átomos y de las moléculas del sólido produce su dilatación en todas las direcciones.

Dilatación Lineal

Es aquella en la que predomina la variación en una (1) dimensión de un cuerpo, es decir: el largo. Ejemplo: dilatación en hilos, cabos y barras.

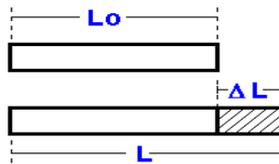


Figura 5.4: Dilatación lineal.

La expresión que determina la dilatación lineal es:

(Ec. 5.5)
$$L_f = L_0(1 + \alpha\Delta t)$$

Donde:

α =coeficiente de dilatación lineal [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

L_0 = Longitud inicial.

L_f = Longitud final.

Δt = Diferencia de temperatura.

¹⁷ http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termoestatica/ap05_dilatacion.php

¹⁸ Autor: Hugo David Giménez Ayala

Según su naturaleza cada cuerpo posee lo que se llama coeficiente de dilatación térmica, cuyo símbolo es α y su unidad de medida es $1/^\circ\text{C}$ o $^\circ\text{C}^{-1}$, algunos valores son:

Material	Coeficiente α
Aluminio	0,000024
Acero	0,000011
Hormigón	0,000007 a 0,000014
Cobre	0,000018
Vidrio	0,000001 a 0,000013
Mercurio	0,000006

Tabla 5.1¹⁹: Coeficientes de dilatación lineal para algunos materiales.

5.1.3 AISLAMIENTO PARA LÍNEAS DE VAPOR Y SU DIMENSIONAMIENTO.²⁰

5.1.3.1 Introducción al aislamiento térmico de tuberías con acompañamiento de vapor.

La problemática es la del mantenimiento de un nivel de temperatura y, por lo tanto, de viscosidad para garantizar un bombeo adecuado de derivados de petróleo crudo y en especial luego de las paradas de las instalaciones, puede ser resuelta a partir de este tipo de construcción aislante para la tubería principal, la cual consiste en suministrar un calentamiento adicional con la ayuda de una tubería acompañante de vapor dispuesta a lo largo de toda la tubería y forradas ambas con el material aislante, de manera tal que se forme una cavidad termoaislada. El sistema formado, desde el punto de vista de intercambio de calor, presenta sus particularidades y no puede ser

¹⁹ Tabla de coeficientes: <http://www.scribd.com/doc/7773622/Dilatacion-Lineal-de-solidos>

²⁰ Teoría de espesor de aislamiento extraído de: Artículo de Aislamiento por Jose P. Monteagudo Yanes, José j. Pérez Landín y Eddy Guerra Fernández. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cienfuegos (Cuba) OCTUBRE 1998

tratado adecuadamente por el método tradicional (como tubería sola), para la determinación del espesor de aislamiento.

5.1.3.2 Desarrollo

En los casos mencionados, la temperatura del producto que fluye deberá permanecer invariable, tanto durante la circulación de éste, como durante la parada. El cumplimiento de tal condición sólo es posible por la compensación de la pérdida de calor de la tubería de transporte a partir de la absorción del calor proveniente de la tubería acompañante. Esta condición o exigencia constituye la base para el cálculo del espesor del aislamiento.

La tubería de transporte, por lo general, se calienta con la ayuda de una o dos tuberías acompañantes. Si se utiliza una (caso más difundido), ésta se dispone debajo de la tubería principal. En la Figura 5.5, de forma esquemática, se representan la construcción para el caso de formación de una cavidad termoaislada con ángulo selectivo de calentamiento.

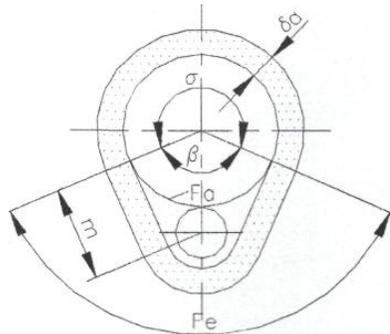


Figura 5.5: Tubería de vapor acompañante con ángulo selectivo de calentamiento.

En nuestro trabajo nos referimos a las primeras construcciones, las más difundidas, es decir con ángulo selectivo de calentamiento.

El portador de calor en el caso de las tuberías acompañantes lo constituye el vapor saturado con presión entre (0.2 y 1 MPa / 2 y 10 bar), y el diámetro de tales tuberías se elige comúnmente en el rango de 25 a 76 mm

La tubería que se calienta se deberá aislar conjuntamente con la tubería acompañante para formar una cavidad termoaislada. Esta cavidad termoaislada

se monta a partir de materiales flexibles y su estructura básica más recomendada se muestra en la Figura 5.5. Algunos textos recomiendan, para aumentar la eficacia de la obra, colocar en un primer trabajo, una envoltura de papel folio de aluminio. Sin embargo, en el caso de limitados recursos, esto no sería lo adecuado.

5.1.3.3 Metodología de cálculo.

Para la deducción de la metodología de cálculo, se parte de un balance de calor, el cual considera que el calor proveniente de la tubería acompañante de vapor se gasta en el calentamiento de la tubería principal y en las pérdidas de calor al medio exterior. Como esquema de análisis, se hace referencia a la Figura 5.5.

La pérdida de calor hacia el medio exterior por unidad de longitud de la tubería principal, q_L^{TP} será igual a:

$$(Ec. 5.6) \quad q_L^{TP} = \frac{\theta}{360} * \frac{t_p - t_o}{R_L} = \frac{\theta}{360} * \frac{t_p - t_o}{R_{L1} + R_{L2} + R_{L3}}; (W / m)$$

Donde:

θ : Ángulo formado por la parte de la tubería sobre la cual se dispone el aislamiento (en grados).

t_p : Temperatura a la cual debe mantenerse el producto en la tubería principal (°C).

t_o : Temperatura de cálculo para el aire ambiente (°C).

R_L : Resistencia térmica lineal total (m°C/W).

R_{L1} : Resistencia térmica lineal desde el producto hasta la pared de la tubería (m°C/W).

R_{L2} : Resistencia térmica lineal de la capa de aislamiento (m°C/W).

R_{L3} : Resistencia térmica lineal de la capa de aislamiento desde la superficie exterior del aislamiento al aire ambiente (m°C/W).

La cantidad de calor por unidad de longitud que recibe la tubería desde el aire en el interior de la cavidad puede determinarse como:

$$(Ec. 5.7) \quad q_L^A = \frac{\beta}{360} * \alpha_A * \pi * d_2 * (t_1 - t_p); (W / m)$$

Donde:

β : Ángulo formado por la parte de la tubería que se calienta por el aire en el interior de la cavidad (en grados °C).

α_A : Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el aire en el interior de la cavidad a la tubería calentada (W/m²°C).

d_2 : Diámetro exterior de la tubería principal (m).

t_1 : Temperatura del aire en el interior de la cavidad termoaislada (°C).

Puesto que q_L tiene la propiedad de ser constante y del propio análisis del problema, podemos plantear que:

$$q_L^{TP} = q_L^A$$

(Ec. 5.8)

$$\frac{\theta}{360} * \frac{t_p - t_o}{R_L} = \frac{\beta}{360} * \alpha_A * \pi * d_2 * (t_1 - t_p)$$

De donde:

(Ec. 5.9)

$$R_L = \frac{\theta}{\beta} * \frac{t_p - t_o}{\alpha_A * \pi * d_2 * (t_1 - t_p)}$$

Recordando que: $R_L = R_{L1} + R_{L2} + R_{L3}$

Y sustituyendo a las resistencias individuales según su definición tenemos:

(Ec. 5.10)

$$R_L = \frac{l}{\pi * d_1 * \alpha_1} + \frac{l}{2 * \lambda_a * \pi} * \ln \frac{d_a}{d_2} + \frac{l}{\pi * d_a * \alpha_2}$$

Donde:

d_1 : Diámetro interior de la tubería principal (m).

d_2 : Diámetro exterior de la tubería principal (m).

d_a : Diámetro exterior de la capa de aislamiento (m).

α_1 : Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el fluido hasta la superficie interior de la tubería principal (W/m²°C).

α_2 : Coeficiente de transmisión superficial del calor desde la superficie del aislamiento hacia el medio exterior (W/m²°C).

λ_a : Coeficiente de conductividad térmica del material aislante térmico (W/m°C).

Sustituyendo a (Ec. 5.10) en (Ec. 5.9), introduciendo un coeficiente para considerar las pérdidas por apoyo igual a 1.25 (Ec.5.8) y despejando, obtenemos:

$$\ln \frac{d_a}{d_2} = 2 * \lambda_a * \pi \left[\frac{\theta}{\beta} * \frac{1.25 * (t_p - t_o)}{\alpha_A * \pi * d_2 * (t_1 - t_p)} - \frac{l}{\pi * d_1 * \alpha_1} + \frac{l}{\pi * d_a * \alpha_2} \right]$$

Y como normalmente la resistencia interior:

se desprecia se obtiene:

$$\ln \frac{d_a}{d_2} = 2 * \lambda_a * \pi \left[\frac{\theta}{\beta} * \frac{1.25 * (t_p - t_o)}{\alpha_A * \pi * d_2 * (t_1 - t_p)} + \frac{l}{\pi * d_a * \alpha_2} \right]$$

(Ec. 5.11)

En cuanto a la determinación de:

$$R_{L3} = \frac{l}{\pi * d_a * \alpha_2};$$

Es necesario precisar que aquí aparece de nuevo la magnitud d_a , que es la incógnita buscada en este cálculo. En los cálculos prácticos se considera que la magnitud R_{L3} es pequeña en comparación con R_L , por lo que se puede calcular de forma aproximada a través del cálculo de:

$$d_a = d_2 + 2 * \delta_a$$

a partir de un valor dado para el espesor δ_a

Por último y luego de la determinación de la relación d_a/d_2 de la expresión (Ec. 5.10) se puede calcular el espesor del aislamiento como:

$$\delta_a = \frac{d_2}{2} * \left(\frac{d_a}{d_2} - 1 \right)$$

(Ec. 5.12)

Aquí debe considerarse que para los materiales en forma de guata como lana de vidrio y otros similares, tiene lugar durante su colocación, cierta compactación, por lo que se recomienda calcular a partir del espesor calculado, el espesor que deberá tener el material antes de su colocación, de la forma siguiente:

$$\delta_o = \delta_a * k_c * \frac{d_2 + \delta_a}{d_2 + 2 * \delta_a}$$

(Ec. 5.13)

Para los materiales más comunes, el coeficiente de compactación Kc tiene los siguientes valores:

Lana de vidrio: 1,6

Lana mineral: 1,3

Para la solución de este problema, falta por determinar la temperatura del aire en el interior de la cavidad (t_1), lo cual se determina de la ecuación de balance de acuerdo con la cual todo el calor desprendido por la tubería acompañante, se gasta en el calentamiento de la tubería principal y en la pérdida hacia el medio exterior.

La cantidad de calor desprendido por unidad de longitud de tubería acompañante es igual a:

$$(Ec. 5.14) \quad q_L^{AC} = \frac{F_{AC}}{R_{AC}} * (t_{AC} - t_1)$$

Donde:

F_{AC} : Superficie de la tubería acompañante por unidad de longitud (m^2/m).

R_{AC} : Resistencia térmica desde la tubería acompañante al aire en el interior de la cavidad termoaislada ($m^2\text{°C/W}$).

t_{AC} : Temperatura del vapor acompañante (°C).

La cantidad de calor por unidad de longitud que se absorbe por la tubería principal es igual a:

$$(Ec. 5.15) \quad q_L^A = \frac{F_A}{R_A} * (t_1 - t_p)$$

Donde:

F_A : Superficie de cálculo de la tubería principal por unidad de longitud (m^2/m).

R_A : Resistencia térmica desde el aire en el interior de la cavidad termoaislada a la tubería calentada ($m^2\text{°C/W}$).

La cantidad de calor por unidad de longitud que se pierde al medio exterior es:

$$(Ec. 5.16) \quad q_L^E = 1.25 \frac{F_E}{R_E} * (t_1 - t_o)$$

Donde:

F_E : Área de la parte restante de la superficie de la insulación por unidad de longitud (m^2/m).

R_E : Resistencia térmica total desde el aire en el interior de la cavidad termoaislada, a través de la insulación y hacia el aire exterior ($m^2\text{°C/W}$).

1,25: Coeficiente que considera la influencia de los soportes y otras pérdidas.

Puesto que:

$$q_L^{AC} = q_L^A + q_L^E$$

Tenemos:

$$\frac{F_{AC}}{R_{AC}} * (t_{AC} - t_1) = \frac{F_A}{R_A} * (t_1 - t_p) + 1.25 * \frac{F_E}{R_E} * (t_1 - t_o)$$

O lo que es igual:

$$(Ec. 5.17) \quad t_1 = \frac{\frac{F_{AC}}{R_{AC}} * t_{AC} + \frac{F_A}{R_A} * t_p + 1.25 \frac{F_E}{R_E} * t_o}{\frac{F_{AC}}{R_{AC}} + \frac{F_A}{R_A} + 1.25 * \frac{F_E}{R_E}}$$

Como se verá más adelante, algunas magnitudes de las expuestas en este cálculo deben considerar la cantidad de tuberías acompañantes utilizadas y su disposición con respecto a la tubería principal (Ver tablas de abajo). Lo general para todos los casos es la determinación de las resistencias R_{AC} , R_A , R_E ²¹ ($m^2°C/W$), la cual es como sigue:

$$R_{AC} = \frac{l}{\alpha_{AC}}; R_A = \frac{l}{\alpha_A}$$

Siendo α_{AC} el coeficiente de transmisión superficial del calor desde la tubería acompañante al aire en el interior de la cavidad termoaislada, en el cual se toma de la Tabla 5.2 y el denotado anteriormente coeficiente α_A se toma de la Tabla 5.3. Estos valores pueden ser calculados para la convección por expresiones convencionales; sin embargo el uso de las referidas Tablas representa la ventaja de que en éstas se escoge el valor del coeficiente a partir de la temperatura del vapor calefactor, obviando las dificultades que aparecen al ser la temperatura de la superficie exterior una incógnita en los cálculos de espesor de aislamiento a precisar con un cálculo iterativo.

Temperatura del vapor t_{AC} °C	Diámetro de la tubería acompañante (mm)			
	25	32	48	57
138	20	19	18.5	18
151	21	20.5	19.5	19
164	22	21.5	20.5	20

Tabla 5.2: Coeficiente de transmisión superficial del calor desde la tubería acompañante al aire en el interior de la cavidad, α_{AC} ($W/m^2°C$)

t_{AC} (°C)	138	151	164
Coeficiente α_A	13.5	14	14.5

Tabla 5.3: Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el aire en el interior de la cavidad a la tubería, α_A ($W/m^2°C$)

²¹ Teoría del espesor de aislamiento extraído de: Artículo de Aislamiento Jose P. Monteagudo Yanes, José j. Pérez Landín y Eddy Guerra Fernández. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cienfuegos (Cuba) OCTUBRE 1998

En el caso de la resistencia R_E , ésta se determina como si se tratase de una pared plana en la cual el valor de δ_A se asume de forma aproximada y se desprecia además la resistencia de la capa protectora del aislamiento:

(Ec. 5.18)

$$R_E = \frac{l}{\alpha_1} + \frac{\delta_A}{\lambda_A} + \frac{l}{\alpha_2}$$

Donde:

α_1 : Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el aire en el interior de la cavidad termoaislada a la superficie interior de la misma ($W/m^2\text{°C}$), se recomienda tomar igual a $12W/m^2\text{°C}$.

α_2 : Coeficiente denotado anteriormente, el cual se toma de la Tabla 5.4.

Objeto que se aísla	En local cerrado		En espacios abiertos Con velocidad del viento (m/s)		
	Recubrimiento con bajo coeficiente de radiación	Recubrimiento con alto coeficiente de radiación	5	10	15
Tubería horizontal	6	10	20	25	35
Tuberías verticales equipamiento, superficies planas	7	11	25	35	50

Los recubrimientos con bajo coeficiente de radiación se presentan en el caso de los recubrimientos protectores de láminas de zinc o aluminio y los que tienen alto coeficiente de radiación son los estuques de asbesto-cemento. En el caso de no tener información acerca de la velocidad del viento, tomar el valor α_2 correspondiente a 10 m/s.

Tabla 5.4: *Valores del coeficiente de transmisión superficial del calor desde la superficie exterior del aislamiento hacia el aire exterior, α_2 ($W/m^2\text{°C}$)*

El coeficiente λ_a , es función del material utilizado y en el cálculo se toma su valor medio debido a que hay zonas a diferentes temperaturas para los casos de la tubería principal y la acompañante.

En algunos casos se hace necesario, además, calcular el flujo de vapor G_v (kg/h) necesario para el calentamiento de la tubería para una longitud de esta igual a L ,

o la máxima longitud, a la cual tiene lugar la condensación total del vapor para un flujo dado, es decir:

$$(Ec. 5.19) \quad G_V = \frac{1.25 * \alpha_{AC} * (t_{AC} - t_1) * F_{AC} * L * 3.6}{0.9 * r} = \frac{\alpha_{AC} * (t_{AC} - t_1) * F_{AC} * L}{0.2 * r}$$

$$(Ec. 5.20) \quad L = \frac{0.2 * r * G_V}{\alpha_{AC} * (t_{AC} - t_1) * F_{AC}}$$

r : Calor de cambio de fase (kJ/ kg).

Los valores de los ángulos θ , β , φ , T y las magnitudes m , F_{AC} , F_A y F_E se determinan con la ayuda de las expresiones expuestas en las Tablas 5.5 y 5.6.

Cantidad de Tuberías acompañantes	Disposición de las tuberías acompañantes	B	θ	T	φ
1	La tuberías acompañante se dispone de acuerdo a la figura 5.5	$\cos \beta = \frac{d_2 - d_{AC} - 0.02}{d_2 + d_{AC}}$	$\theta = 360 - \beta$	—	—

Tabla 5.5: Fórmulas para la determinación de los ángulos $\beta, \theta, T, \varphi$ (ver Fig. 5.5.)

Cantidad de tuberías acompañantes	Disposición de las tuberías acompañantes	m (m ² /m)	F _{AC} (m ² /m)	F _A (m ² /m)	F _E (m ² /m)
1	De acuerdo a la figura 5.5	$\sqrt{(d_2 + 0.01) * (d_{AC} + 0.01)}$	$\pi * d_{AC}$	$\frac{\beta}{360} * \pi * d_2$	$\frac{\beta}{360} * \pi * (d_{AC} + 2 * \delta_A + 0.02) + 2 * m$

Tabla 5.6: Fórmulas para la determinación de la magnitud auxiliar m y las áreas

F_{AC} , F_A , F_E (ver Fig. 5.5)

5.1.4 TRAMPAS DE VAPOR Y CRITERIOS PARA SU SELECCIÓN.

5.1.4.1 Introducción a las trampas de vapor²²

Definición: Una trampa de vapor es un dispositivo que permite eliminar: condensados, aire y otros gases no condensables, a demás de prevenir pérdidas de vapor.

Eliminación de condensados: El condensado debe pasar siempre rápido y a través de la trampa de vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.

Eliminación del aire y otros gases no condensables: El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O₂ y el CO₂ causa corrosión.

Prevención de pérdidas de vapor: No deben permitir el paso sino hasta que éste ceda la mayor parte de la energía que contiene, también las pérdidas de vapor condensado, aire y gases incondensables.

5.1.4.2 Clasificación de las trampas de vapor.²³

Existen varios tipos de trampas para vapor, no todas ellas son capaces de cumplir correctamente las funciones antes mencionadas. Dichas trampas se pueden clasificar en tres principales categorías:

1. Mecánicas.
2. Termostáticas.
3. Termodinámicas.

Y estas a su vez se dividen en las subcategorías mostradas en la Tabla 5.7:

²² http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html

²³ http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html

Mecánicas	Flotador – Termostáticas. Balde invertido.	Flotador con Nivel. Balde Libre.
Termostáticas	Expansión.	Capsula con líquido. Fuelle tipo Diafragma. Bimetálicas.
Termodinámicas	Disco.	Aislamiento con Vapor.

Tabla 5.7 Subdivisión de tipos de trampas de vapor

Trampas Mecánicas.

Las trampas mecánicas trabajan con el principio de diferencia entre la densidad del vapor y la del condensado. Por ejemplo, un flotador que haciende a medida que el nivel del condensado se incrementa, abriendo una válvula, pero que en presencia del vapor la mantiene cerrada.

Las trampas mecánicas no pueden permitir el venteo de aire o de gases no condensables, sin embargo puede incorporarse un elemento térmico en algunas versiones. Estos elementos son versiones miniaturas de las trampas termostáticas.

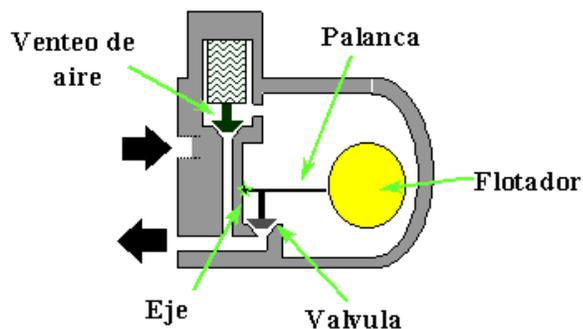


Figura 5.6 Trampa mecánica convencional

Trampas Termostáticas.²⁴

Las trampas termostáticas operan por la percepción de la temperatura del condensado. Cuando la temperatura cae a un específico valor por debajo de la temperatura del vapor, la trampa termostática abrirá para liberar el condensado.

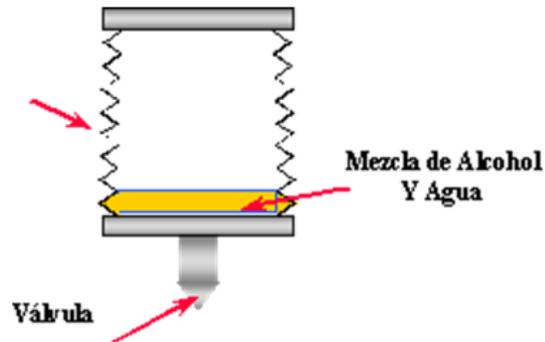


Figura 5.7 Trampas termostáticas convencionales tipo fuelle

Trampas Termodinámicas.

Finalmente, la tercera categoría es la trampa termodinámica, la cual opera con la diferencia entre el flujo del vapor sobre una superficie, comparada con el flujo del condensado sobre la misma superficie.

El vapor o el gas fluyendo sobre la superficie crea un área de baja presión. Este fenómeno es empleado para mover la válvula hacia el asiento y así cerrar su paso

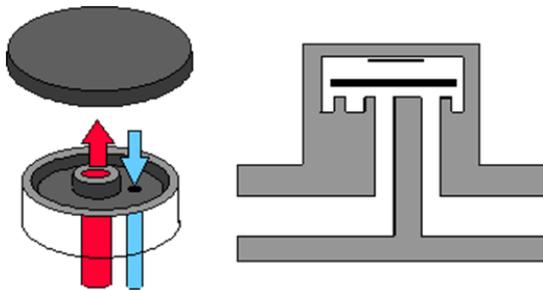


Figura 5.8 Trampa Termodinámica de Disco convencional

²⁴ http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html

5.1.4.3 Criterio de selección de trampas de vapor²⁵²⁶

La mayoría de las trampas para vapor funcionarán siempre que las condiciones de trabajo estén dentro de los rangos de presión y capacidad que posee la trampa, pero en un sistema de drenaje correcto, la idea es que la trampa además maximice la eficiencia y capacidad del equipo de proceso. Una trampa mal escogida puede resultar en baja eficiencia. Para decidir qué tipo de trampa utilizar, además de los parámetros de capacidad y presiones, que pueden revisarse con más calma en las características de cada producto, se debe considerar los siguientes puntos:

- Caudal de condensado (kg/Hr)
- Presión nominal de vapor
- Diferencial de presión (P2 - P1)
- Uso liviano / pesado.
- Tipo de conexión (Roscada, soldada, bridada)
- Material.

Con estos parámetros podemos escoger nuestras trampas en el catálogo de trampas para vapor Armstrong.

En <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/108spanish.pdf>

Otros parámetros de selección son:

Anegamiento por condensado

Muchos equipos no aceptan anegamiento dentro de ellos, por lo que se debe elegir una trampa que no produzca inundación tras ella. Las trampas llamadas de régimen continuo, como las de Flotador, cumplen con esta característica a cabalidad, siendo la primera elección para equipos como autoclaves.

Golpes de ariete

Si no es posible evitar la existencia de los golpes de ariete en la línea, que pueden fácilmente destruir o inhabilitar equipos de la línea, se recomienda trabajar

²⁵ http://www.angelfire.com/sk3/todoarchivos0/archivos/Circuitos_de_Vapor_eficientes.pdf

²⁶ <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/108spanish.pdf>

con trampas robustas en cuanto a construcción. En este sentido la trampa termodinámica es la más recomendada, seguida de la de Balde invertido. La de flotador es susceptible a cualquier golpe de ariete debido al mecanismo interno que lo sustenta, similar que la termostática por su cápsula.

Vibraciones

Similar al golpe de ariete, las vibraciones en la línea deben ser evitadas, si bien se presenta sólo en algunos procesos específicos, como martillos neumáticos, bombas e instalaciones navales. Si se posee un sistema con vibraciones, la trampa más recomendada será la termodinámica, ya que sólo posee una parte móvil (la placa).

Condensado corrosivo

La única solución ante la corrosión es evitarla en lo posible. Para ello se debe contar con un buen sistema de venteo que impida la acumulación de aire en la línea. Del mismo modo se debe evitar que la presión al interior caiga a vacío, lo que favorece la acción corrosiva de los gases, por ello se debe instalar rompedores de vacío donde se considere adecuado

Heladas

Si la línea de retorno está a la intemperie, es muy probable que sufra de heladas nocturnas al momento de apagar la caldera, lo que afecta directamente a las trampas, que sin un buen aislamiento, congelan el condensado remanente interno, estropeando el funcionamiento de la misma. Una solución es la utilización de trampas termodinámicas que no se ven afectadas por las heladas

Sobrecalentamiento

En relación con el efecto del vapor sobrecalentado se debe considerar que esta temperatura puede ser muy alta y que no se relaciona con la presión. Las trampas usadas en estos casos, se construyen con materiales que resisten tanto la presión como la temperatura, siendo las más normalmente utilizadas las termodinámicas.

Bloqueo por aire

Se debe considerar la evacuación del aire que se acumula en las líneas, y la facilidad de poder sacarlo. Las trampas termodinámicas y termostáticas, tiene la

posibilidad de eliminar el aire antes de iniciar su normal operación. Sin embargo las trampas de flotador y balde invertido no poseen esa capacidad, debiendo utilizar sistemas de venteo en paralelo o venteadores termostáticos incorporados. Sin ellos estas trampas sufren lo que se conoce bloqueo por aire, en las que no pueden funcionar normalmente.

Bloqueo por vapor

El bloqueo de las trampas por vapor es una causa frecuente de la operación ineficaz de un equipo y de mala instalación de los accesorios.

Esto ocurre por lo general, cuando las trampas son colocadas a gran distancia de los equipos a drenar, permitiendo que el vapor se acumule entre el equipo y la trampa cuando esta cierra. Por ello las trampas deben ser instaladas lo más cerca posible de la unidad (de 1 a 1,5 metros en las termostáticas y termodinámicas y lo más cerca posible para las mecánicas)

5.2 CALENTADORES DE SERPENTÍN.

5.2.1 INTRODUCCIÓN A LA CONVECCIÓN²⁷.

La **convección** es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La *convección* se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Éstos, al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, disminuyen su densidad y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo que se llama *convección* en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido

²⁷ Teoría de la convección extraído de: Fundamentos de Transferencia de Calor 4 ed, por Frank P. Incropera y David P DeWitt / School of Mechanical Engineering of Purdue University/ Editado en Monterrey México 1999.

o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica o asistida).

En la transferencia de calor libre o natural en la cual un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

$$(Ec. 5.21) \quad \frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_f)$$

Donde

h es el coeficiente de convección (ó *coeficiente de película*),

A_s es el área del cuerpo en contacto con el fluido,

T_s es la temperatura en la superficie del cuerpo

T_f es la temperatura del fluido lejos del cuerpo.

5.2.1.1 Tipos de Convección

En el estudio de la convección se suele diferenciar entre convección forzada y *convección libre*. La convección libre consiste en la transferencia de calor cuando el fluido suficientemente lejos del sólido está parado y la convección forzada se produce cuando el fluido se mueve lejos del sólido. Por ejemplo, el radiador de un coche tiene un ventilador que mueve el aire y favorece el enfriamiento del agua que contiene (convección forzada); en cambio, una estufa, un brasero o un radiador de calefacción calienta el aire que le rodea pero el aire "no se mueve" (convección libre). El problema de la convección tanto libre como forzada está muy relacionado con la mecánica de fluidos, el coeficiente de película depende directamente del gradiente de temperaturas normal al sólido en las proximidades del sólido, y este a su vez del gradiente de velocidades. La convección siempre implica un movimiento del fluido, pero en convección libre éste se produce solo en las proximidades del sólido y en convección forzada en todo el fluido. En fluidos compresibles, es decir, cualquier gas la convección puede producir eso en una habitación el aire caliente siempre está cerca del techo.

5.2.1.2 Convección libre o natural

Considere situaciones en las que no hay velocidad forzada y en las que, no obstante, aún hay corrientes de convección dentro del fluido. Tales situaciones se denominan de convección libre o natural, y se originan cuando una fuerza de cuerpo actúa sobre un fluido en el que hay gradientes de densidad. El efecto neto es una fuerza de empuje, que induce corrientes de convección libre. En el caso más común, el gradiente de densidad se debe a un gradiente de temperatura, y la fuerza de cuerpo se debe al campo gravitacional.

Hay, por supuesto, muchas aplicaciones. La convección libre influye marcada en la transferencia de calor de tubos y líneas de transmisión, así como de varios dispositivos electrónicos. La convección libre es importante también para transferir calor de calentadores de zócalo eléctrico o de radiadores de vapor para aire ambiental y para disipar calor del serpentín de una unidad de refrigeración al aire de los alrededores. Es asimismo relevante para las ciencias ambientales, donde es responsable de los movimientos oceánicos y atmosféricos, así como de los procesos relativos de transferencia de calor.

5.2.1.3 Consideraciones físicas

En la convección libre, el movimiento del fluido se debe a las fuerzas de empuje dentro de éste. El *empuje se debe a la presencia combinada de un gradiente de densidad del fluido y de una fuerza de cuerpo que es proporcional a la densidad*. En la práctica, la fuerza de cuerpo normalmente es *gravitacional*, aunque puede ser una fuerza centrífuga en una maquinaria de fluido giratoria o una fuerza de Coriolis²⁸ en movimientos atmosféricos y oceánicos rotacionales. Hay también varias formas en las que un gradiente de densidad de masa puede surgir en un fluido, pero en la situación más común se debe a la presencia de un gradiente de temperatura. Sabemos que la densidad de gases y líquidos depende de la temperatura, que por lo general disminuye (debido a la expansión del fluido) al aumentar la temperatura ($dp/dT < 0$).

²⁸ Fuerza de Coriolis: "fuerza" perpendicular al movimiento de un sistema rotatorio, pero que no ejerce trabajo.

En este trabajo nos concentraremos en la convección libre, en los que el gradiente de densidad se debe a un gradiente de temperatura y en los que la fuerza de

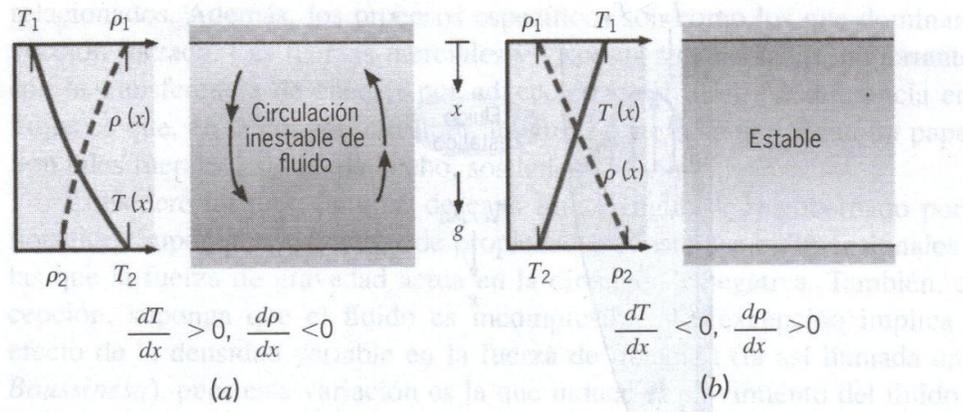


Figura 5.9 Circulación estable e inestable

cuerpo es gravitacional. Sin embargo, la presencia de un gradiente de densidad de fluido en un campo gravitacional no asegura la existencia de corrientes de convección libre. Considere las condiciones de la Figura 5.9. Un fluido está encerrado por dos placas horizontales largas a diferentes temperaturas (T_1 diferente a T_2). En el caso (a), la temperatura de la placa inferior excede la de la placa superior y la densidad disminuye en la dirección de la fuerza gravitacional. Si la diferencia de temperaturas excede un valor crítico, las condiciones son inestables y las fuerzas de empuje son capaces de vencer la influencia de retardo de las fuerzas viscosas. La fuerza gravitacional sobre el fluido más denso de las capas superiores excede a la que actúa sobre el fluido más ligero en las capas inferiores, y existirá el patrón de circulación designado. El fluido más pesado descenderá, calentándose en el proceso, mientras que el fluido más ligero se elevará, enfriándose conforme se mueve. Sin embargo, esta condición no caracteriza al caso (b), para el cual $T_1 > T_2$ y la densidad ya no disminuye en la dirección de la fuerza gravitacional. Las condiciones son ahora estables y no hay movimiento global del fluido. En el caso (a), la transferencia de calor ocurre de la superficie inferior a la superior por convección libre; para el caso (b), la transferencia de calor (de la superior a la inferior) ocurre por conducción. Los flujos por convección libre se pueden clasificar de acuerdo a si el flujo está limitado por una superficie.

La velocidad de transferencia de calor a través de un fluido es mucho mayor por convección que por conducción. Cuanto mayor es la velocidad del fluido mayor es la velocidad de transferencia de calor.

La transferencia de calor por convección depende de las propiedades del fluido, de la superficie en contacto con el fluido y del tipo de flujo. Entre las propiedades del fluido se encuentran: la viscosidad dinámica μ , la conductividad térmica k , la densidad ρ . También se podría considerar que depende de la viscosidad cinemática n , puesto que $n = \mu / \rho$. Entre las propiedades de la superficie que intervienen en la convección están la geometría y la aspereza. El tipo de flujo, laminar o turbulento, también influye en la velocidad de transferencia de calor por convección.

5.2.1.4 Números adimensionales

En el análisis de la convección es práctica común quitar las dimensiones a las expresiones físico-matemáticas que modelan el mecanismo y agrupar las variables, dando lugar a los **números adimensionales**. En convección se emplean los siguientes números adimensionales:

Número de NUSSELT (Nu).- Representa la relación que existe entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción.

- Se considera una capa de fluido de espesor L con sus superficies a diferentes temperaturas T_1 y T_2 , $T_1 > T_2$. $\Delta T = T_1 - T_2$. como se muestra en la Figura 5.10:

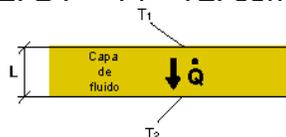


Figura 5.10 Explicativo

El flujo de calor debido a la convección será: $q = h \Delta T$, mientras que el flujo de calor si sólo existiera conducción sería $q = k (\Delta T / L)$. Dividiendo ambas expresiones:

$$(Ec. 5.22) \quad \frac{q_{conv}}{q_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k \frac{\Delta T}{L}} = \frac{hL}{k} = Nu$$

Para un tubo circular: donde D es el diámetro interior del tubo.

$$(Ec. 5.23) \quad Nu = \frac{hD}{k}$$

- Cuanto mayor es el número de Nusselt más eficaz es la convección.
- El número de Nusselt se emplea tanto en convección forzada como natural.

Numero de PRANDTL (Pr) .- Representa la relación que existe entre la difusividad molecular de la cantidad de movimiento y la difusividad molecular del calor o entre el espesor de la capa límite de velocidad y la capa límite térmica:

$$(Ec. 5.24) \quad Pr = \frac{\text{Difusidad _molecular _de _la _cantidad _de _movimiento}}{\text{Difusidad _molecular _del _calor}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k}$$

El número de Prandtl va desde menos de 0.01 para los metales líquidos hasta más de 100.000 para los aceites pesados. El Pr es del orden de 10 para el agua. Los valores del número de Prandtl para los gases son de alrededor de 1, lo que indica que tanto la cantidad de movimiento como de calor se difunden por el fluido a una velocidad similar. El calor se difunde con mucha rapidez en los metales líquidos ($Pr \ll 1$) y con mucha lentitud en los aceites ($Pr \gg 1$) en relación con la cantidad de movimiento. Esto indica que la capa límite térmica es mucho más gruesa para los metales líquidos y mucho más delgada para los aceites, en relación con la capa límite de velocidad. Cuanto más gruesa sea la capa límite térmica con mayor rapidez se difundirá el calor en el fluido.

El número de Prandtl se emplea tanto en convección forzada como natural.

Número de REYNOLDS (Re) .- Representa la relación que existe entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de volumen de un fluido. Es un indicativo del tipo de flujo del fluido, laminar o turbulento. Es usado en convección forzada únicamente.

$$(Ec. 5.25) \quad Re = \frac{\text{Fuerzas _de _inercia}}{\text{Fuerzas _viscosas}} = \frac{U_f L_c}{\nu} = \frac{\rho U_f L_c}{\mu}$$

Número de GRASHOF (Gr) .- Representa la relación que existe entre las fuerzas de empuje y las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido. Es un **indicativo del régimen de flujo en convección natural, equivalente al número de Reynolds en convección forzada.**

(Ec. 5.26)

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_f)Lc^3}{\nu^2}$$

- Donde g es la aceleración de la gravedad.
- β es el coeficiente de expansión volumétrica de una sustancia; representa la variación de la densidad de esa sustancia con la temperatura a presión constante. Para un gas ideal $\beta = 1 / T$; T es la temperatura absoluta en K.
- Lc es la longitud característica. Para una placa vertical del longitud L, $Lc = L$. *Para un cilindro de diámetro D, $Lc = D$.*
- ν es la viscosidad cinemática.

El número de Grashof sólo se utiliza en convección natural.

Número de RAYLEIGH (Ra) .- Es función del número de Grashof y del número de Prandtl. Su valor es el número de Grashof multiplicado por el número de Prandtl.

$$Ra = Gr * Pr$$

(Ec. 5.27)

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_f)Lc^3}{\nu\alpha}$$

- Donde g es la aceleración de la gravedad.
- β es el coeficiente de expansión volumétrica de una sustancia; representa la variación de la densidad de esa sustancia con la temperatura a presión constante. Para un gas ideal $\beta = 1 / T$; T es la temperatura absoluta en K.
- Lc es la longitud característica. Para una placa vertical del longitud L, $Lc = L$. *Para un cilindro de diámetro D, $Lc = D$.*
- ν es la viscosidad cinemática.

El número de Rayleigh sólo se utiliza en convección natural.

5.2.2 Método de diseño por convección libre para calentadores.

- El **problema básico** en convección consiste en **conocer el valor del coeficiente de película h**. Una vez conocido este coeficiente es inmediato calcular la potencia térmica puesta en juego mediante la Ley de Enfriamiento de Newton:

$$(Ec. 5.28) \quad \frac{dQ}{dt} = q = hA_s(T_s - T_f)$$

El **análisis de la convección** está basado en **datos experimentales** que se presentan mediante las llamadas **correlaciones**. Existen casos que permiten abordarlos analíticamente, pero son los menos y no son prácticos desde el punto de vista ingenieril.

En esta sección resumimos las correlaciones empíricas desarrolladas para geometrías comunes inmersas (flujo externo). Las correlaciones son adecuadas para la mayoría de los cálculos de ingeniería y por lo general son de la forma:

$$(Ec. 5.29) \quad \bar{N}_{UL} = \frac{\bar{h}L}{k} = CRa_L^n$$

Correlación empírica para un Cilindro largo horizontal.

Esta importante geometría se ha estudiado de manera extensa muchas de las correlaciones existentes. Para un cilindro isotérmico, Morgan sugiere una expresión de la forma:

$$(Ec. 5.30) \quad \bar{N}_{UD} = \frac{\bar{h}D}{k} = CRa_D^n$$

R_{aD}	C	n
10^{-10} - 10^{-2}	0.675	0.058
10^{-10} - 10^{-2}	1.02	0.148
10^2 - 10^4	0.850	0.188
10^4 - 10^7	0.480	0.250
10^7 - 10^{12}	0.125	0.333

Tabla 5.8 Constantes de la ecuación (5.30) \bar{N}_{UD} Para convección libre sobre un cilindro circular horizontal

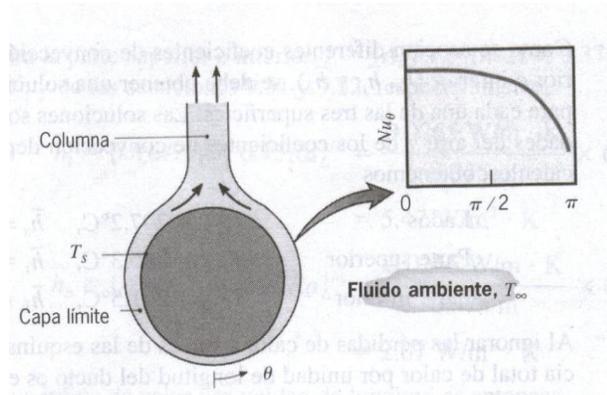


Figura 5.11 Distribución de Numero de Nusselt sobre un cilindro horizontal

donde C y n están dadas en la tabla (nombre) y Ra_D y Nu_D se basan en el diámetro del cilindro. Por el contrario, (“Churchill y Chu” otros autores) recomiendan una correlación simple para un margen amplio del número de Rayleigh:

$$\overline{N}_{UD} = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{--- } Ra_D \leq 10^{12} \quad (\text{Ec. 5.31})$$

Las correlaciones anteriores proporcionan el número de Nusselt promedio toda la circunferencia de un cilindro isotérmico. Como se muestra en la figura 5.11, para un cilindro caliente, los números de Nusselt locales están influidos por la producción de una capa límite, que comienza en $\theta = 0$ y concluye en $\theta < \pi$ con formación de una columna ascendente desde el cilindro. Si el flujo permanece laminar sobre toda la superficie, la distribución del número de Nusselt local con θ se caracteriza por un máximo en $\theta = 0$ y una disminución monótona al aumentar θ . Esta disminución se rompería para números de Rayleigh suficientemente grandes ($Ra_D \gg 10^9$) para permitir la transición a la turbulencia dentro de la capa límite. Si el cilindro es frío con relación al fluido ambiente, la producción de la capa límite comienza a $\theta = \pi$, el número de Nusselt local es un máximo en esta posición, y la columna desciende desde el cilindro.

- Para el cálculo del **número de Nusselt** hay que distinguir entre convección forzada y natural.

En **convección natural** el número de Nusselt es función del número de Grashof y de Prandtl o del número de Rayleigh y de Prandtl.

El **método** de cálculo de la potencia térmica puesta en juego en la convección es el siguiente:

- a) Se analizan las condiciones en la que tiene lugar la convección (geometría de la superficie, convección natural o forzada, tipo de flujo) para **seleccionar la correlación adecuada**.
- b) A partir de la correlación adecuada y los datos conocidos **se calcula el número de Nusselt**.
- c) Una vez conocido Nusselt **se calcula el coeficiente de película h**.
- d) **Se calcula la potencia térmica** mediante la Ley de enfriamiento de Newton.

5.3 SISTEMAS DE BOMBEO²⁹.

5.3.1 INTRODUCCIÓN A LA VISCOSIDAD DE LOS FLUIDOS.

Definimos la *viscosidad* como la propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. La pérdida de energía debida a la fricción en un fluido que fluye se debe a su viscosidad.

5.3.1.1 Viscosidad dinámica

El viscosidad dinámica es el coeficiente de proporcionalidad μ de la fuerza que se aplica entre dos capas de velocidades diferentes de un fluido

El *gradiente de velocidad T* es una medida del cambio de velocidad y se define como $\Delta v/\Delta y$. También se le conoce como *rapidez de corte*, al gradiente de velocidad puede establecerse matemáticamente como:

$$\text{Ec. 5.32} \quad T = \mu (\Delta v/\Delta y).$$

en la que la constante de proporcionalidad μ , se conoce como *viscosidad dinámica* del fluido.

5.3.1.2 Fluidos newtonianos y no newtonianos

El estudio de las características de deformación y de flujo se conoce como *reología* que es el campo del cual aprendemos acerca de la viscosidad de los fluidos. Una diferencia importante que se debe entender es la de los *fluidos newtonianos* y lo *fluidos no newtonianos*. Cualquier fluido que se comporte de acuerdo con la ecuación 5.32 se conoce como *newtoniano*. La viscosidad μ es función exclusivamente de la condición del fluido, en particular de su temperatura. La magnitud del gradiente de

²⁹ Teoría de bombeo extraído de: Mecánica de Fluidos Aplicada, 4 ed, de Robert L. Mott.

velocidad, A_v/A_y , no tiene efecto sobre la magnitud de μ . Los fluidos más comunes, como agua, aceite, gasolina, alcohol, queroseno, benceno y glicerina, está clasificados como fluidos newtonianos.

5.3.1.3 Variación de la viscosidad con la temperatura

Tal vez le sean familiares algunos ejemplos de la variación de la viscosidad de los fluidos con la temperatura. El aceite para motor, por lo general, es bastante difícil de vaciar cuando está frío, lo cual indica que tiene una viscosidad alta. Conforme la temperatura del aceite va aumentando, su viscosidad disminuye notablemente. Todos los fluidos exhiben este comportamiento en algún grado.

Un fluido con un alto índice de viscosidad muestra un cambio alto de viscosidad con respecto a la temperatura. Un fluido con un bajo índice de viscosidad exhibe un cambio pequeño en su viscosidad con respecto a la temperatura.

5.3.2 FLUJO DE FLUIDOS Y POTENCIA DE BOMBEO

5.3.2.1 Rapidez de flujo de fluido

Es la cantidad de flujo que fluye en un sistema por unidad de tiempo, se puede expresar mediante los términos que definimos a continuación.

Q: La rapidez de flujo de volumen es el volumen del flujo de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo.

Flujo de volumen, Q, se calcula con la ecuación.

Ec. 5.33
$$Q = Av$$

en donde A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo.

La rapidez de flujo de peso, W, esta relacionada con Q mediante la ecuación.

Rapidez de Flujo (L/min)		Rapidez de Flujo (gal/min)
10-100	Sistemas hidráulicos de aceite industrial	3-30
100-600	Sistemas hidráulicos para equipo móvil	30-150

40-4500	Bombas centrífugas en procesos químicos	10-1 200
15-125	Bombas alternativas para el manejo de fluidos y lechadas pesadas	4-33
200-4000	Bombas de control de flujo y de drenaje	50-1 000
40-15 000	Bombas centrífugas para manejo de desperdicios mineros	10-4000
1800-9500	Bombas centrífugas para combate de fuego	500-25000

Tabla 5.9 Rapidez de flujo de volumen típicas para diferentes tipos de sistemas

5.3.2.2 Ecuación de continuidad.

El método para calcular la velocidad de flujo de un fluido en un sistema de conductos cerrado, depende del principio de continuidad. Esto es, la cantidad de fluido que pasa por cualquier sección en un cierto tiempo dado es constante. En este caso decimos que se tiene un flujo constante, entonces la masa de fluido que pasa por 2 secciones de la tubería debe ser la misma, en el mismo tiempo. Lo anterior se puede expresar en términos de la rapidez de flujo de masa como:

Ec. 5.34
$$M_1 = M_2$$

o, puesto que $M = \rho Av$, tenemos:

Ec.5.35
$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

Si el fluido que se encuentra en el tubo es un líquido que puede ser considerado incompresible, entonces los términos ρ_1 , y ρ_2 de la ecuación 5.35 son iguales. La ecuación, entonces, queda:

Ec.5.36
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

o, puesto que $Q = A v$, tenemos:

Ec.5.37
$$Q_1 = Q_2$$

La ecuación 5.37 es la ecuación de continuidad aplicada a líquidos; establece que para un flujo estable, la rapidez de flujo de volumen es la misma en cualquier sección.

5.3.2.3 Velocidad de flujo recomendada en conductos y tuberías

Una velocidad de flujo razonable para sistemas de distribución de fluido es de aproximadamente 3.0 m/s (alrededor de 10 pies/s). Esto se puede aplicar a agua, aceite y otros líquidos de uso común en conductos, fuera de las salidas de las bombas. Un desempeño apropiado de una bomba requiere velocidades más bajas en su entrada, aproximadamente 1.0 m/s (alrededor de 3 pies/s). En la tabla 5.10

	Unidades SI
Entradas a bombas: (Líneas de succión)	0.6 a 2.2 m/s
Salidas de bombas:	2.4 a 7.5 m/s
(Líneas de descarga o de presión)	0.6 a 2.6 m/s

Tabla 5.10.- Velocidades de flujo recomendadas en sistemas de potencia de fluido.

5.3.2.4 Conservación de la Energía—Ecuación de Bernoulli.

Esta ecuación considera que la energía a lo largo de la tubería es la misma, y en dos secciones tenemos:

$$E_1 = E_2$$

Ec.5.38

$$\frac{p_1}{\lambda} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\lambda} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

5.3.3 PÉRDIDAS Y ADICION DE ENERGIA

5.3.3.1 Fricción de fluido

Un fluido en movimiento ofrece una resistencia de fricción al flujo. Parte de la energía del sistema se convierte en *energía térmica* (calor), el cual se disipa a través de las paredes del conducto en el que el fluido se desplaza. La magnitud de la pérdida de energía depende de las propiedades del fluido, la velocidad de flujo, el tamaño del conducto, la rugosidad de la pared del conducto y la longitud del tubo.

5.3.3.2 Nomenclatura de pérdidas y adiciones de energía

$h_A =$ *Energía añadida o agregada* al fluido mediante un dispositivo mecánico como puede ser una bomba.

$h_R =$ *Energía removida o retirada* del fluido mediante un dispositivo mecánico como podría ser un motor de fluido.

$h_L =$ *Pérdidas de energía* por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores..

La magnitud de las pérdidas de energía producidas por muchos tipos de válvulas y de conectores es directamente proporcional a la velocidad del fluido. Lo anterior se puede expresar de manera matemática como:

$$\text{Ec.5.39} \quad H_L = K(v^2/2g)$$

El término K es el *coeficiente de resistencia*, que por lo general se le encuentra experimentalmente.

5.3.3.3 Ecuación general de la energía.

La ecuación general de la energía, es una expansión de la ecuación de Bernoulli, que hace posible resolver problemas en los que se presentan pérdidas y adiciones de energía. La interpretación lógica de la ecuación de energía se puede ver en la figura 5.12,

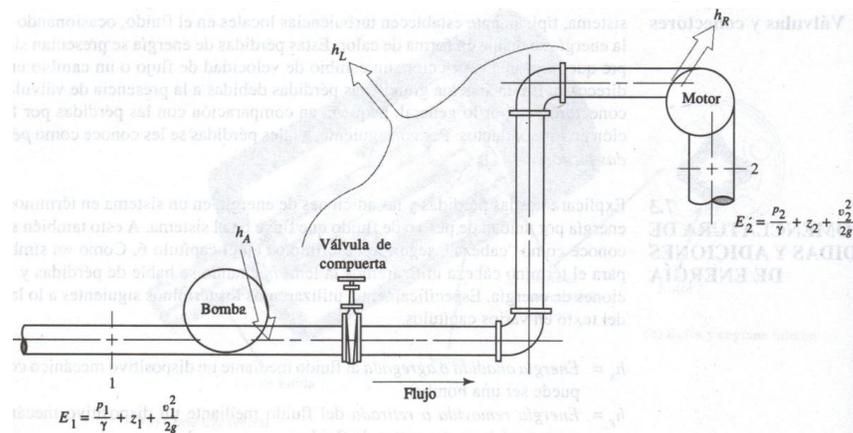


Figura 5.12 Sistema de flujo de fluido que ilustra la ecuación general de la energía.

La ecuación entonces queda:

$$\text{Ec.5.40} \quad \frac{p_1}{\lambda} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\lambda} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

5.3.3.4 Potencia requerida por bombas.

La potencia es la rapidez con que la energía está siendo transferida. La unidad de potencia en el SI es el watt (W), que es equivalente a 1.0 N • m/s.

La potencia se calcula multiplicando la energía transferida por newton de fluido por la rapidez de flujo de peso. Es decir,

$$\text{Ec.5.41} \quad P_A = h_A W$$

Pero como $W = \lambda Q$, podemos escribir también:

$$\text{Ec.5.42} \quad P_A = h_A \lambda Q$$

en la que P_A representa la potencia añadida al fluido, λ es el peso específico del fluido que fluye por la bomba y Q es la rapidez de flujo de volumen del fluido.

5.3.3.5 Flujo laminar y flujo turbulento

Cuando analizamos un fluido en una corriente de flujo, es importante ser capaces de determinar el carácter del flujo. En algunas condiciones, el fluido parecerá que fluye en capas, de una manera uniforme y regular. Se puede observar este fenómeno cuando se abre un grifo de agua lentamente, hasta que el chorro es uniforme y estable. A este tipo de flujo se le conoce *como flujo laminar*. Si se abre más el grifo, permitiendo que aumente la velocidad del flujo, se alcanzaría un punto en el que el flujo ya no es uniforme ni regular. El agua del chorro parecerá que se mueve de una manera bastante caótica. Al flujo, entonces, se le conoce *como flujo turbulento*.

5.3.3.6 Número de Reynolds

El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante de si el flujo es laminar o turbulento. Por esta razón deseamos tener medios para predecir el tipo de flujo sin tener necesidad de observarlo. Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que un flujo laminar o turbulento puede ser predicho si se conoce la magnitud de un número adimensional, conocido ahora como número de Reynolds

$$\text{Ec.5.43} \quad N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu}$$

Estas dos formas son equivalentes, puesto que $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

5.3.3.7 Pérdidas de energía debido a la fricción.

En la ecuación general de la energía:

$$\frac{p_1}{\lambda} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\lambda} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

el término h_L se define como la energía perdida por el sistema. Una componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido en movimiento. La fricción es proporcional a la cabeza de velocidad del flujo y al cociente de la longitud entre el diámetro de la corriente de flujo, para el caso de flujo en conductos y tubos. Lo anterior se expresa de manera matemática en la ecuación de Darcy:

Ec.5.44
$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

en la que:

h_L = pérdida de energía debido a la fricción (N • m/N, m, lb-pie/lb, pie)

L = longitud de la corriente de flujo (m o pie)

D = diámetro del conducto (m o pie)

v = velocidad de flujo promedio (m/s o pie/s)

f = factor de fricción (sin dimensiones)

La ecuación de Darcy se puede utilizar para calcular la pérdida de energía en secciones largas y rectas de conductos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos está en la evaluación del factor de fricción f , que carece de dimensiones.

5.3.3.8 Pérdidas por fricción en flujo laminar.

En resumen, la pérdida de energía debida a la fricción en un flujo laminar se puede calcular a partir de la ecuación de Hagen-Poiseuille:

Ec.5.45
$$h_L = \frac{32\mu Lv}{\lambda D^2}$$

o a partir de la ecuación de Darcy:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

en la que:

Ec.5.46
$$f = \frac{64}{N_R}$$

5.3.3.9 Pérdidas menores de energía debido a la fricción.

En la mayor parte de los sistemas de flujo, la pérdida de energía primaria se debe a la fricción de conducto. Los demás tipos de pérdidas generalmente son pequeñas en comparación, y por consiguiente se hace referencia a ellas como *pérdidas menores*.

Las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria de flujo o en la dirección de flujo, o cuando la trayectoria de flujo se encuentra obstruida, como sucede con una válvula.

5.3.3.10 Pérdida en la salida

Durante el flujo de un fluido de un conducto hacia un gran depósito o tanque, su velocidad disminuye hasta casi cero. En el proceso, la energía cinética que el fluido poseía en el conducto, indicada por la cabeza de velocidad $\frac{v_1^2}{2g}$, se disipa.

Por lo tanto, la pérdida de energía para esta condición es:

$$\text{Ec.5.47} \quad h_L = 1.0 \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Ésta se denomina la *pérdida de salida*. El valor de $K=1.0$ se usa sin importar la forma de salida donde el conducto se conecta con la pared del tanque.

5.3.3.11 Pérdida de entrada

Un caso especial de una contracción ocurre cuando un fluido fluye desde un depósito o tanque relativamente grande hacia un conducto. El fluido debe acelerar desde una velocidad relativamente despreciable a la velocidad de flujo del conducto. La facilidad con que se realiza la aceleración determina la cantidad de pérdida de energía y por lo tanto, el valor del coeficiente de resistencia de entrada depende de la geometría de la entrada. Las líneas de corriente ilustran el flujo de fluido hacia el conducto y muestran que la turbulencia asociada con la formación de una vena contracta en el tubo es una causa importante de pérdida de energía.

5.3.3.12 Coeficientes de resistencia para válvulas y juntas.

La pérdida de energía incurrida como flujos de fluido a través de una válvula o junta se calcula a partir de la ecuación 5.47, según su utilización para las pérdidas menores ya analizadas. Sin embargo, el método para determinar el coeficiente de resistencia K es diferente. El valor de K se reporta en la forma:

$$\text{Ec.5.48} \quad h_L = K \left(v^2 / 2g \right)$$

$$\text{Ec.5.49} \quad K = (L_e / D) f$$

El valor de (L_e / D) , llamado la proporción de longitud equivalente, se reporta en la tabla 5.11 y se considera que es una constante para un tipo dado de válvula o junta. El valor de L_e mismo se denomina la longitud equivalente y es la longitud del conducto recto del mismo diámetro nominal como la válvula que tendría la misma resistencia que ésta. El término D es el diámetro interno real del conducto.

El término f es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada la válvula o junta.

TIPO	LONGITUD EQUIVALENTE EN DIAMETROS DE CONDUCTO, L_e/D
Válvula de globo — completamente abierta	340
Válvula de ángulo — completamente abierta	150
Válvula de compuerta — completamente abierta	8
— 3/4 abierta	35
— 1/2 abierta	160
— 1/4 abierta	900
Válvula de verificación — tipo giratorio	100
Válvula de verificación — tipo de bola	150
Válvula de mariposa — completamente abierta	45
Codo estándar de 90°	30
Codo de radio de largo de 90°	20
Codo de calle de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de calle de 45°	26
Codo de devolución cerrada	50
Te estándar — con flujo a través de un tramo	20
Te estándar — con flujo a través de una rama	60

Tabla 5.11 Resistencia en válvulas y juntas expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto (L_e / D)

5.4 DISEÑO DE SOPORTES PARA LA LÍNEA DE RETORNO Y LÍNEA DE VAPOR³⁰.

La selección y el diseño de soportes para tuberías es una parte importante en el estudio ingenieril de cualquier instalación de procesos industriales. Los problemas para diseñar tuberías para altas presiones y temperaturas, tienden a ser críticos en un punto donde es imperativo qué aspectos de diseño, tales como el efecto de cargas en soportes concentradas en estructuras, cargas sobre equipos conectados debido al peso de la tubería y tolerancias de los soportes respecto a tuberías y estructuras; sean tomados en consideración en las primeras etapas de un proyecto.

Existen métodos eficientes establecidos para ejecutar los trabajos requeridos para arribar a un diseño apropiado de soportes. A continuación se discutirán varios pasos involucrados en el diseño de soportes.

Recopilación de Información Básica

El primer paso involucrado en el diseño de soportes es determinar y obtener la cantidad necesaria de información básica antes de proceder a los detalles de los soportes. El diseño no será completo si el ingeniero no tiene la oportunidad de revisar el equivalente a la siguiente información:

- a) Especificación del soporte, cuando sea disponible
- b) Un señalamiento completo de dibujos de tuberías
- c) Un señalamiento completo de estructuras
- d) Una especificación apropiada de tuberías y datos que incluyan: tamaño de la tubería, composición, espesor de pared, temperaturas y presiones de operación.
- e) Una copia de la especificación del aislante con su densidad
- f) Válvulas y accesorios especiales, indicando sus características (peso, dimensiones, etc.)

³⁰ Normas conjuntas del American Estándar Institute y la American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME B31.1, B31.3.

- g) Deflexiones de todas las conexiones de succión de equipos críticos como fondos de caldera, tambores de vapor, conexiones de tuberías, etc.

Guías generales sobre ubicación de soportes

5.4.1 ESPACIAMIENTOS DE SOPORTES

La localización de los soportes depende del tamaño de la tubería, configuración de la misma, localización de las válvulas y accesorios y de la estructura disponible para el soporte de tuberías.

En un tendido de tubería horizontal, sencillo, en campo abierto, el espaciamiento de soportes depende únicamente de la resistencia del tubo. Dentro de los límites de una unidad de proceso, por otra parte, el espaciamiento de soportes está determinado mayormente por el espaciamiento de columnas convenientemente ubicadas.

El máximo espacio sugerido entre soportes, se encuentra listado en la tabla 5.12. Este espaciado se basa sobre un esfuerzo de torsión y cortante combinado de 1500 Psi (10.34 MPa), cuando la tubería está llena de líquido y se permite una deflexión entre soportes de 1/10" (2.54 mm). Estos no se aplican cuando existen pesos concentrados tales como presencia de válvulas y otros accesorios pesados o cuando ocurran cambios de dirección en el sistema de tuberías.

En caso que se presenten cargas concentradas, los soportes deberían estar puestos tan cerca como sea posible a la carga, con la intención de mantener el esfuerzo flexionante al mínimo.

En la práctica, un soporte debería ser colocado inmediatamente después de cualquier cambio de dirección en la tubería.

Por economía de los soportes de sistemas de baja presión y temperatura y largas líneas externas de transmisión, la distancia entre soportes se puede basar sobre el esfuerzo total permisible de la tubería y la cantidad de deflexión permisible entre soportes.

A continuación una tabla del espaciamiento sugerido entre soportes.

\emptyset	Pulg	1	1 ½	2	2 ½	3	3 ½	4
Exterior	Mm	25,4	38,1	50,8	63,5	76,5	88,9	101,6
Espacio	Pies	7	9	10	11	12	13	14
	Mts.	2,134	2,743	3,048	3,353	3,658	3,962	4,267
\emptyset	Pulg.	5	6	8	10	12	14	16
Exterior	Mm	127	152,4	203,2	254	304,8	355,6	406,4
Espacio	Pies	16	17	19	22	23	25	27
	Mts.	4,877	5,182	5,791	6,706	7,01	7,62	8,23

Tabla 5.12.- Espaciado Sugerido entre Soportes

CAPITULO VI

DISEÑO

6.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE VAPOR.

6.1.1 DETERMINACIÓN DE DIÁMETRO Y ESPESOR DEL TUBO DE VAPOR.

6.1.1.1 Determinación de diámetro del tubo de vapor

En la Central Guangopolo se cuenta con la línea principal de vapor que tiene las siguientes características:

Presión de 7 bar y caudal másico de 195 Kg/h

Entonces, contamos con Vapor saturado con una presión entre 50 y 600 psig, las velocidades recomendadas de flujo dentro del tubo para estos casos está entre 6000 y 10000 ppm, según *Capítulo V (Marco Teórico)*,

Seleccionaremos una velocidad de 6000 ppm para aplicar en la Ecuación 5.1

Sustituida para determinación de Diámetro de tubo, además tenemos datos de presión y caudal.

CALCULO REALIZADO EN MATHCAD 14

MEMORIAS DE CÁLCULO EN ANEXO B, PAG 159.

RESULTADOS

Se obtuvo un diámetro de 0.97 pulgadas según el cálculo, similar a 1 pulgada, y fue corroborado el cálculo con la aplicación de la *Figura 5.2*.

6.1.1.2 Determinación de espesor del tubo de vapor

Los criterios de selección de espesor de tubería son los siguientes.

- La presión interna de trabajo en la línea será siempre menor a 150 psi
- En el mercado se cuenta con tubos Cedula 40 y 80, el espesor del tubo de $\phi 1$ " CED 40 es 3.38 mm, mientras que el del tubo de $\phi 1$ " CED 80 es 4.55 mm.
- Costo menor (Ahorro).

6.1.1.3 Determinación de la dilatación lineal de la tubería de vapor.

Aplicaremos la Ecuación 5.5 para determinar la dilatación lineal de la tubería de vapor en el sector más extenso de la línea, donde la elongación será crítica.

$\alpha = 0.000011 [^{\circ}\text{C}^{-1}]$ Coeficiente³¹ de expansión lineal del Acero

$L_0 = 90 \text{ [m]}$

$T_0 = 21 [^{\circ}\text{C}]$

$T_f = 150 [^{\circ}\text{C}]$

$$L_f = L_0(1 + \alpha\Delta t) = 90[1 + 0.000011(150 - 21)] = 90.13 \quad \text{metros}$$

La elongación en el sector más extenso de la línea será de 13 cm, por lo tanto habrá que incluir en este sector una junta de expansión tipo lira, para absorber dicha dilatación y evitar los esfuerzos que esta dilatación provocaría.

ANALISIS Y RESULTADO

Dicha tubería no se desenvolverá en un ambiente corrosivo, ya que el 85% de su extensión se encuentra aislada. En los catálogos DIPAC (Proveedor directo de Termopichincha), de tubería para vapor, muestra claramente que la presión de prueba para el tubo de ϕ 1" CED 40 es 700 psi y para el tubo de ϕ 1" CED 80 es 850 psi. Colocar un tubo CED 80 sería sobre dimensionar el sistema.

Habiendo analizado minuciosamente los parámetros, seleccionamos **tubo de vapor de Acero negro de ϕ 1 pulg CED 40**, con una **junta de expansión tipo lira** en el sector más extenso de la línea de vapor.

6.1.2 DETERMINACIÓN DE MATERIAL Y ESPESOR DE AISLAMIENTO

6.1.2.1 Determinación de material de aislamiento³².

Existen en el mercado aislamientos del tipo "Cañuela" con material de lana de vidrio y del tipo "Manta" con material de lana mineral, de entre las cuales debemos escoger la mejor opción para aislar nuestro circuito de cieno y vapor..

Criterios de selección de material de aislamiento:

³¹ Coeficientes: <http://www.scribd.com/doc/7773622/Dilatacion-Lineal-de-solidos>

³² DISETEC. Distribuidor de aislantes para Termopichincha S.A

- Se debe aislar el conjunto de dos tubos (Tubería de Cieno y tubería de vapor), la geometría de este conjunto no es cilíndrica,
- Propiedades físicas, de transferencia de calor, flexibilidad y putrecibilidad de los materiales lana de vidrio y lana mineral.
- Facilidad de montaje y desmontaje.
- Costo.

ANALISIS Y RESULTADO

Comparando las propiedades físicas entre los aislamientos de manta y de cañuela encontramos que, mayor flexibilidad y acoplamiento a la geometría de nuestro sistema nos brinda el aislamiento del tipo Manta, el de tipo cañuela no fleja para moldearse a la superficie de los dos tubos juntos a pesar de que presenta mayor facilidad para su montaje. Con respecto a las propiedades térmicas, El valor K de conductividad tanto como de la manta y de la cañuela son similares, varía de 0,032 a 0,045 W/(m · K) (a 10 °C), según el catálogo enviado por DISETEC distribuidor directo de Termopichincha.

El material de aislamiento que más se ajusta a nuestras necesidades es el de **tipo Manta conformado de lana mineral**.

Después de colocadas se necesitará recubrir a las mantas de lana mineral con foil de aluminio para no exponerlo a la lluvia y al deterioro por el sol.

6.1.2.2 Determinación de espesor de aislamiento.

Habiendo seleccionado ya el material de aislamiento, podemos proceder a calcular el espesor de aislamiento ya que contamos con el dato de conductividad térmica, en este caso es $K = 0.046 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ obtenido de catálogo de DISETEC.

La metodología de cálculo está basada en el balance térmico que debe existir entre el calor que cede la tubería de cieno al aislante y el calor que cede la tubería de vapor a la tubería de cieno, calores que deben ser iguales (Según Capítulo V, Marco teórico). la incógnita de este literal, el espesor de aislamiento .

CALCULO REALIZADO EN MATHCAD 14

MEMORIAS DE CÁLCULO EN ANEXO B, PAG 161.

RESULTADO

Se obtuvo como resultado un espesor de 0.73 pulg de manta de lana mineral, tomando en cuenta las recomendaciones del manual de cálculo hemos decidido seleccionar un espesor mayor al obtenido, **en este caso de 1 pulg de espesor** debido a que en el montaje las mantas tienden a compactarse y reducir su espesor con respecto al nominal, además que el distribuidor DISETEC asociado a Termopichincha no cuenta con mantas de lana de vidrio de menor espesor, razones por las cuales hemos decidido implementar ***Mantas de lana mineral de 1 pulg de espesor, según la configuración mostrada en la figura 5.5***

6.1.3 DETERMINACIÓN DE TIPO DE TRAMPAS DE VAPOR.

En la Central Guangopolo de Termopichincha se cuenta con 6 calderas del tipo Pirotubular, que alimentan continuamente la línea principal de vapor, el vapor de esta línea principal proveerá al sistema que implementaremos, el vapor de la línea principal tiene las siguientes características: Vapor saturado a 7 bar, caudal de 195 Kg/h y temperatura 150°C.

Este vapor al fluir por la nueva línea cederá inevitablemente calor a las paredes del tubo que lo transporta y estas a su vez al tubo acompañante, al aislante y al medio ambiente, provocando que parte del volumen del vapor que fluye dentro de la línea se condense y se estanque dentro de la línea.

Es obvia la necesidad de implementar trampas de vapor a lo largo del sistema y después de los serpentines, tanto para garantizar el correcto funcionamiento del sistema como para mantener las propiedades de transferencia de calor del vapor y mantener la línea libre de incrustaciones y corrosión.

Los criterios de selección para trampas de vapor los podemos observar en el capítulo V.

ANÁLISIS Y RESULTADO.

Utilizaremos trampas del tipo **Balde invertido** a la salida de los serpentines, lugares donde no podemos retirar la trampa regularmente debido a su inaccesibilidad. Estas trampas de vapor son muy confiables y robustas por lo que el desgaste de la trampa es mínimo, garantizando una vida útil de

aproximadamente 6 años, y de baja periodicidad de mantenimiento, otra de sus propiedades es el fácil mantenimiento y la autolimpiabilidad, es decir elimina automáticamente lodos de óxido y partículas solidas que puedan formarse de las incrustaciones.

Utilizaremos también, **trampas Termodinámicas** en la línea de vapor, para eliminar los condensados que puedan formarse en el sistema, escogimos este tipo de trampas debido a que existían en stock en la bodega de la Central, estas trampas tienen un tiempo de vida menor a las de balde invertido, pero cumplen eficientemente su trabajo,

6.2 DISEÑO DE SERPENTINES.

6.2.1 DETERMINACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE TRANSFERENCIA.

El objetivo de este numeral es determinar las superficies de transferencia que deberían tener los serpentines para lograr elevar la temperatura del cieno desde la temperatura ambiental hasta la temperatura de bombeo (más de 50°C), en determinado tiempo.

Debemos encontrar las superficies para los serpentines del tanque de almacenamiento de cieno y de la fosa de rebosamiento.

Para llevar a cabo este objetivo de encontrar este parámetro físico (Área), nos serviremos de la teoría de la transferencia de calor por convección libre (Ver Capítulo V), ya que nuestro fluido de análisis es el cieno que se encuentra inmóvil dentro de su recipiente y recibe el calor irradiado por el serpentín, el calor obtenido por este método será cotejado con el calor que se necesitaría para elevar la temperatura del cieno desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de bombeo mediante la ecuación general del calor $q=cp*\Delta t$. De la ecuación obtenida se despejara el Área de Transferencia.

La línea que transporta el vapor desde la toma en la línea principal hasta nuestros serpentines es de 1" diámetro CED 40. Hemos seleccionado un tubo de 1 ½ pulg de diámetro CED 40, para el diseño de los serpentines con la intención de obtener mayor área de transferencia, a pesar de que se tiene a su vez una pérdida debido al aumento de la sección.

En las ecuaciones de la convección libre interviene el diámetro del tubo, esta es la razón por la cual ya hemos seleccionado el diámetro antes mencionado para los serpentines.

Siendo este el caso la incógnita pasa a ser la longitud de tubo necesario para la construcción de los serpentines.

CALCULO REALIZADO EN MATHCAD 14

MEMORIAS DE CÁLCULO EN ANEXO B PAG 166.

RESULTADO

Hemos seleccionado para la construcción de los serpentines tubo de 1 ½ pulg de diámetro CED 40.

Para el serpentín de dentro del tanque de almacenamiento se ha obtenido una superficie de **8.197 m²**, para elevar de 18 a 60°C el cieno, en un período de **10 horas**, es decir una **longitud de 54.063 metros de tubo de 1 ½ pulg, CED 40**

Para el serpentín de dentro de la fosa de rebosamiento se ha obtenido una superficie de **1.195 m²**, para elevar de 18 a 60°C el cieno, en un período de **3 horas**, es decir una **longitud de 7.884 metros de tubo de 1 ½ pulg, CED 40**

6.2.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PASOS Y GEOMETRÍA DE LOS SERPENTINES.

Para determinar la geometría de los serpentines debemos tener en cuenta principalmente la facilidad de montaje y ensamblaje en el lugar donde los serpentines se desenvolverán, como es el caso del serpentín en el tanque de almacenamiento, en donde existen solamente dos tapas manhole de acceso, las dos de 50 cm de diámetro, donde solo pasa una persona a la vez, y tomar en cuenta que una vez colocados en su lugar de trabajo, serán inaccesibles ya que siempre estarán cubiertos de cieno.

ANALISIS Y RESULTADO

Para el serpentín del tanque de almacenamiento, hemos decidido tomar una disposición tipo reja, ya que es la única disposición posible en dicho tanque porque la inaccesibilidad del tanque no permite el ingreso de ninguna pieza pre armada, en cuanto a los pasos se los determinó mediante el dibujo en Auto CAD

2009, tomando en cuenta el diámetro del tanque y cuadrando para que se cumpla la condición del área determinada en (Capítulo VI, ítem 6.2.1), La disposición quedo de la siguiente manera: **Serpentín tipo reja de 15 pasos, de 4 metros de longitud en cada paso y separación de 36 cm entre pasos.** (Ver disposición en Anexo A, plano VM-12)

Para el serpentín de la fosa de rebosamiento también aplicaremos la disposición tipo reja, debido a su facilidad de conformado e instalación, de igual forma la geometría fue determinada con su dibujo en Auto CAD 2009 tomando en cuenta la las dimensiones de la fosa y cuadrando para que cumpla con las condiciones de área determinadas en (Capítulo VI, ítem 6.2.1), La disposición quedo de la siguiente manera: **Serpentín tipo reja de 10 pasos, de 0.75 metros de longitud en cada paso y separación de 16 cm entre pasos.** (Ver disposición en Anexo A, plano VM-13)

6.2.3 DISEÑO DE SOPORTES PARA LOS SERPENTINES DE ADENTRO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y LA FOSA DE REBOSAMIENTO.

Los soportes o bases son los encargados de mantener a los serpentines en su posición normal de trabajo, dentro del tanque de almacenamiento y dentro de la fosa de rebosamiento, en si son estructuras que soportarán las cargas que se generarán en dichos lugares de trabajo. Deberán ser calculados en las condiciones más críticas de funcionamiento

Las cargas que actuarán sobre el serpentín y su soporte serán las siguientes:

- Peso propio del serpentín.
- Presión hidrostática del cieno sobre el serpentín.
- Empuje del cieno sobre el serpentín.

Estas actúan sobre el serpentín de la manera que se ilustra en la figura de abajo:

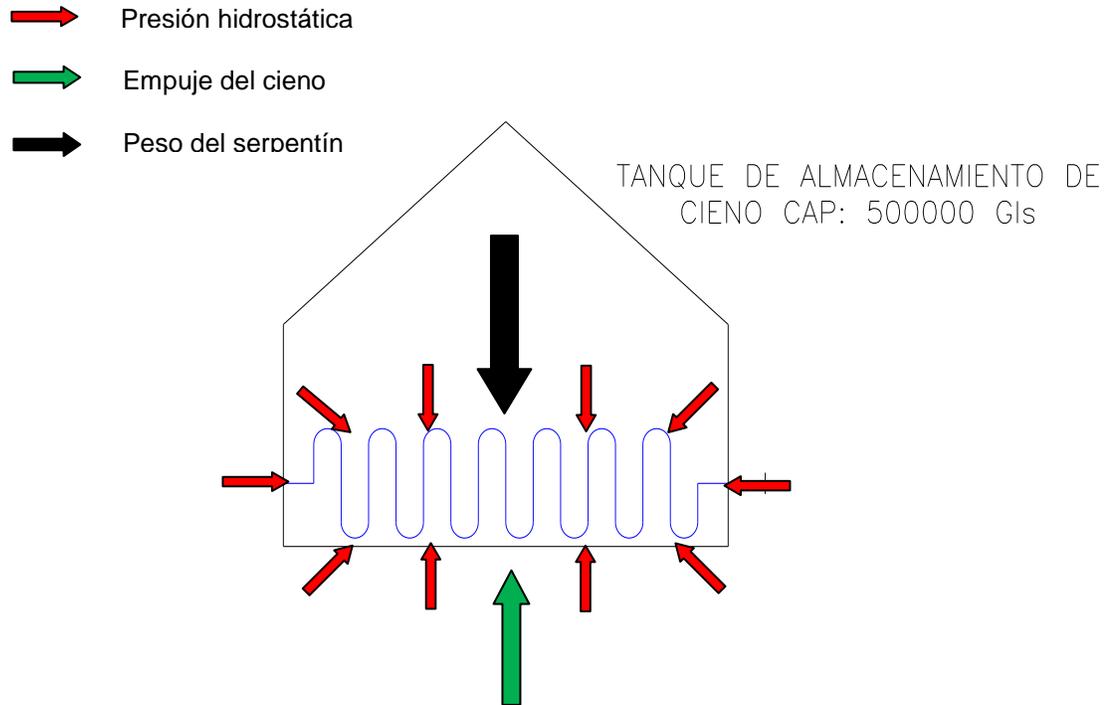


Figura 6.1 Fuerzas que actúan sobre un serpentín sumergido y sus soportes

De la figura anterior concluimos que, a) el momento más crítico para los soportes de los serpentines es cuando el tanque se encuentra vacío porque es cuando todo el peso del serpentín recae sobre el soporte, en el caso de que el tanque se encuentre lleno o medio lleno el empuje contrarresta a la fuerza que ejerce el peso sobre el soporte. b) En el caso de que el tanque se encuentre lleno, una fuerza a considerar es la presión hidrostática que se ejerce sobre la superficie del serpentín.

Debemos evaluar las fuerzas ejercidas en ambos casos.

CALCULO REALIZADO EN MATHCAD 14

MEMORIAS DE CÁLCULO EN ANEXO B, PAG 174.

En cuanto a la altura del soporte del serpentín del tanque de almacenamiento, se levantará **30 centímetros sobre la base del tanque**, el motivo de esta medida es para que no existan pérdidas de calor en la base del tanque ni en el suelo, Todos los tanques de Termopichincha con esta configuración de calefacción tienen su serpentín esta altura.

RESULTADO

Del cálculo realizado para encontrar las cargas que actuarían sobre los soportes, concluimos que, las cargas son bajísimas, tanto la carga distribuida provocada por el peso del serpentín, como la presión hidrostática cuando el tanque esté lleno. Por tanto la estructura que implementaremos como soporte de los serpentines será muy simple, de tipo caballete portante, la estructura es hiperestable ya que su largo es mucho mayor que su altura. Serán fabricados **con “perfil L” de 2 ½ pulgada de ancho por 5mm de espesor** para el soporte en el tanque de almacenamiento a una altura **de 0.3 metros** sobre la base del tanque, **y “perfil L” de 1 ½ pulgada de ancho por 4mm de espesor** para el soporte en la fosa de rebosamiento a una altura **de 0.2 metros** sobre el suelo de la fosa.

6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO.

6.3.1 DETERMINACION DE POTENCIA DE LAS BOMBAS.

La fase de determinación de la potencia requerida es crucial, porque de de ello depende el correcto dimensionamiento y selección de las bombas, si se sobredimensiona en la potencia, el costo de adquisición de la bomba será innecesariamente mayor, además los caudales y presiones dentro de las líneas de succión y descarga serán superiores a los esperados. Si el caso es contrario y se subdimensiona en la potencia, la bomba no logrará bombear el fluido y corre el riesgo de quemar el motor de la bomba.

Para este cálculo tomamos en cuenta el nivel al cuál se encuentra inicialmente el fluido y el nivel al cuál queremos elevar el fluido, además también el tipo de fluido y a la velocidad que será bombeado, en este caso se trata de un fluido viscoso. Otro aspecto importante en la determinación de la potencia son las longitudes de las líneas de succión y descarga, así como de los accesorios que se coloquen en la línea, el proceso de determinación de la potencia requerida está estipulado en el capítulo IV en el Ítem 5.3.

CALCULO REALIZADO EN MATHCAD 14

MEMORIAS DE CÁLCULO EN ANEXO B, PAG 178.

RESULTADO

Para un caudal de (130 litros/min ó 2,16 litros/seg) y aplicando un factor de seguridad del 1.5, y una eficiencia de funcionamiento de la bomba del 80%, obtuvimos como resultado una **potencia de 4.7 HP para la bomba de la fosa de rebosamiento y de 4.4 HP para la bomba del tanque de almacenamiento de Cieno API2.**

6.3.2 SELECCIÓN DE BOMBAS

Seleccionar correctamente las bombas es un procedimiento del cual depende una fuerte inversión, el costo de una bomba en nuestro medio no es bajo, por este motivo los equipos de bombeo no pueden ser seleccionados a la ligera. Realizar incorrectamente la selección puede desembocar en un ineficiente desempeño del sistema e incluso en la pérdida total de la inversión en el equipo de bombeo.

Para seleccionar correctamente las bombas, debemos analizar minuciosamente cada uno de los parámetros que intervienen en el desempeño de las mismas, entre los más sobresalientes tenemos:

- Viscosidad del fluido a bombearse.
- Temperatura de bombeo.
- Altura de bombeo.
- Caudal.
- Servicio (pesado-liviano).
- Potencia requerida de bombeo (obtenida del ítem anterior).
- Velocidad de la bomba.
- Voltaje y amperaje del motor.

Resulta muy útil pedir los catálogos de bombas de las empresas distribuidoras y/o solicitar asesoría técnica, que generalmente es gratuita.

ANALISIS Y RESULTADOS

PARAMETRO	DETALLE
Viscosidad del fluido.	176.04 cSt a 50°C
Temperatura de bombeo.	50° – 60° C

Altura de bombeo.	10 metros
Caudal.	1 – 3 (litros/seg)
Servicio (pesado-liviano).	Medio
Potencia requerida de bombeo (obtenida del ítem anterior).	4.7 y 4.4 HP
Velocidad de la bomba.	1750 RPM
Voltaje del motor.	220 V

Tabla 6.1 Parámetros para selección de bombas

En cuanto a la viscosidad del fluido, sabemos que es muy alta, por lo cual el tipo de la bomba será **de engranes**, este tipo de bombas son recomendadas para fluidos viscosos ya que la presión que ejerce en la línea es constante. La temperatura de bombeo está entre 50° y 60°C. El servicio es liviano porque se las usará únicamente cuando la fosa o el tanque se encuentren llenos, y los períodos de funcionamiento son cortos.

Se nos envió catálogos por parte de la empresa ACERO COMERCIAL, que es distribuidor directo para Termopichincha, para facilitar la selección.

La bomba adecuada para fosa de rebosamiento tiene las siguientes características: **Bomba de engranes de la serie GMS para servicio medio, potencia 5HP, 1750 RPM, diámetro 2” entrada y salida perpendiculares, temperatura máxima 300°C, presión máxima 10.3 bar y viscosidad de hasta 54000 cSt. De la marca Gorman-Rupp.(Ver en Anexo D de Fichas técnicas)**

6.3.3 DISEÑO DE SOPORTES PARA LA LÍNEA DE RETORNO Y LÍNEA DE VAPOR.

Las tuberías tanto de vapor como de cieno tienen su peso muerto, además de las cargas adicionales generadas por cieno y vapor dentro de las mismas, estas cargas deben ser soportadas sobre bases para que no existan esfuerzos remanentes en la tubería, el problema es determinar cuántas bases son necesarias a lo largo del sistema y el espaciamiento entre bases.

Para determinar el espaciamiento y el número de soportes que aguantarán el peso de las tuberías tanto la de cieno como la de vapor, nos remitimos a la tabla 5.12 en donde consta el espaciamiento sugerido para diferentes diámetros de tubería.

RESULTADO

Según la tabla 5.12 para un diámetro de 2" es recomendado una separación de 3.048 metros entre soportes. Entonces sí tomamos en cuenta para la longitud total del sistema que son 130 metros, tenemos **43 soportes con una separación entre soportes de 3 metros.**

CAPÍTULO VII

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

7.1 ELABORACIÓN DE LISTA DE MATERIALES

En la etapa de diseño (Capítulo VI), seleccionamos técnicamente los materiales más adecuados para la elaboración de nuestro proyecto, sin embargo contamos también con el asesoramiento técnico de los ingenieros de planta de la Central Guangopolo, ya que la lista de materiales es una etapa crítica del proyecto, debe existir mucha *previsión* al elaborar la lista, porque de ello dependerá que no haya retrasos en la construcción por falta de ciertos materiales que hayamos olvidado de incluir en la lista.

7.2 PLANOS DEL SISTEMA

VER PLANOS DEL SISTEMA EN ANEXO A

7.3 MANO DE OBRA

La CELEC Termopichincha S.A. se comprometió mediante la carta de auspicio emitida el 07 de febrero del 2010, firmada por su Presidente Juan Carlos López, a facilitar los materiales y la mano de obra para llevar a cabo este proyecto. E incluso para dar agilidad al proyecto, nosotros los responsables del proyecto, colaboraremos como mano de obra.

7.4 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

De igual manera que con la mano de obra La CELEC Termopichincha S.A se comprometió a poner a nuestra disposición todas las herramientas y equipos que nuestro proyecto requiera. La Central Guangopolo cuenta con dos talleres bien dotados de todos los equipos y herramientas que se puedan requerir, y en caso de no contar con alguna herramienta tenemos la autorización de realizar el pedido para adquirirla. Se nos ha brindado todas las facilidades posibles para realizar nuestro proyecto dentro de la Central Guangopolo.

7.5 SECUENCIA DE PROCESOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.

A continuación numeramos los procesos a seguir para la construcción del sistema:

- Desensamblar la tubería de retorno del sistema original.
- Acopio de materiales reciclables de la tubería anterior.
- Acopio de materiales nuevos solicitados para el proyecto.
- Fabricación de estructuras metálicas para las bases sobre los cuales descansarán las tuberías de vapor y cieno.
- Nivelación de terreno por donde cruzará la nueva tubería.
- Excavación de plintos y fundición de mojones sobre los cuales descansarán las tuberías de vapor y cieno.
- Excavar para exponer los tramos de tubería de 2 “del anterior sistema que se encuentren bajo concreto o tierra.
- Extraer el tubo de cobre de ¼” de dentro de la tubería de 2 “ del sistema anterior.
- Conformado en taller, de roscas NTP en tubo reciclado y nuevo de 2” para línea de cieno.
- Transporte de tubos roscados de 2” para línea de cieno hacia el sector de los mojones.
- Ensamblaje en campo de la línea de cieno por medio de universales de 2” roscado NTP.
- Soldadura en taller, de tres tubos consecutivos de 1 “x 6 m para línea de vapor.
- Transporte de tubos soldados de 1” x 18 m hacia el sector de los mojones.
- Ensamblaje y soldadura en campo de la línea de vapor.
- Colocación de abrazaderas tipo U de 4” en la estructura de los mojones, para que mantenga junta la configuración de tubo de vapor acompañante.
- Conformado de rebosaderos para piscinas de cieno, en tol de 3 mm.
- Instalación de rebosaderos en las piscinas de decantación.

- Construcción de canal que conduzca el cieno desde los rebosaderos hacia la fosa de rebosamiento.
- Conformado de serpentín para fosa de rebosamiento con tubo de 1 ½“.
- Conformado en partes de serpentín para tanque de almacenamiento con tubo de 1 ½”.
- Prueba hidrostática del serpentín de la fosa de rebosamiento.
- Conformado de soportes para los serpentines, en perfil L de 3” y 1 ½”.
- Vaciado, limpieza y sandblasting de tanque API2 de almacenamiento de cieno.
- Ensamblaje y soldadura de campo, del serpentín de dentro del tanque API2 de almacenamiento de cieno, para su calefacción.
- Prueba hidrostática del serpentín del tanque API2 de almacenamiento de cieno
- Colocación del serpentín de la fosa de rebosamiento, dentro de la misma.
- Redistribución en el sistema de bombeo y tubería de cieno en el sector del API2
- Colocación de accesorios (válvulas, trampas de vapor e instrumentos) a lo largo de la línea de vapor.
- Colocación de accesorios (válvulas de compuerta y check), a lo largo de la línea de cieno
- Acometidas de la línea de vapor a la línea principal de la Central, y hacia los serpentines de la fosa de rebosamiento y Tanque de almacenamiento de cieno.
- Instalación de bomba nueva en la fosa de rebosamiento y sus líneas de succión y descarga.
- Fundición de canales, por donde las líneas de vapor y cieno quedan bajo el nivel de tierra.
- Aislamiento con lana mineral de todo el conjunto de tuberías de vapor y cieno.
- Recubrimiento de todo el aislante colocado anteriormente con lámina protectora de aluminio.

7.5.1 DIAGRAMAS DE PROCESO PARA DE ELEMENTOS MECÁNICOS.

- Soportes metálicos para bases de tuberías de vapor y cieno

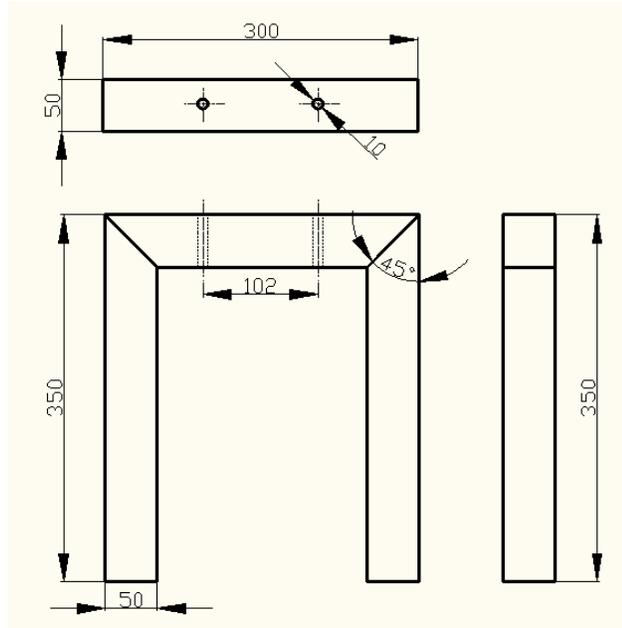
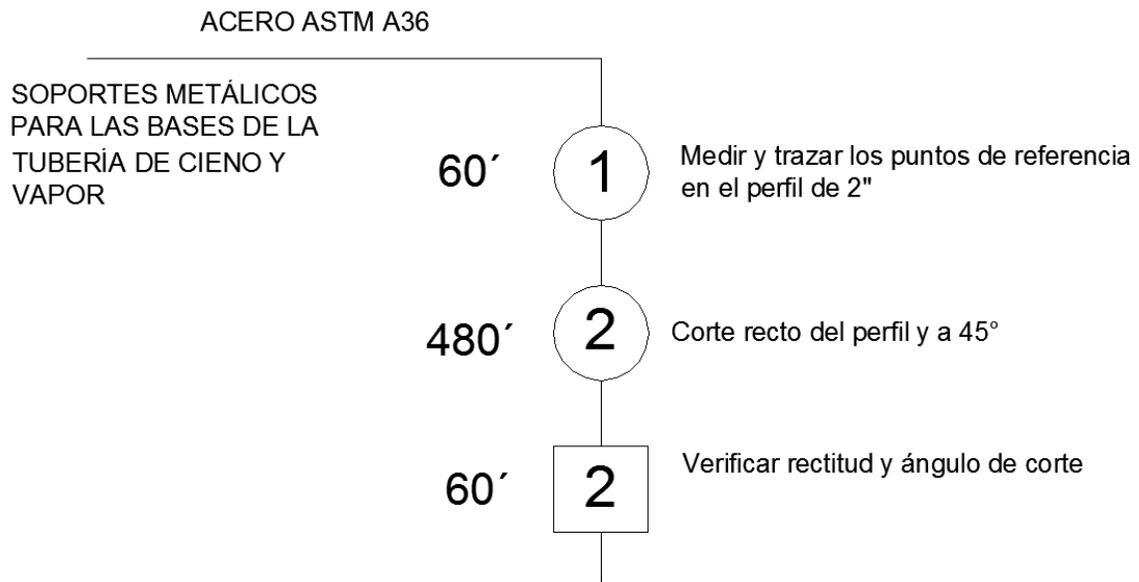
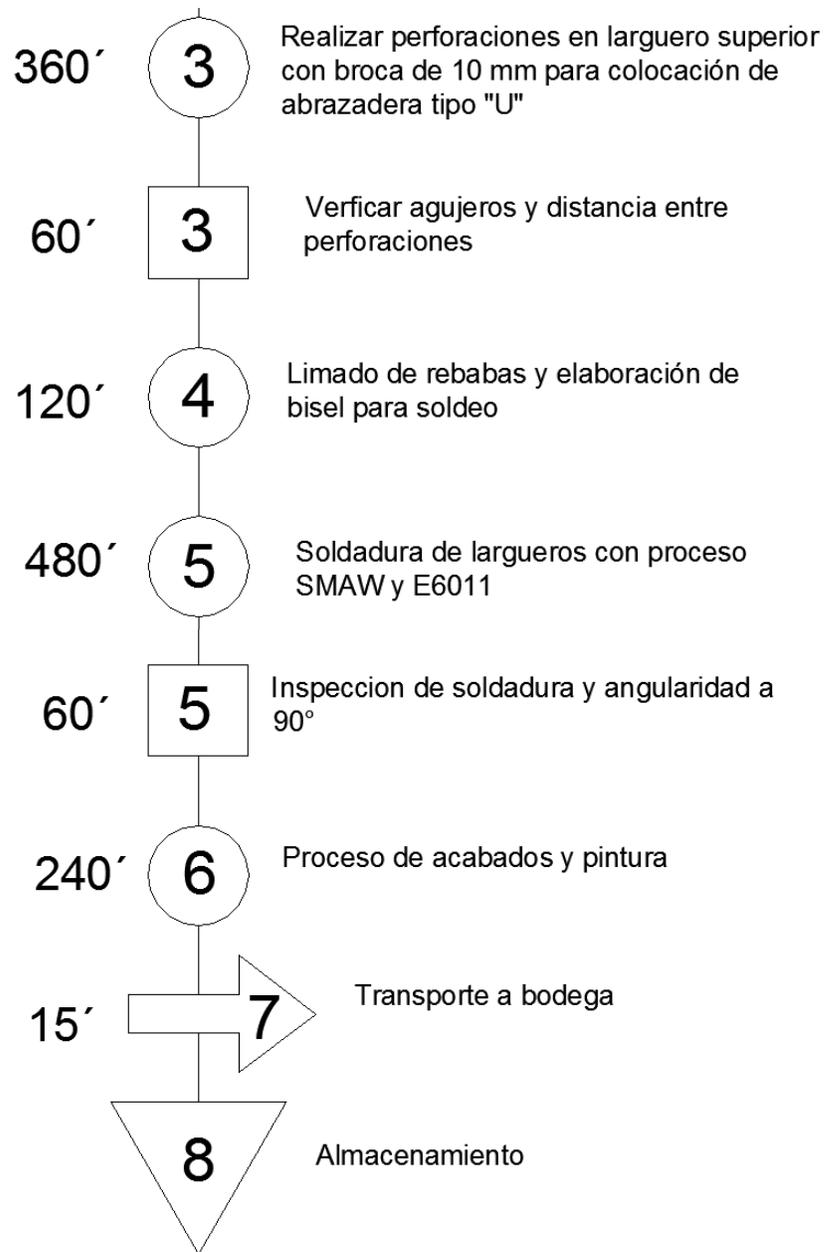


Figura 7.1. Soportes metálicos para bases.





- Serpentin de la fosa de rebosamiento.

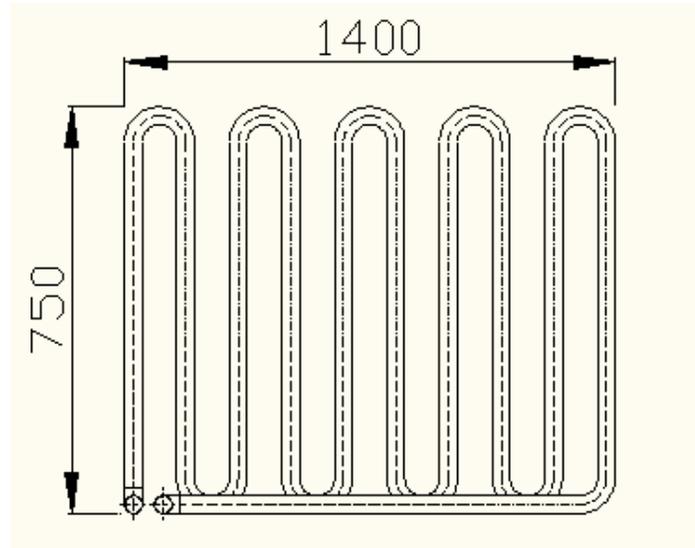
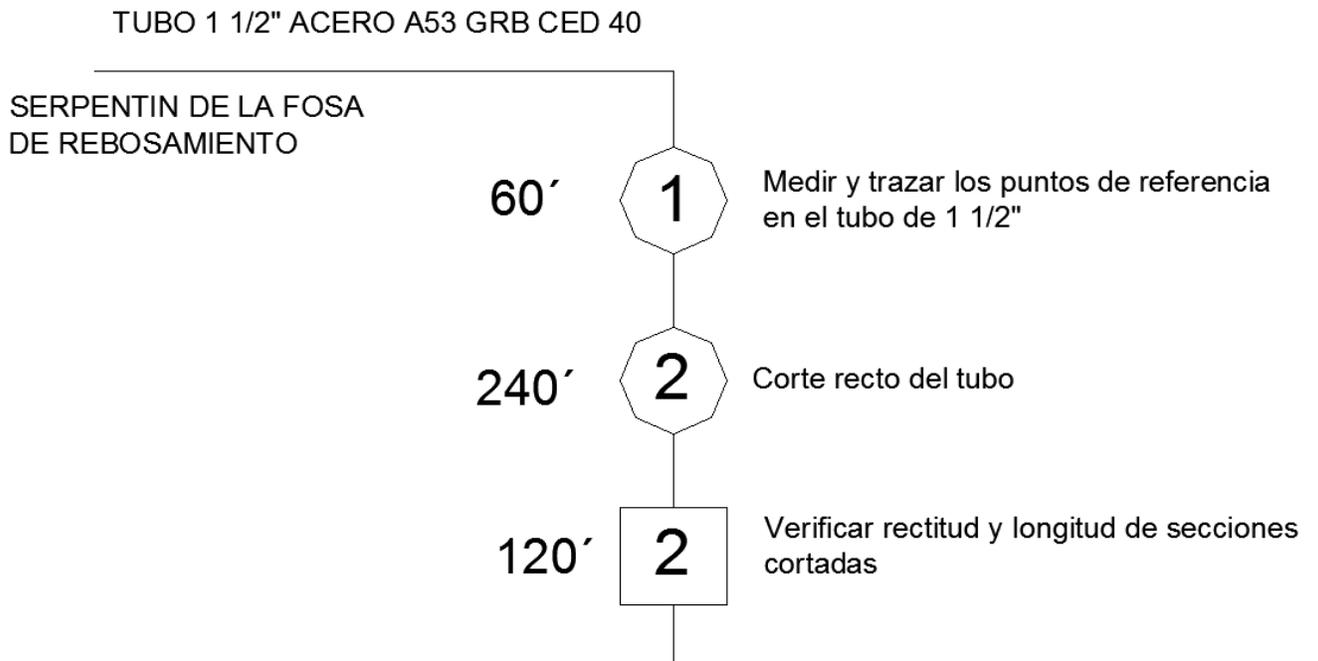
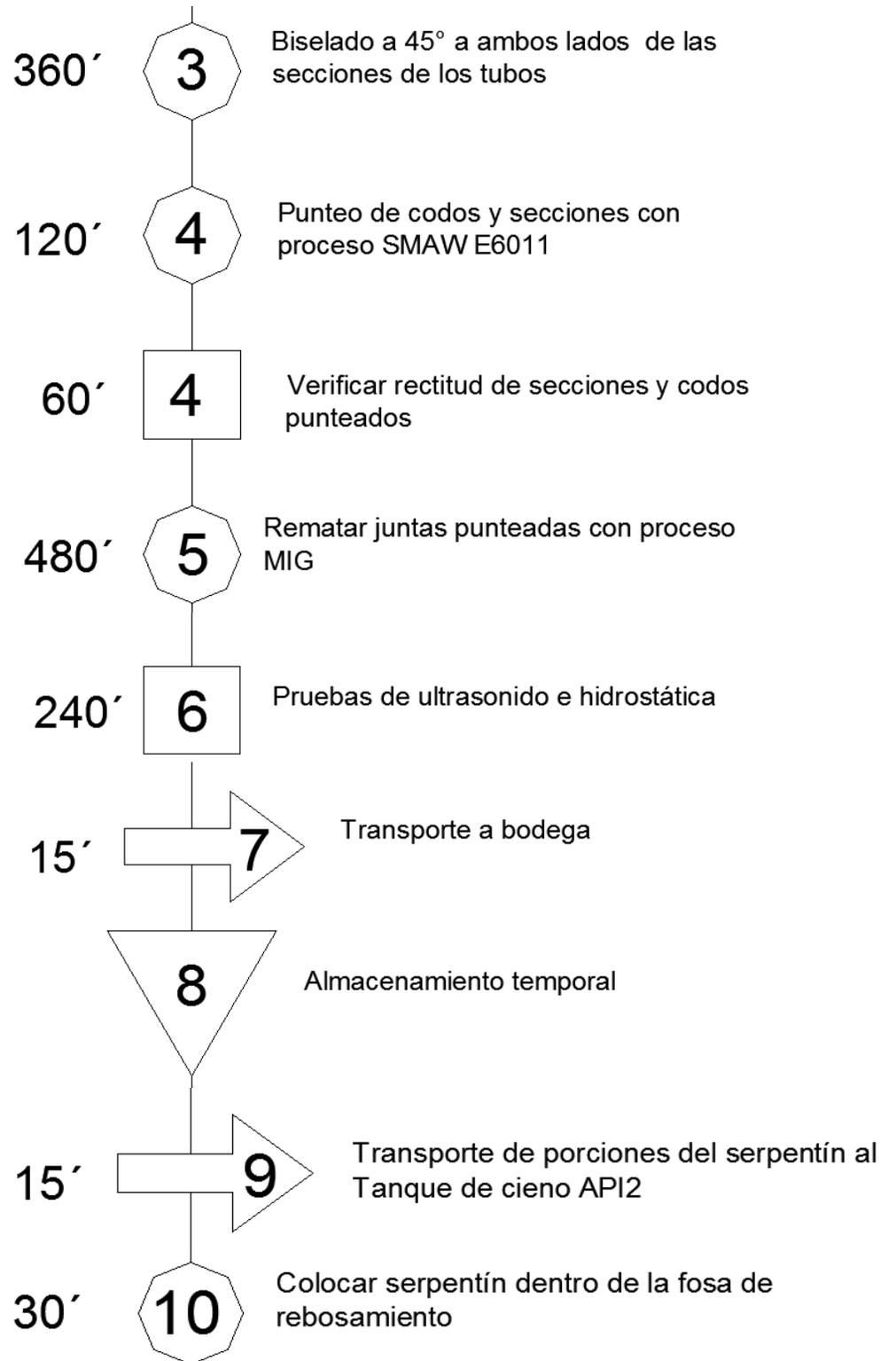


Figura 7.2. Serpentin de la fosa de rebosamiento.





- Serpentin del tanque de almacenamiento de cieno

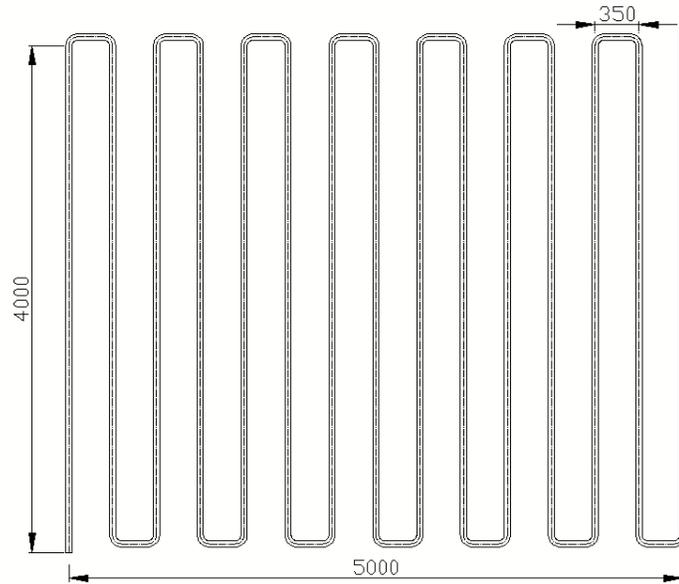
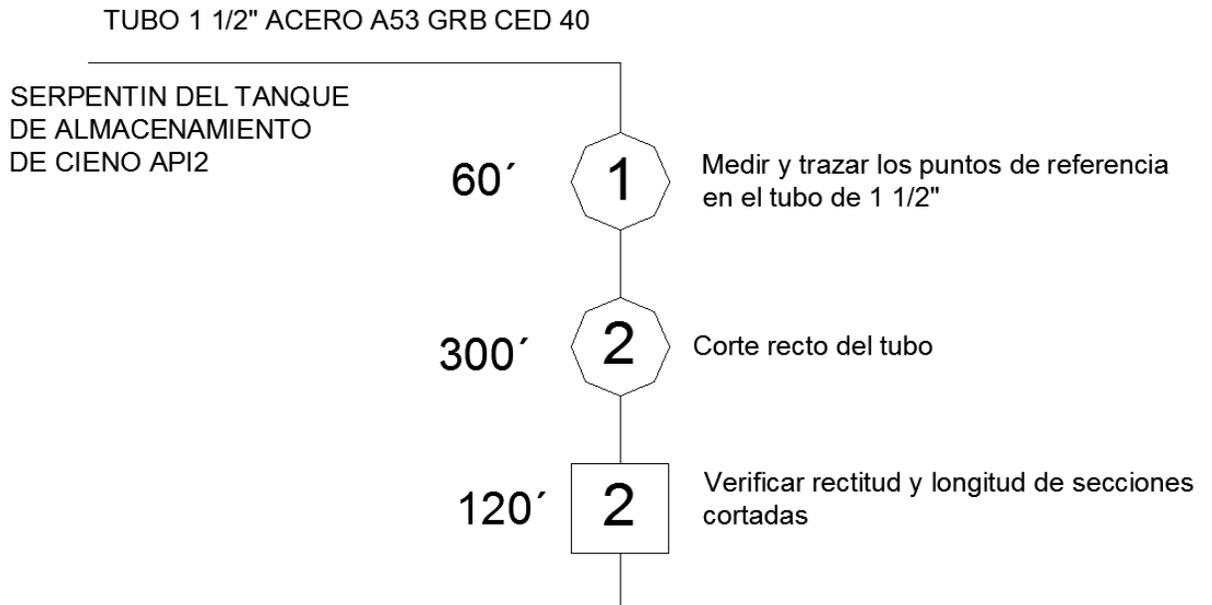
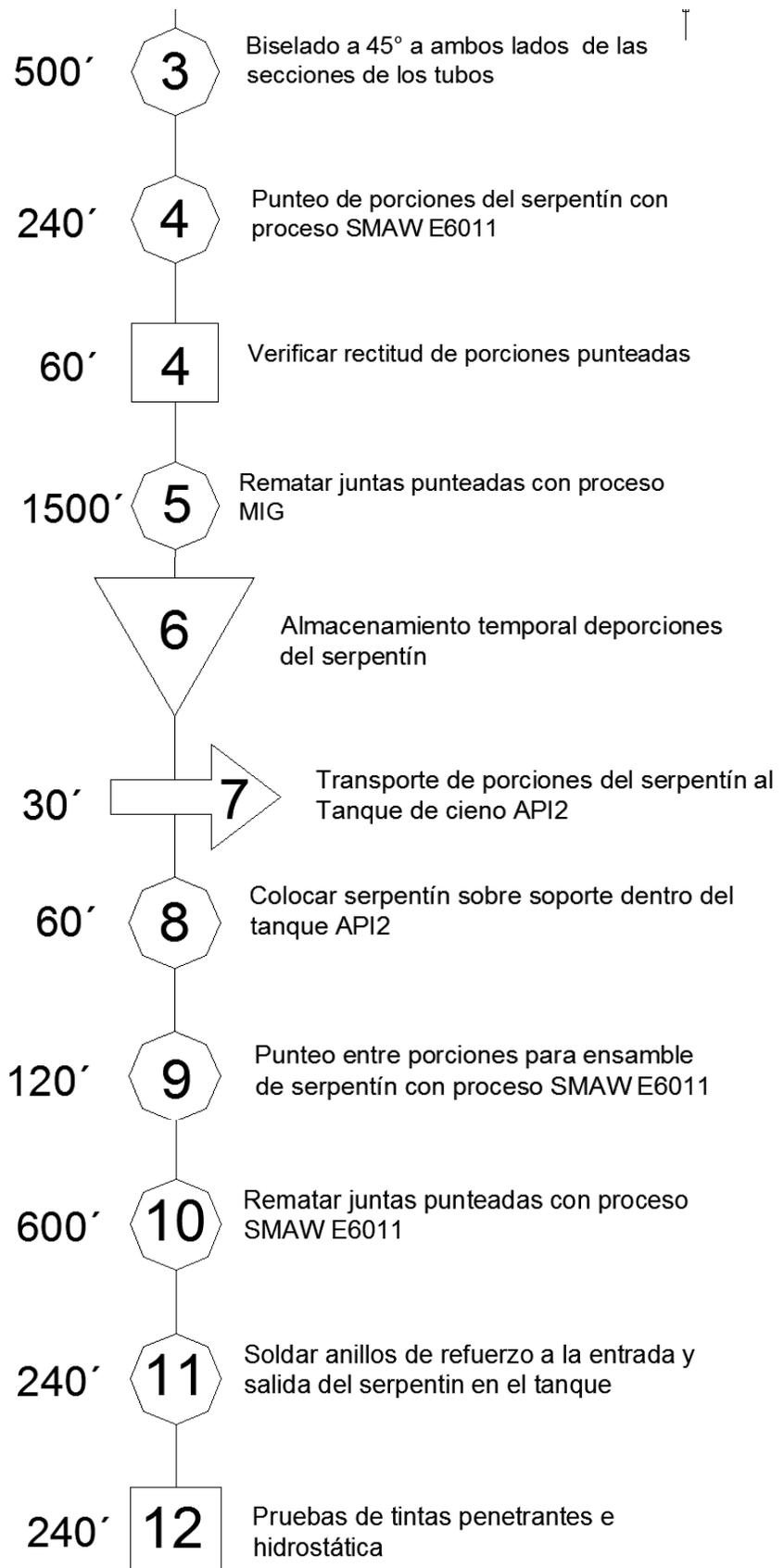


Figura 7.3. Serpentin del tanque de almacenamiento.





Rebosaderos de la piscinas de decantación

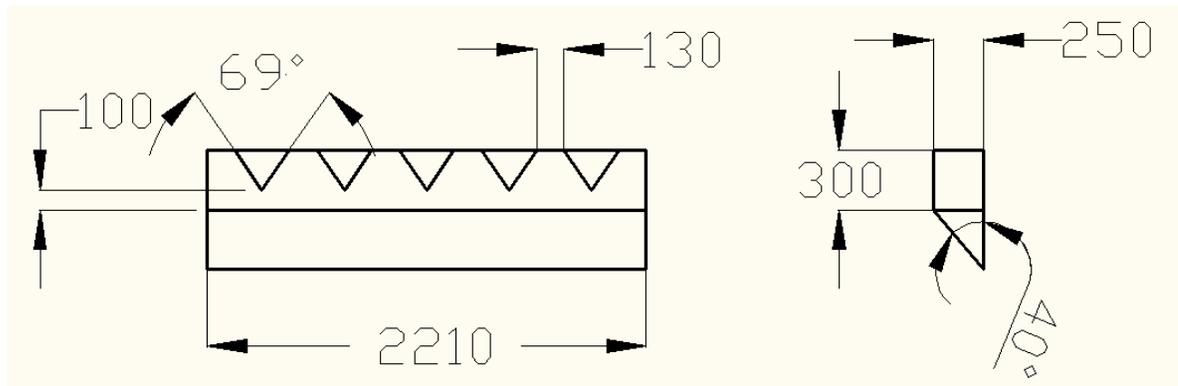
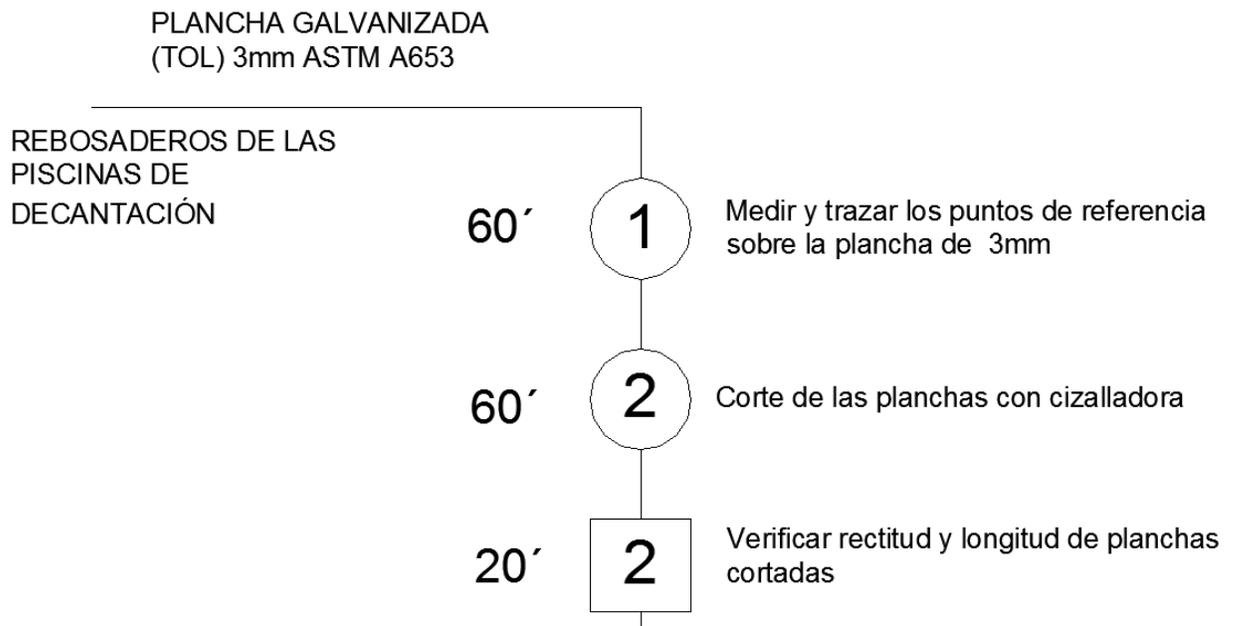
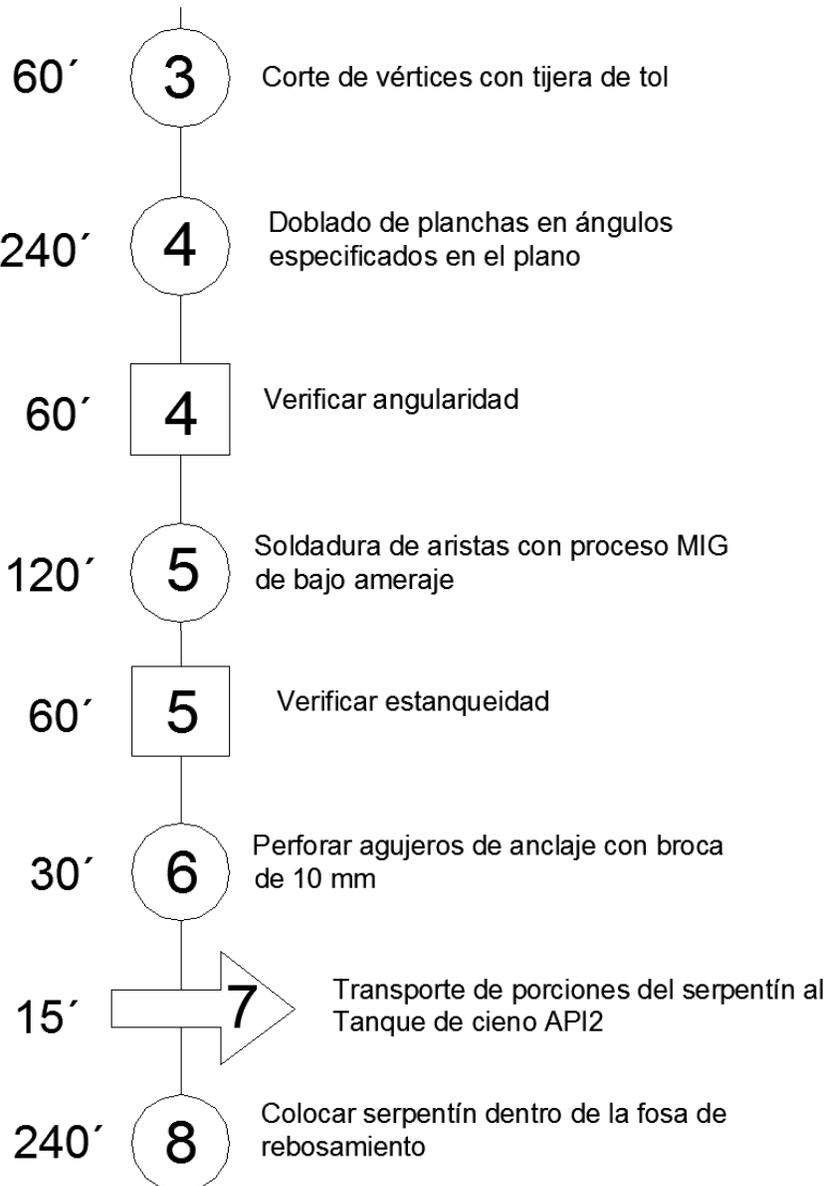


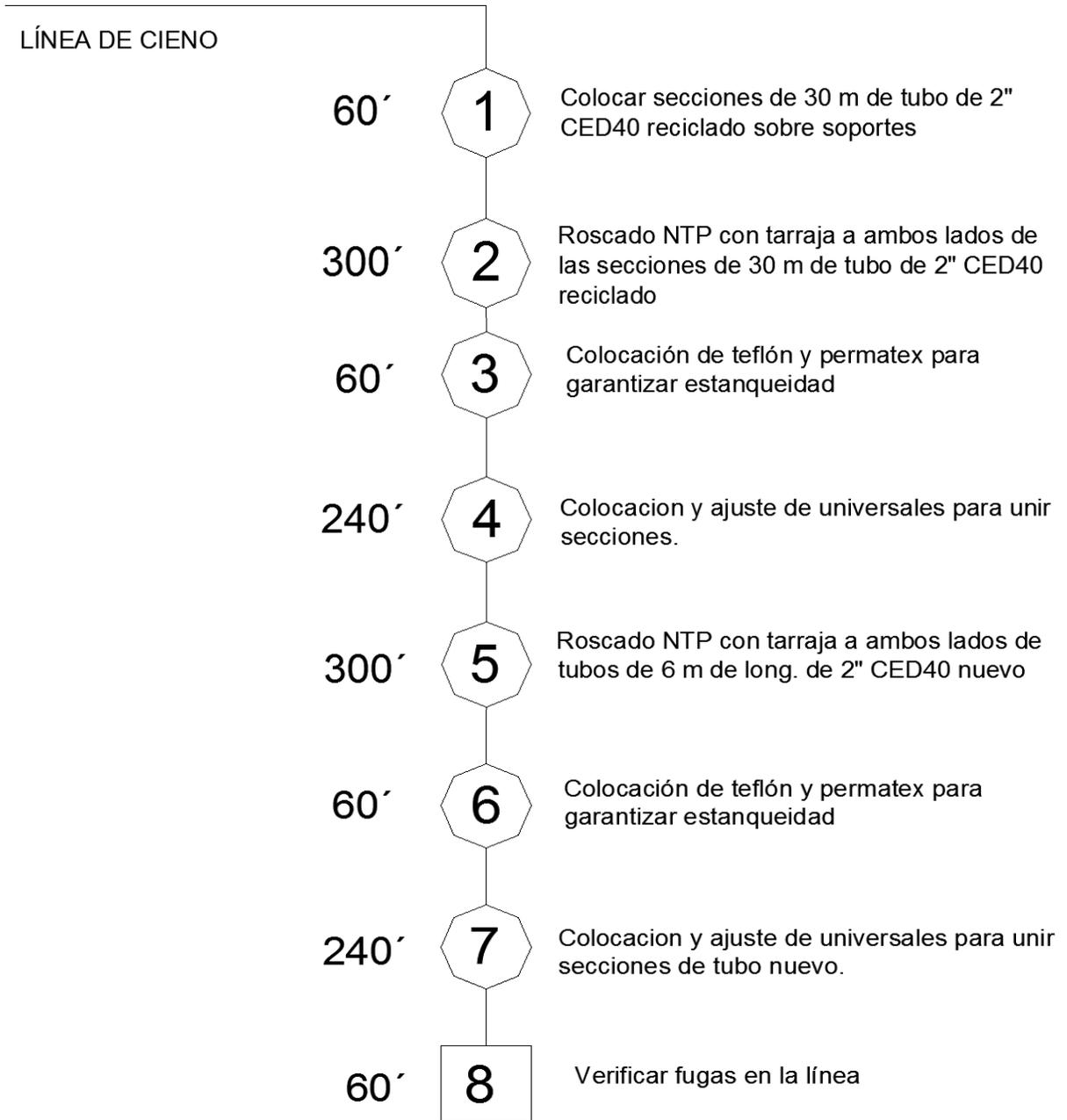
Figura 7.4. Rebosaderos para recolección.





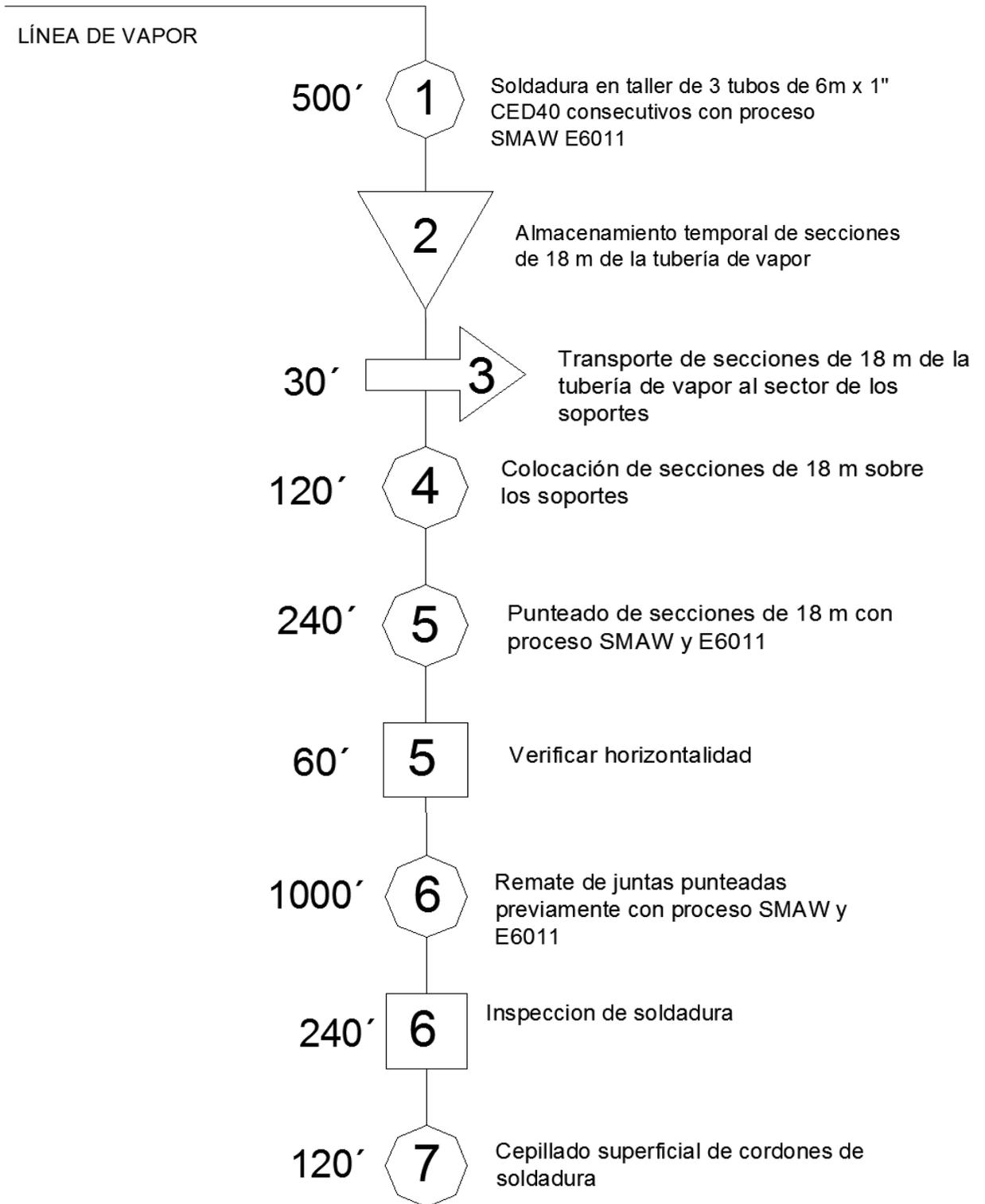
- Línea de cieno

TUBO 2" ACERO A53 GRB CED 40



- Línea de vapor

TUBO 1" ACERO A53 GRB CED 40



7.6 INFORME DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

Informe al lunes 14 de noviembre del 2010

A continuación los procesos a seguidos para la construcción del sistema:

- Desmontaje de la tubería de retorno instalada anteriormente.



Imagen 7.1: Corte de tubería original con arco de sierra

- Fabricación de estructuras metálicas para las bases sobre las cuales descansarán las tuberías de vapor y cieno.



Imagen 7.2: Corte de perfil L de 2" a 45° y soldadura de estructuras.



Imagen 7.3: Estructura terminada

- Nivelación de terreno por donde cruzará la nueva tubería.



Imagen 7.4: Terreno sin nivelar, por donde atravesarán las tuberías de cieno y vapor



Imagen 7.5: Terreno nivelado, por donde atravesarán las tuberías de cieno y vapor

- Excavación de plintos y fundición de bases sobre los cuales descansarán las tuberías de vapor y cieno.



Imagen 7.6: Excavación de plintos sobre terreno nivelado



Imagen 7.7: Encofrado y fundición bases.



Imagen 7.8: Panorámica de la fundición de bases.

- Excavar para exponer los tramos de tubería de 2 “del anterior sistema que se encuentren bajo concreto o tierra.



Imagen 7.9: Sector en el cuál la tubería original está bajo tierra



Imagen 7.10: Tubería expuesta en el sector de la imagen 7.9

- Extraer el tubo de cobre de 1/4” de dentro de la tubería de 2 “ del sistema anterior.



Imagen 7.11: Sección de la tubería de 2” con el tubo de cobre de 1/4” en su interior.



Imagen 7.12: Extracción del tubo de cobre.

- Conformado en taller, de roscas NTP en tubo reciclado y nuevo de 2" para línea de cieno.



Imagen 7.13: Roscas NTP en neplera.

- Soldadura en taller, de tres tubos consecutivos de 1 "x 6 m para línea de vapor.



Imagen 7.14: Soldadura en taller de tubería de vapor.



Imagen 7.15: Soldadura de Tubería con E6011.

- Ensamblaje y soldadura en campo de la línea de vapor y cieno.



Imagen 7.16: Ensamblaje de de tubería de cieno con universales y soldadura de tubo de vapor.



Imagen 7.17: Tuberías de cieno y vapor sobre su base.

- Colocación de abrazaderas tipo U de 4" en la estructura de los mojones, para que mantenga junta la configuración de tubo de vapor acompañante.



Imagen 7.18: Tuberías de cieno y vapor aseguradas a su base mediante abrazaderas tipo U.



Imagen 7.19: Configuración de tubería acompañante de vapor.

- Conformado e instalación de rebosaderos en las piscinas de decantación.



Imagen 7.20: Piscinas de decantación sin rebosaderos.



Imagen 7.21: Canal que conduce el cieno a las piscinas.



Imagen 7.22: Piscinas de decantación con los rebosaderos instalados.



Imagen 7.23: Instalación de rebosaderos.

- Construcción de canal que conduzca el cieno desde los rebosaderos hacia la fosa de rebosamiento.



Imagen 7.24: Canal de la fosa de rebosamiento.

- Conformado de serpentín para fosa de rebosamiento con tubo de 1 ½".

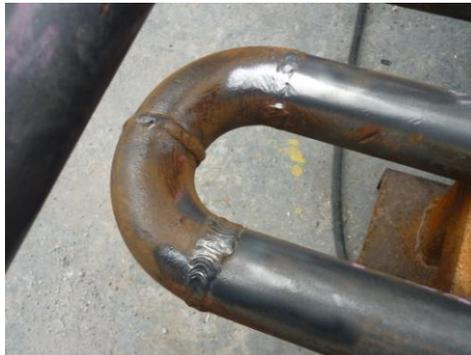


Imagen 7.25: Detalle de los cordones de soldadura del serpentín de la fosa de rebosamiento.



Imagen 7.26: Serpentín de la fosa de rebosamiento terminado.



Imagen 7.27: Relación dimensional del serpentín de la fosa.

- Conformado en taller de partes de serpentín para tanque de almacenamiento con tubo de 1 ½”.



Imagen 7.28: Detalle de la soldadura (proceso MIG) para tubería de serpentín.



Imagen 7.29: Equipo de soldadura MIG, de la central Guangopolo.

- Prueba de ultrasonido e hidrostática del serpentín de la fosa de rebosamiento.

Esta prueba fue encargada a la empresa de servicios “TECOM Ingenieros”. Ver informe de la prueba en *Anexo C, pág. 197*.



Imagen 7.30: Prueba de ultrasonido en el serpentín de la fosa de rebosamiento.

- Conformado de soportes para los serpentines, en perfil L de 3" y 1 ½".



Imagen 7.31: Soportes del serpentín de la fosa de rebosamiento.



Imagen 7.32: Soportes del serpentín del tanque de almacenamiento API2.

- Vaciado, limpieza, mantenimiento y sandblasting de tanque API2 de almacenamiento de cieno.



Imagen 7.33: Tanque de almacenamiento de cieno API2, antes de su mantenimiento y sandblasting..



Imagen 7.34: Mantenimiento al tanque de almacenamiento API2.



Imagen 7.35: Terminado de sandblasting dentro del tanque API2.



Imagen 7.36: Tanque terminado después de su mantenimiento.

- Ensamblaje y soldadura de campo, del serpentín de dentro del tanque API2 de almacenamiento de cieno, para su calefacción.



Imagen 7.37: Panorámica de la construcción del serpentín dentro del tanque API2, y manhole por donde se debe ingresar todo el material y equipos.



Imagen 7.38: Soldadura del serpentín dentro del tanque con proceso SMAW y E6011.



Imagen 7.39: Salida del serpentín del tanque de cieno API2.



Imagen 7.40: Anillo de refuerzo para la entrada y salida del serpentín en el tanque.

- Prueba hidrostática y de tintas penetrantes del serpentín del tanque API2 de almacenamiento de cieno .Esta prueba fue encargada a la empresa de servicios “TECOM Ingenieros”. Ver informe de la prueba en Anexo C



Imagen 7.41: Detección de una fuga dentro del tanque API2.



Imagen 7.42: Detección de una porosidad a la salida del serpentín del tanque API2.



Imagen 7.43: Detección de pequeñas porosidades en un cordón de soldadura dentro del tanque API2.

- Colocación del serpentín de la fosa de rebosamiento, dentro de la misma.



Imagen 7.44: Eliminación de oxido del serpentín de la fosa de rebosamiento.



Imagen 7.45: Colocación del serpentín dentro de la fosa de rebosamiento.

- Redistribución en el sistema de bombeo y tubería de cieno en el sector del API2



Imagen 7.46: Vista del sistema original de bombeo en el sector del tanque API2.



Imagen 7.47: Distribución del sistema de bombeo original.



Imagen 7.48: Redistribución del sistema de bombeo..



Imagen 7.49: Sistema de bombeo redistribuido.

- Colocación de accesorios (válvulas, trampas de vapor e instrumentos) a lo largo de la línea de vapor.



Imagen 7.50: Colocación de válvulas y trampas de vapor termodinámicas a lo largo de la línea.



Imagen 7.51: Trampa de vapor de balde invertido al final del serpentín de la fosa de rebosamiento.



Imagen 7.52: Instalación de manómetros y termómetros para medición de presión y temperatura en la línea de vapor.

- Colocación de accesorios (válvulas de compuerta y check), a lo largo de la línea de cieno



Imagen 7.53: Sistema de bombeo redistribuido.

- Acometidas de la línea de vapor a la línea principal de la Central, y hacia los serpentines de la fosa de rebosamiento y Tanque de almacenamiento de cieno.



Imagen 7.54: Acometida de la línea principal de la Central.



Imagen 7.55: Acometida de los serpentines a la línea de vapor mediante electroválvula.

- Instalación de bomba nueva en la fosa de rebosamiento y sus líneas de succión y descarga.



Imagen 7.56: Nueva bomba instalada, con sus líneas de succión a la fosa y descarga.



Imagen 7.57: Detalle de las líneas de succión y descarga.

- Fundición de canales, por donde las líneas de vapor y cieno quedan bajo el nivel de tierra.



Imagen 7.58: Canal por donde pasa la línea de cieno y vapor



Imagen 7.59: Canal recién fundido.

- Aislamiento con lana mineral de todo el conjunto de tuberías de vapor y cieno.



Imagen 7.60: Aislamiento de las líneas de cieno y vapor a lo largo de toda su extensión.

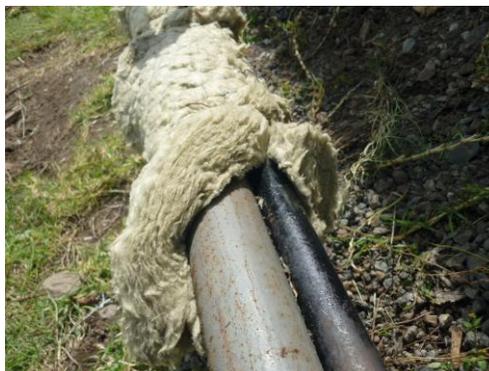


Imagen 7.61: Detalle del método de aislamiento.

- Recubrimiento de todo el aislante colocado anteriormente con lámina protectora de aluminio.



Imagen 7.62: Detalle del sistema de aislamiento y recubrimiento.



Imagen 7.63: Recubrimiento con lámina de aluminio a lo largo de la línea.



Imagen 7.64: Panorámica de la línea ya aislada y recubierta..

CAPITULO VIII

PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS

8.1 INSTRUMENTACIÓN

Para los fines de evaluar el funcionamiento del nuevo sistema de vapor, calefacción y bombeo implementados durante nuestro proyecto, es necesario colocar instrumentos de medición de temperatura y presión en sectores claves de las líneas de vapor y de cieno. Estos instrumentos nos arrojarán datos para poder determinar de manera práctica las pérdidas de presión dentro de las líneas de vapor y cieno además de controlar y censar el correcto funcionamiento del sistema.

Los instrumentos que hemos utilizado poseen las siguientes características:

Manómetros.

En nuestro proyecto utilizamos manómetro bourdon en glicerina de marca **USG**.

PARAMETRO	CARACTERÍSTICA
MARCA	USG
PRESION	0 - 11 Bares
CONEXION INFERIOR	Bronce de ¼" rosca NPT
CARÁTULA	Tipo reloj en acero inoxidable lleno de glicerina de 2.5" de diámetro.

Tabla 8.1: Características de los manómetros implementados.



Imagen 8.1: Carátula del manómetro con Glicerina.

Función de la glicerina en los manómetros

El relleno de glicerina sirve para proteger el mecanismo interno y proporciona estabilidad a la aguja indicadora cuando el manómetro está instalado en zona de vibraciones.

Cuando no hay glicerina el aparato podría ya no funcionar correctamente y atorarse la aguja, lo cual causaría mediciones alteradas.

Termómetros.

En nuestro proyecto utilizamos termómetros de líquido de alcohol de marca **SUGIHRA**.

PARAMETRO	CARACTERISTICA
MARCA	SUGIHRA
TEMPERATURA	0-200 °C
LIQUIDO	Alcohol coloreado
CONEXIÓN INFERIOR	Bulbo de 2.5" de altura
ACOPLE	Diámetro de 3/4" rosca NPT



Tabla 8.2: Características de los termómetros implementados.

Imagen 8.2: Termómetro Sugihra.

Las características de dicho **termómetro** es un tubo capilar de vidrio, de un diámetro interior muy pequeño , que cuenta con paredes gruesas y en uno de sus extremos se encuentra una dilatación conocida como "*Bulbo*", el cual está lleno de alcohol. El alcohol es una sustancia que se dilata o contrae y por lo tanto sube o baja dentro del tubo capilar con los cambios de temperatura. En el tubo capilar se establece una escala que marca exactamente la temperatura en ese momento. El termómetro de alcohol fue el primero que se creó y que mide la temperatura en forma efectiva. Es más confiable que el termómetro de mercurio, que se utiliza frecuentemente.

Termocupla Tipo J (sensores de temperatura)

- La Termocupla Tipo J es la conocida como la termocupla hierro - constantán. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de 55 % de cobre y 45 % de níquel (constantán).
- Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio.
- La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las termocuplas Tipo J:

- No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C.
- A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C.
- No deben someterse a ciclos por encima de 760° C , aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.

Todas estas limitaciones no son problema para nuestro proyecto ya que trabajamos a temperaturas muy diferentes a las limitantes.

Los manómetros han sido ubicados en los siguientes puntos de las líneas.

- Acometida a la línea principal.
- Acometida al serpentín de la fosa de rebosamiento.
- Acometida del serpentín del tanque de almacenamiento de cieno.
- Entrada y salida de ambas bombas instaladas en serie.

Los termómetros y termocuplas han sido ubicados en los siguientes puntos de las líneas.

- Termocupla tipo J colocada dentro del tanque de almacenamiento de cieno.
- Termocupla tipo J colocada dentro de la fosa de rebosamiento.

- Termómetro colocado a la entrada del serpentín de la fosa de rebosamiento
- Termómetro colocado a la entrada del serpentín del tanque de almacenamiento de cieno API2.
- Termómetro colocado en la línea de cieno a la entrada del tanque API1

8.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.

8.2.1 VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO.

Después de haber completado la etapa de construcción y montaje es necesario realizar una prueba de funcionamiento del sistema, para verificar tanto fugas de vapor como de cieno, además identificar fallas de soldadura y evaluar la elongación por la dilatación lineal, producido por el calor del vapor, y lo más importante que es verificar si el sistema lleva a cabo su cometido.

8.2.2 TOMA DE DATOS.

Datos tomados al 2 de diciembre del 2010.

Sistema de Vapor.

	Temperatura (°C)	Presión (bar)
Entrada a la línea de vapor	150	5.5
Entrada al serpentín de la fosa de rebosamiento	140	4.5---3.5
Entrada al serpentín del tanque de almacenamiento	140	4---3

Tabla 8.3: Tabla de datos tomados para el sistema de vapor implementado.

Sistema de bombeo de cieno

	Temperatura (°C)	Presión (bar)
Salida de la bomba de la fosa de rebosamiento	60	5
Entrada al tanque API1	63	3

Tabla 8.4: Tabla de datos tomados para el sistema de bombeo implementado.

NOTA1: El tiempo en el que el contenido de la fosa de rebosamiento alcanzó su temperatura de bombeo (60°C) fue 60 min.

NOTA2: Debido a que el tanque de almacenamiento de cieno API2 fue sellado el día lunes 15 de noviembre del 2010 y a que el nuevo diseño dispone que sólo en caso de que el tanque API1 se encuentre lleno se bombee el cieno de la fosa hacia el tanque API2. No se ha podido realizar las pruebas de bombeo desde el tanque API2 hacia el tanque API1, porque el tanque API2 se encuentra vacío.

8.2.3 ELABORACIÓN DE INFORME DE FUNCIONAMIENTO.

Sistema de Vapor.

Pérdida de calor en la línea.

$$\dot{q} = \dot{m} * c_p * \Delta t$$

Ecuación 8.1: Ecuación general de Calor.

Donde:

\dot{q} = Calor perdido por la línea de vapor

\dot{m} = Flujo másico de vapor que fluye por el tubo

c_p = Calor específico del vapor

Δt = Diferencia de temperaturas

$$\dot{q} = \dot{m} * c_p * \Delta t = 195 * 2.014 * (150 - 140) = 3927.3 \text{ KJ/h.}$$

Que si tomamos en cuenta que el calor requerido para elevar todo el contenido de la fosa de rebosamiento desde la temperatura ambiente, tomada como 21°C, hasta 72°C, durante una hora, es de 131071,4 KJ/h. Se deduce que el tan solo el 3% del calor necesario en la fosa se pierde en la línea de vapor.

- Línea de vapor sin fugas
- Junta de expansión tipo lira funciona absorbiendo la dilatación lineal de forma óptima.
- Correcto aislamiento térmico.

- Trampas de vapor termodinámicas y de balde invertidas funcionando correctamente.
- Las presiones dentro de la línea fluctúan entre 4.5 y 3 (bar), debido a que dentro de la Central Guangopolo se tiene otros procesos que también demandan vapor de la línea principal, como lo es la purificación de combustible, y al funcionar estos procesos simultáneamente se tiene una baja de presión en todos aquellos que estén conectados a la línea principal.
- Funcionamiento en general del sistema de vapor, muy satisfactorio.

Sistema de Bombeo.

- Línea de retorno de cieno sin fuga.
- La temperatura del cieno dentro de la línea de retorno no baja de los 65°C y la condición mínima es de que no descienda mas allá de los 50°C.
- El volumen muerto de cieno que queda dentro de la línea después del bombeo es de (250 litros/67.5 galones).
- La fosa se vacía en un tiempo de 45 minutos.
- La presión de bombeo en la línea es de 1.5 bar.
- Funcionamiento en general del sistema de bombeo, muy satisfactorio.

CAPITULO IX

ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

9.1 INVERSIÓN EN MATERIALES Y EQUIPOS.

A continuación detallamos la lista de materiales utilizados en la implementación de este proyecto: Esta lista nos fue proporcionada en el departamento de bodega de la Central Guangopolo el día viernes 26 de noviembre del 2010.

Cant	MATERIAL / REPUESTO	Costo Total
1	RODAMIENTO 6202 2RS	3,37
2	RODAMIENTO 6200 2RS	11,6
1	VALVULA SEGURID. BRONCE, 20MM,SET=8 KG/CM2,ROSCADA	8,34
1	VALVULA TERMOSTATICA TD-2, 25MM,105-125°C, BRIDA	8,34
2	VALVULA CHECK DE BRONCE DE 2"	100,4
1	VALVULA GLOBO DE 1", PARA TUBO ROSCADO	35,84
7	VALVULA DE BOLA DE 1" 150 PSI (MEDIA VUELTA)	38,08
2	VALVULA DE COMPUERTA DE 1"	94,08
2	VALVULA DE VAPOR DE 3/4", 147 PSI, CON BRIDAS	201,6
1	VALVULA DE PIE DE 3"	133,79
1	VALVULA 1/2" PARA VAPOR, 150PSI	16,07
3	VALVULA DE COMPUERTA 2 1/2"	153
4	VALVULA DE COMPUERTA 2"	309,4
2	VALVULA SOLENOIDE 1" NORMALMENTE CERRADA 180°C 150 PSI 110V, INT. INOX, EXT. BRONCE	1076
2	CONTACTOR TRIFASICO 11KW 400V CON BOBINA DE 120V	171,5
2	MANOMETRO EN GLICERINA, 0 a 160 PSI CONEXION INFERIOR EN BRONCE DE 1/4" NPT, CARA EN ACERO INOX. DE 2.5"	40,96
1	TERMOCUPLA TIPO K 0-1200°C, BULBO 6" CONEXION 1/2-3/4" NPT	226,46

3	TERMOMETRO DE 0-200 C SUGIHARA 5/1	16,26
2	CONTROL DE TEMPERATURA DE 0 - 399°C 110 220 VAC	138,98
1	TRAMPA DE VAPOR DE 1"	
3	VIDRIO CLARO PARA MASCARA DE SOLDAR	0,45
1	FUSIBLE DE VIDRIO DE 1,5 A	0,12
4	FOCO 100W, 120V	3,2
1	PERNO M8 x 30, CON TUERCA Y ARANDELA	0,29
25	PERNO M12.175 X 40, CON TUERCA	10,75
1	PERNO DE ACERO ROSCA GRUESA DE 5/8" x 2 1/2"	0,58
66	PERNO 12 X 40, CON TUERCA	46,86
1	PERNO M6 X1.00 X 30	0,3
24	PERNO DE ACERO M15 X 50 X 2	15,12
5	PERNO DE ANCLAJE 5/8 X 4 1/4 (M16)	
13	TACO FISHER 8	0,13
56	TACO FISHER # 10	1,12
20	TORNILLO PARA MADERA 2 1/2 X 1/4"	1,2
13	TORNILLO TIRAFONDO DE 1/4 x 1 1/2	0,39
24	TORNILLO M8 X 50	1,92
1	TUERCA CADMIADA M21 x 1.5	0,06
1	TUERCA DE ACERO MM 6 X 1.0	0,02
1	BROCA HSS 5 MM	2
2	BROCA HSS 5/32	7,2
1	BROCA 6 MM	0,34
1	CEPILLO DE NYLON PARA LAVAR	2,8
10	DISCO DE CORTE 115 x 3 x 22 (METALES)	25
3	DISCO DE CORTE 180 x 3 x 22 (METALES)	10,53
5	DISCO DE CORTE 355 x 2.4 x 25 mm	30,8
4	DISCO DE CORTE 350 x 3 x 25	24,64
1	DISCO DE CORTE PARA HORMIGON	2,91
2	DISCO DE DESBASTE DE METAL 115 x 6 x 22	3
2	LIJA DE AGUA 180	0,66
16	ELECTRODO 6011 1/8"	35,2
7	ANGULO HN 2 X 2" X 6MM X 6M	277,56

2	ANGULO HN 3 X 3" X 6MM X 6M	153,2
1	CINTA DUCTO PLASTIFICADA- ROLLO	14,81
1	CINTA AISLANTE No.33- ROLLO	3,11
6	LANA MINERAL DE ROCA 30 MM DE ESPESOR X 8 METROS DE LARGO Y 1 M DE ANCHO (ROLLO)	459,9
1	PINTURA ALUMINIO ALTA TEMPERATURA 400°C	98
7	CODO SOLDABLE DE 2" X 90° CEDULA 40	14,21
30	TUBO NEGRO 2" X 6 MTS. CEDULA 40	243,9
2	CODO PVC DE 6" X 90°	21
1	TUBO PVC DE 1/2" X 6 METROS	6,45
1	TEE PVC DE 6 "	12
15	AMARRAS PLASTICAS PEQUEÑAS #10	1,5
2	CAJA DE CONEXION METALICA DE 40 x 30 x 20	60,2
3	ABRAZADERA GALV. "U" PARA TUBO DE 1"	6,72
17	ABRAZADERA GALV. "U" PARA TUBO DE 1 1/2"	38,08
12	ABRAZADERA GALV. "U" PARA TUBO DE 2"	34,68
1	ABRAZADERA INDUSTRIAL 62-67MM	2,47
33	ABRAZADERA TIPO "U" DE 4" EN VARILLA DE 3/8"	330
12	ABRAZADERA TIPO "U" PARA TUBO DE 1 1/2"	
10	ACOPLE UNIVERSAL ACERO 1" Y TUERCAS	5
4	BRIDA PARA SOLDAR WN ANSI 150 RF ASTM 105 DE 2"	32,4
26	BRIDA CON 4 PERFORACIONES DE 1" x 150	83,98
35	CODO SOLDABLE DE 1" x 90 CEDULA 40	28,7
61	CODO SOLDABLE C-40 DE 1 1/2 x 90	72,59
4	CODO SOLDABLE DE 3" x 90 CEDULA 40	17,52
16	CODO HN ROSC. 2" x 90°	55,68
4	CODO HG 2"	6,16
6	CODO HN DE 1" X 90°	8,7
2	CODO HN 1 1/2" X 45°	2,65
1	CODO HN 1 1/2" X 90°	1,61
1	NEPLO HG 2 x 10CM	2,61
1	REDUCCION HG 3/4 X 1/2	0,41
1	REDUCCION PARA SOLDAR DE 3" a 2" HN	3,53

1	REDUCCION ROSCADA HN 2" a 1 1/2"	3,54
2	REDUCCION HN 1 1/2 a 1"	4,6
4	REDUCCION SOLDABLE 1 1/2 A 1" CEDULA 40	8
2	REDUCCION ACERO SOLDABLE DE 3/4 A 1/2 CED 40	0,8
4	REDUCCION CONCENTRICA/SOLDABLE C40 DE 1 1/2" A 3/4"	3,8
1	TUBO HN 3" X 5.2mm X 6.4m	97,58
17	TUBO PARA VAPOR 1 1/2" X 6M CEDULA 40	603,56
38	TUBO ACERO 1" X 6 MT, CEDULA 40	270,8
1	TUBO ACERO 1/2" X 6M, CED 40	15
4	TUBO CUADRADO 30 X 30 X 1.5MM X 6M	63,62
2	TUBO SOLDABLE 2" X 6M, CEDULA 40	92,92
1	TEE ACERO SOLDABLE 1/2", E=5/32"	0,86
10	TEE SOLDABLE 1"	22,2
4	TEE ACERO SOLDABLE 1", E=1/4"	16,48
1	UNION CONDUIT NPT 1"	0,21
2	UNION CONDUIT NPT 1/2"	0,8
2	UNION HG 2"	1,8
3	UNION HG DE 1"	1,02
1	UNION HN ROSCADA DE 1" CEDULA 40	6,35
3	UNION HN ROSCADA DE ¼	6,03
4	UNION HN ROSCADA ¾	16
4	UNIVERSAL HG 2"	40,24
13	UNIVERSAL HN 2"	114,01
83	PLANCHA DE ALUMINIO CORRUGADO 0.25 mm	
4	PLANCHA DE TOOL GALVANIZADO 122 X 244CM X 2MM	284,96
8	TABLERO TRIPLEX DE 15MM	198,32
7	PLASTICO C/NEGRO	10,57
1	RETAZOS – TRAPOS	2,3
1	SIERRA SANDFLEX	1,5
1	ANTIADHERENTE DE NIQUEL ALTA TEMPERATURA (2400°F)	8
1	PEGA PARA TUBO PVC (PEQUEÑA)	0,65
7	TIZA DE CERA, PARA METALES	0,98
18	TEFLON- ROLLO	3,6

6	DESENGRASANTE INDUSTRIAL (BH-38)	84,66
2	CEMENTO GRIS	11,5
4	CEMENTO DE CONTACTO 1/24 (AFRICANO) - TARRO	12
1	BROCA HSS 9	0,52
5	REDUCCION DE 2 A 1"	25
1	TEE SOLDABLE, VARIAS MEDIDAS	5
1	CINTA DE EMBALAJE	1,29
1	PEGAMENTO EPOXICO 4 MINUTOS	
1	OVEROL TYVEK DESECHABLE	6,05
13	GUANTE DE CUERO –CORTOS	21,84
2	GUANTE DE HILO CON PUNTOS DE NEOPRENO	3,8
7	GUANTE DE NITRILO	23,1
4	MASCARILLA DESECHABLE PARA POLVOS	11,28
2	VIDRIOS FILTROS PARA SOLDAR (VIDRIOS NEGROS)	1
	TOTAL	7219,13

Tabla 9.1: Materiales utilizados en la implementación del proyecto

Fuente: Bodega Central Guangopolo

Durante el período de construcción y montaje existieron ciertos trabajos que fueron encargados a terceros, en la siguiente tabla se detallan estos trabajos y sus costos.

TRABAJOS REALIZADOS POR TERCEROS	Costo \$
Excavación y fundición de canales	1320
Fabricación de rejillas de canales	1000
Pruebas de soldadura TECOM	1100
TOTAL	3420

Tabla 9.2: Trabajos contratados por parte de la Central a terceros.

Fuente: Proyectos Central Guangopolo

En la siguiente tabla se detallan los costos de mano de obra y equipos nuevos ocupados en el proyecto.

EQUIPOS Y MANO DE OBRA	Costo \$
Bomba de desplazamiento positivo	2700
Mano de obra en general	2600
TOTAL	5300

Tabla 9.3: Mano de obra y Equipos nuevos adquiridos.

Fuente: Proyectos Central Guangopolo

Con la sumatoria de los tres rubros anteriores se obtiene la inversión total realizada por parte de la CELEC Termopichincha S.A. en nuestro proyecto. En la siguiente tabla se detalla la inversión total.

TIPO DE INVERSION	Costo \$
Materiales	7219,13
Trabajos por terceros	3420
Equipo y mano de obra	5300
TOTAL	15939,13

Tabla 9.4: Inversión total.

9.2 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.

Para determinar el tiempo de recuperación (TR) de la inversión aplicaremos la siguiente expresión:

$$TR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}_\text{mensual}}$$

Ecuación 9.1: TR Tiempo de recuperación (meses).

Para el cálculo del ahorro mensual tenemos que, una vez a la semana se llena de cieno la fosa de rebosamiento, por lo tanto se recuperarán (1500 litros / 398,8 galones) efectivos de cieno de los (3000 litros / 797.6 galones) de capacidad de la fosa, semanalmente para su incineración, a un costo de 54 ctvs. el galón, por concepto de transporte son 11 ctvs. Y 43 ctvs por combustible en sí. Además una vez al mes se contrataba un tanquero para evacuar el cieno de la fosa y las piscinas, a un costo de 3000 dólares por cada 5000 galones de cieno, Suponiendo un caso desfavorable de que mensualmente se evacuen solo 2500 galones tendríamos la siguiente tabla.

AHORRO MENSUAL	Costo \$
Recuperación de combustible	857,14
Ahorro en evacuación (Tanquero)	1500
TOTAL	2357,143

Tabla 9.5: Ahorro mensual, caso más desfavorable.

Aplicado la Ecuación 9,1 tenemos:

$$TR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorromensual}} = \frac{15939,13}{2357,143} = 6,76 \quad \text{Meses.}$$

El tiempo de recuperación estimado es de **6 meses y 23 días**, a partir del momento en que el sistema entró en funcionamiento, el día viernes 3 de diciembre del 2010.

9.3 CÁLCULO DEL VAN, TIR Y ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO.³³

³³ <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>

Según datos del Banco Central del Ecuador, se ha determinado que la tasa de interés activa promedio se encuentra en un 17%. Este valor será la tasa de descuento a ser tomada en cuenta para calcular la TIR y el VAN.

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

El VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FNC}{(1+K)^t} - I_0$$

Ecuación 9.2: VAN (Valor actual neto).

Donde:

FNC = Flujo neto de caja

K = Tasa de interés

Io = Inversión inicial

t = Periodo en años

Como se puede observar, para este caso es necesario obtener el valor del flujo neto de caja. Este será calculado de la siguiente forma:

$$FNC = \frac{Ahorro\text{anual}}{(1+K)^t}$$

Ecuación 9.3: FNC Flujo neto de caja.

Aplicado la Ecuación 9,3 tenemos:

$$FNC = \frac{Ahorro\text{anual}}{(1+K)^t} = \frac{2357.143*12}{(1+0,17)^1} = 24175,82$$

Ahora, este valor será reemplazado en la ecuación del VAN para un período de un año.

$$VAN = \frac{FNC}{(1+K)^t} - I_o = \frac{24175,82}{(1+0,17)^1} - 15939,13 = 4723,97$$

Como $VAN > 0$ el proyecto es rentable y es aceptado. Además hay que tomar en cuenta que el período de recuperación del capital es relativamente corto.

La TIR o Tasa Interna de Retorno por sus siglas, puede ser definida como la tasa de interés que iguala el valor presente de los flujos de efectivo esperados a futuro, o de los ingresos. Para este caso está directamente relacionada con el ahorro que genera el sistema implementado con la inversión inicial del proyecto.

La TIR se puede calcular de la siguiente forma:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FNC}{(1+TIR)^t} - I_o$$

Ecuación 9.4: Ecuación general de la TIR.

Como estos cálculos se están realizando apenas para el primer año de funcionamiento del sistema, la ecuación queda de la siguiente forma.

$$TIR = \left[\frac{FNC}{I_o} - 1 \right] * 100$$

Ecuación 9.5: La TIR para primer año de funcionamiento.

Reemplazando los datos en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$TIR = \left[\frac{FNC}{I_o} - 1 \right] * 100 = \left[\frac{24175,82}{15939,13} - 1 \right] * 100 = 51,68\%$$

Como la TIR es mucho mayor que la Tasa de Interés Activa, el proyecto es muy rentable.

.CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1 CONCLUSIONES

- El calentamiento del cieno de 19 a 50 °C, disminuye sustancialmente su viscosidad de 4536, 55 a 176, 04 cSt, lo que permite bombearlo con un equipo de 5 HP, mucho menor a los 30 HP que se necesitarían si no se lo calentara.
- El ahorro mensual generado con la implementación de este sistema es de USD 2357.13 y el tiempo de recuperación de la inversión es de 6 meses y 23 días.
- El porcentaje en volumen, de agua en la fosa de rebosamiento varía entre 10 a 25 % dependiendo de las condiciones climáticas, debido a que existen desagües de lluvia encauzados hacia las piscinas de decantación.
- La presión dentro del serpentín de la fosa puede variar entre 4.5 y 3 bar dependiendo de la utilización de vapor dentro de la central, mientras que el tiempo de calentamiento será de 45 min a 90 min.
- La implementación de un sistema de calefacción de vapor es costosa, salvo en los casos de disponibilidades altas de vapor previas a la construcción, como lo es este sistema.

10.2 RECOMENDACIONES

- Recomendamos la implementación de un sistema de recolección de condensados a la salida de las trampas de vapor, lo que permitiría optimizar aún más los recursos en la Central Guangopolo.
- Realizar proceso de recirculación entre la fosa de rebosamiento y piscina1 para eliminar exceso de agua en la fosa.
- Automatizar el sistema eliminaría el riesgo de derrames por eventuales errores humanos, además que optimizaría el tiempo de ejecución.
- Recomendamos reencauzar las aguas lluvias que fugan hacia las piscinas de decantación.

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA

- Tubos para vapor y su dimensionamiento: Kern Donald Q “Procesos de Transferencia de Calor” Editorial continental S.A de C.V México (1984)
- Mecánica de Fluidos Aplicada, 4 ed., de Robert L. Mott. Teoría de bombeo
- Teoría de espesor de aislamiento extraído de: Artículo de Aislamiento por Jose P. Monteagudo Yanes, José j. Pérez Landín y Eddy Guerra Fernández. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cienfuegos (Cuba) OCTUBRE 1998
- Teoría de la convección extraído de: Fundamentos de Transferencia de Calor 4 ed, por Frank P. Incropera y David P DeWitt / School of Mechanical Engineering of Purdue University/ Editado en Monterrey México 1999.
- C. Naranjo. Procesos de manufactura, ESPE, Quito 1997.
- Manual de operación técnica de Centrales Termoeléctricas de CELEC Termopichincha/ 2009.
- Tesis consultada: diseño e instalación de los sistemas de alimentación de: combustible, aceite, vapor, aire, agua, montaje y puesta en operación de una unidad termoeléctrica de 1.9 mw. En la central de **Guangopolo Termopichincha. Ingeniero Javier Lasluiza Navarrete, Agosto 2006.**
- <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/dimenstubvap.doc>
- http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termoestatica/ap05_dilatacion.php
- <http://www.scribd.com/doc/7773622/Dilatacion-Lineal-de-solidos>
- http://www.steamcontrol.com/index_docum_trampas.html
- http://www.angelfire.com/sk3/todoarchivos0/archivos/Circuitos_de_Vapor_eficientes.pdf
- <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/108spanish.pdf>
- <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>

ANEXO A

PLANOS

ANEXO B

MEMORIAS

DE

CÁLCULO

SELECCION DE DIAMETRO PARA TUBERIA VAPOR

Tenemos:

Vapor Saturado de 50 a 600 psig

Por lo tanto tendremos velocidad v de 6000 a 10000 ppm
Según Capitulo V (Marco teórico).

Velocidad de flujo

$$v := 6000 \text{ ppm}$$

Flujo de masa de vapor W

$$W := 195 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \quad \text{Dato obtenido Termopichincha SA}$$

$$W := W \cdot 2.2$$

$$W = 429 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \quad \text{Conversión}$$

Presión en la línea principal de vapor

$$p := 7 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{Dato obtenido Termopichincha SA}$$

$$p := 99.56 \text{ psi} \quad \text{Conversión}$$

DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA

Ecuación 5.1 del Capítulo V (Marco Teórico)

$$d := \left[\frac{1020 \left(\frac{W}{v} \right)}{p^{0.938}} \right]^{0.5}$$

$$d = 0.987 \text{ pulg}$$

Usaremos tubería de diámetro 1 pulg

DETERMINACION DEL ESPESOR DE TUBERIA

La presión interna de trabajo en la línea será siempre menor a 100 psi

En el mercado se cuenta con tubos Cedula 40 y 80, el espesor del tubo de $\phi 1"$ CED 40 es 3.38 mm, mientras que el del tubo de $\phi 1"$ CED 80 es 4.55 mm, y no se desenvolverá en un ambiente corrosivo.

En los catálogos DIPAC de tubería para vapor, muestra claramente que la presión de prueba para el tubo de $\phi 1"$ CED 40 es 700 psi y para el tubo de $\phi 1"$ CED 80 es 850 psi. Colocar un tubo CED 80 sería sobre dimensionar el sistema. Por lo tanto seleccionamos tubo de vapor de Acero negro de $\phi 1$ pulg CED 40.

CALCULO DE ESPESOR DE AISLAMIENTO Y DISTANCIA DE CONDENSAMIENTO

Datos generales

$t_p := 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura a la que debe elevarse el Cieno

$t_{ac} := 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura de la pared externa del tubo acompañante de vapor

$t_o := 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ Temperatura Ambiente (Extremo)

$d_2 := 2.37 \text{ pulg}$ Diámetro exterior de la tubería actual

$$d_2 := d_2 \cdot 25.4$$

$$d_2 = 60.198$$

$$d_2 := \frac{d_2}{1000} \quad \text{Conversión de unidades}$$

$$d_2 = 0.06 \text{ m}$$

$d_{ac} := 1.31 \text{ pulg}$ Diámetro de la tubería Acompañante de Vapor

$$d_{ac} := d_{ac} \cdot 25.4$$

$$d_{ac} = 33.274$$

$$d_{ac} := \frac{d_{ac}}{1000} \quad \text{Conversión de unidades}$$

$$d_{ac} = 0.033 \text{ m}$$

Calculo de ángulos en los tubos

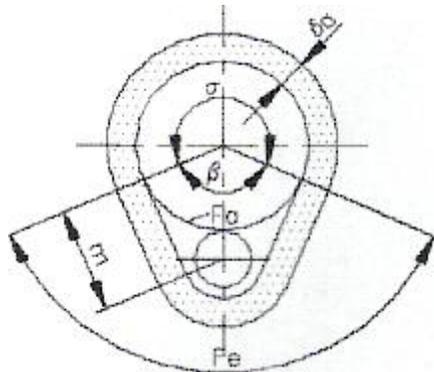


Figura 5.5

$$x := \frac{d2 - dac - 0.02}{d2 + dac} \quad \text{Según Tabla 5.5}$$

$$x = 0.074$$

$$\beta := \frac{\arccos(x) \cdot 180}{\pi}$$

$$\beta = 85.752^\circ$$

$$\theta := 360 - \beta \quad \text{Ángulos complementarios}$$

$$\theta = 274.248$$

CALCULOS PARA OBTENER TEMPERATURA EN LA CAVIDAD TERMOAISLADA t1

Tubería acompañante

$$F_{ac} := dac \cdot \pi \quad \text{Superficie de tubería acompañante, de vapor por unidad de longitud}$$

$$F_{ac} = 0.105 \frac{m^2}{m} \quad \text{Según tabla 5.6}$$

$$\alpha_{ac} := 21 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad \text{Coeficiente } \alpha_{ac} \text{ en Tabla 5.2}$$

$$R_{ac} := \frac{1}{\alpha_{ac}} \quad \text{Resistencia térmica desde tubería de vapor al aire dentro de la cavidad termoaislada.}$$

$$R_{ac} = 0.048 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

Tubo principal, zona en contacto con el Aire Caliente

$$F_a := \left(\frac{\beta}{360} \right) \cdot \pi \cdot d2 \quad \text{Superficie de cálculo de tubería principal por unidad de longitud}$$

$$Fa = 0.045 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \quad \text{Según tabla 5.6}$$

$$\alpha_a := 13.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{Coeficiente } \alpha_{ac} \text{ en Tabla 5.3}$$

$$Ra := \frac{1}{\alpha_a} \quad \text{Resistencia térmica desde el aire dentro de la cavidad termoaislada a la tubería calentada.}$$

$$Ra = 0.074 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

Tubería principal, zona en contacto con el aislamiento

$$\delta_a := 0.73 \text{ pulgadas} \quad \text{Espesor de Aislamiento}$$

$$\delta_a := \delta_a \cdot 25.4 \quad \text{Valor iterado}$$

$$\delta_a := \frac{\delta_a}{1000}$$

$$\delta_a = 0.019 \text{ m}$$

$$\alpha_1 := 12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{Coeficiente de transmisión superficial del calor desde el aire en la cavidad termoaislada a la superficie interior de la misma.}$$

$$\alpha_2 := 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{Coeficiente de transmisión superficial del calor desde la superficie exterior del aislamiento hacia el exterior. Velocidad del viento, 10 m/s \quad Tabla 5.4}$$

$$m := \sqrt{(d_2 - 0.01) \cdot (d_{ac} - 0.01)} \quad \text{Magnitud Auxiliar m para cálculo de superficie Fe. \quad Según Tabla 5.6}$$

$$m = 0.034 \frac{\text{m}^2}{\text{m}}$$

$$Fe := \left(\frac{\beta}{360} \right) \cdot \pi \cdot (d_{ac} + 2 \cdot \delta_a + 0.02) + 2 \cdot m$$

$Fe = 0.136 \frac{m^2}{m}$ Área de la parte restante de la superficie de la insulación por unidad de longitud. Según tabla 5.6.

$\lambda_a := 0.08 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ Conductividad de un Aislante de calidad media - baja

$Re := \left(\frac{1}{\alpha_1} \right) + \left(\frac{\delta_a}{\lambda_a} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_2} \right)$ Resistencia térmica total desde el aire dentro de la cavidad termoaislada a través de la insulación y hacia el Aire exterior.

$Re = 0.355 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$ Ec 5.18

Temperatura dentro de la Cavidad Termoaislada t1

$$t1 := \frac{\frac{Fac}{Rac} \cdot tac + \frac{Fa}{Ra} \cdot tp + 1.25 \cdot \frac{Fe}{Re} \cdot to}{\frac{Fac}{Rac} + \frac{Fa}{Ra} + 1.25 \cdot \frac{Fe}{Re}} \quad Ec 5.17$$

$t1 = 78.776 \text{ } ^\circ C$ Temperatura dentro de la cavidad termoaislada

Relación ln(da/d2)

$da := d2 + 2 \cdot \delta_a$ Diámetro de la Tubería principal aislada

$da = 0.097 \text{ m}$

$$Y := 2 \cdot \lambda_a \cdot \pi \cdot \left[\frac{\theta}{\beta} \cdot \frac{1.25 \cdot (tp - to)}{[\alpha_a \cdot \pi \cdot d2 \cdot (t1 - to)]} + \frac{1}{\pi \cdot da \cdot \alpha_2} \right] \quad Ec 5.11$$

$Y = 0.48$

$$\ln\left(\frac{da}{d2}\right) = 0.48$$

Comparación de Relaciones

"Deben ser iguales"

CALCULO DE DISTANCIA DE CONDENSACION TOTAL DEL VAPOR

$$G_v := 75 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \quad \text{Flujo de Vapor}$$

$$r := 2086 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad \begin{array}{l} \text{A presión de 0.6 MPa o 6 Kg para Cambio de fase} \\ \text{Según Tablas de hfg de Cengel pág. 730} \end{array}$$

$$L := \frac{0.2r G_v}{\alpha_{ac} \cdot (t_{ac} - t_1) \cdot \text{Fac}} = 671.595 \quad \text{m} \quad \text{Ec 5.20}$$

CONVECCION LIBRE DEL TUBO DE VAPOR AL CIENO DE LA FOSA DE REBOSAMIENTO

Datos del problema

$T_c := 18$	C	Temperatura del Cieno
$T_s := 100$	C	Temperatura en la superficie de la tubería
$D_t := 1.9$	plg	Diámetro de la tubería
$D_{t1} := D_t \cdot \frac{25.4}{1000}$		Conversión a metros
$D_{t1} = 0.048$	m	
$\xi := 0.22$		Emisividad del acero ligeramente oxidado

PROPIEDADES DEL CIENO

$k := 139 \cdot 10^{-3}$	$\frac{W}{m \cdot K}$	Conductividad térmica
$\nu := 176.04 \cdot 10^{-6}$	$\frac{m^2}{s}$	Viscosidad cinemática
$\alpha := 0.779 \cdot 10^{-7}$	$\frac{m}{s}$	Difusividad térmica
$Pr := 793$		Numero de Prandtl
$\beta := 2.725 \cdot 10^{-3}$	K^{-1}	Coefficiente de expansión térmica
$C_p := 2.076$	$\frac{KJ}{Kg \cdot K}$	A Temperatura media entre 18 a 50
$\rho := 859.9$	$\frac{Kg}{m^3}$	Densidad del cieno

CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCION

$$g_r := 9.807 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{RaD} := \frac{g_r}{\nu \cdot \alpha} \cdot \beta \cdot (T_s - T_c) \cdot \text{Dt1}^3 \quad (\text{Ec 5.27})$$

$$\text{RaD} = 1.796 \times 10^7$$

$$\text{NuD} := \left[0.60 + \frac{0.387 \left(\text{RaD}^{\frac{1}{6}} \right)}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{\text{Pr}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (\text{Ec 5.31})$$

$$\text{NuD} = 46.673 \quad \text{Numero de Nusselt}$$

$$h := \frac{k \cdot \text{NuD}}{\text{Dt1}} \quad (\text{Ec 5.30})$$

$$h = 134.43 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \text{Coeficiente de convección}$$

La pérdida de calor es por unidad de longitud

$$\sigma := 5.670 \cdot 10^{-8} \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \quad \text{Constante de Stefan-Boltzman}$$

$$q_{\text{con}} := h \cdot \pi \cdot \text{Dt1} \cdot (T_s - T_c) \quad (\text{Ec 5.28})$$

$$q_{\text{rad}} := \xi \cdot \pi \cdot \text{Dt1} \cdot \sigma \cdot \left[(T_s + 273)^4 - (T_c + 273)^4 \right]$$

Calor perdido por unidad de longitud

$$Q := q_{\text{con}} + q_{\text{rad}}$$
$$Q = 1.694 \times 10^3 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}} \quad \text{Calor por unidad de longitud}$$

Calor necesario para calentar el cieno de 18 a 50 grados dentro de la fosa

Volumen del Cieno

Dimensiones de la fosa

$$\text{ancho} := 0.92 \quad \text{m}$$

$$\text{largo} := 1.83 \quad \text{m}$$

$$\text{alt} := 1.5 \quad \text{m}$$

$$\text{Vol} := \text{ancho} \cdot \text{largo} \cdot \text{alt}$$

$$\text{Vol} = 2.525 \quad \text{m}^3$$

Masa del cieno

$$\text{masa} := \rho \cdot \text{Vol}$$

$$\text{masa} = 2.172 \times 10^3 \quad \text{Kg}$$

Calor requerido

$$T_2 := 50 \quad \text{Temperatura final del cieno}$$

$$Q_1 := \text{masa} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_c) \quad \text{Ec general de calor.}$$

$$Q_1 = 1.443 \times 10^5 \quad \text{KJ}$$

$$Q_1 := \frac{Q_1}{3.6}$$

$$Q_1 = 4.007 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Tiempo deseado para el calentamiento

$$t := 3 \text{ horas}$$

Longitud de transferencia

$$L := \frac{Q1}{Q \cdot t}$$

$$L = 7.884 \text{ m}$$

Área de transferencia

$$\text{Area} := \pi \cdot Dt1 \cdot L$$

$$\text{Area} = 1.195 \text{ m}^2$$

RESUMEN

Se necesita 7.884 metros de tubo de 1 1/2 pulgada de diámetro CED 40

CONVECCION LIBRE DEL TUBO DE VAPOR AL CIENO EN EL TANQUE

API 2

Datos del problema

$T_c := 20 \text{ C}$ Temperatura del Cieno

$T_s := 100 \text{ C}$ Temperatura en la superficie de la tubería

$D_t := 1.9 \text{ pl\xi}$ Diámetro exterior de la tubería de 1 1/2 "

$$D_{t1} := D_t \cdot \frac{25.4}{1000}$$

$D_{t1} = 0.048 \text{ m}$ Diámetro de la tubería

$\xi := 0.22$ Emisividad de acero típico

PROPIEDADES DEL CIENO

$k := 139 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ Conductividad térmica

$\nu := 176.04 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ Viscosidad cinemática

$\alpha := 0.779 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ Difusividad térmica

$Pr := 793$ Numero de Prandtl

$\beta := 2.725 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ Coeficiente de expansión térmica

$C_p := 2.076 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$ a Temperatura media entre 18 a 50

$\rho := 859.9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ Densidad

CALCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCION

$$g_r := 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{RaD} := \frac{g_r}{\nu \cdot \alpha} \cdot \beta \cdot (T_s - T_c) \cdot \text{Dt1}^3 \quad (\text{Ec 5.27})$$

$$\text{RaD} = 1.752 \times 10^7$$

$$\text{NuD} := \left[0.60 + \frac{0.387 \left(\text{RaD}^{\frac{1}{6}} \right)}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{\text{Pr}} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (\text{Ec 5.31})$$

$$\text{NuD} = 46.324 \quad \text{Numero de Nusselt}$$

$$h := \frac{k \cdot \text{NuD}}{\text{Dt1}} \quad (\text{Ec 5.30})$$

$$h = 133.425 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \text{Coeficiente de convección}$$

La pérdida de calor es por unidad de longitud

$$\sigma := 5.670 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \quad \text{Constante de Stefan-Boltzman}$$

$$q_{\text{con}} := h \cdot \pi \cdot \text{Dt1} \cdot (T_s - T_c) \quad \text{Calor por convección (Ec 5.28)}$$

$$q_{\text{rad}} := \xi \cdot \pi \cdot \text{Dt1} \cdot \sigma \cdot \left[(T_s + 273)^4 - (T_c + 273)^4 \right] \quad \text{Calor por Radiación}$$

Calor perdido por unidad de longitud

$$Q := q_{\text{con}} + q_{\text{rad}}$$

$$Q = 1.641 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}} \quad \text{Calor Total Cedido al Cieno por unidad de longitud}$$

Calor necesario para calentar el cieno de 18 a 50 Grados

Volumen del Cieno

$$\text{Ditan} := 7 \text{ m}$$

$$\text{alt} := 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Are} := \frac{\pi}{4} \cdot \text{Ditan}^2$$

$$\text{Vol} := \text{Are} \cdot \text{alt}$$

$$\text{Vol} = 57.727 \text{ m}^3$$

Masa del cieno

$$\text{masa} := \rho \cdot \text{Vol}$$

$$\text{masa} = 4.964 \times 10^4 \text{ Kg}$$

Calor requerido

$$T_2 := 50 \quad \text{Temperatura final del cieno}$$

$$Q_1 := \text{masa} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_c) \quad \text{Ec general de calor}$$

$$Q_1 = 3.092 \times 10^6 \text{ KJ}$$

$$Q_1 := \frac{Q_1}{3.6}$$

$$Q_1 = 8.588 \times 10^5 \text{ W-h}$$

Tiempo deseado para el calentamiento

$$t := 10 \text{ horas}$$

Longitud de transferencia

$$L := \frac{Q1}{Q \cdot t}$$

$$L = 52.332 \text{ m}$$

Área de transferencia

$$\text{Area} := \pi \cdot Dt1 \cdot L$$

$$\text{Area} = 7.934 \text{ m}^2$$

RESUMEN

Se necesita 54.063 metros de tubo de 1 1/2 pulgada de diámetro CED 40

DETERMINACION DE LA CARGA PARA EL SOPORTE DEL SERPENTIN DE DENTRO DE LA FOSA DE REBOSAMIENTO

Fosa de rebosamiento de cieno

$P := 10$ Numero de pasos del serpentín

$L_p := 0.75$ m Longitud de cada paso

$L_e := 2$ m Longitud de todos los entrepasos

$L_t := P \cdot L_p + L_e = 9.5$ m Longitud total del serpentín

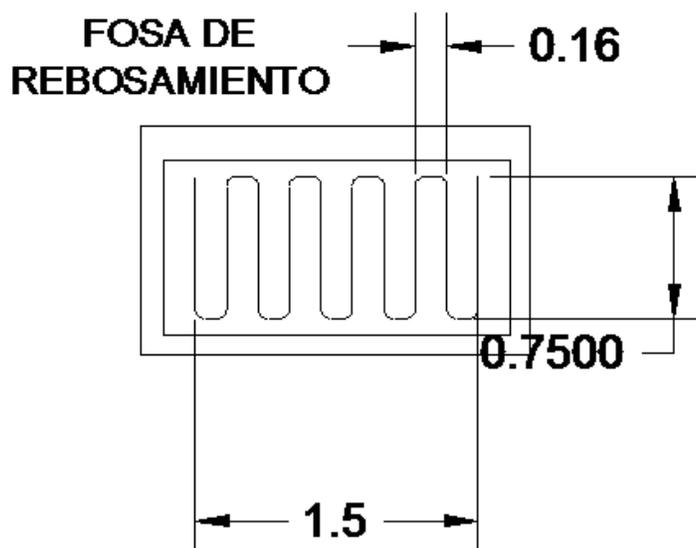
$W := 4.05$ $\frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ Peso del tubo de vapor de 1 1/2 pulgada CED 40, por metro de longitud.

Dato obtenido del catálogo de DIPAC, proveedor directo de Termopichincha

Peso total del serpentín

$W_t := L_t \cdot W = 38.475$ Kg Peso total

DISTRIBUCION DEL SERPENTIN DENTRO DE LA FOSA



El serpentín descansa sobre dos soportes, como en el caso del tanque de almacenamiento, por lo tanto la carga total se divide para dos, y a su vez cada soporte aguantará una carga distribuida.

$$L_s := 1.9 \text{ m} \quad \text{Longitud del soporte}$$

$$C := \frac{W_t}{2} = 19.238 \text{ Kg} \quad \text{Carga que soporta un solo soporte}$$

$$C_d := \frac{C}{L_s} = 12.825 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \quad \text{Carga distribuida por metro de soporte}$$

Determinación de la presión hidrostática ejercida por el cieno sobre la superficie del serpentín

Cuando el tanque se encuentre lleno

$$h := 2 \text{ m} \quad \text{Altura desde el serpentín hasta el espejo del cieno}$$

$$\rho := 859.9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del cieno}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Gravedad}$$

$$p_o := 100000 \quad \text{Presión atmosférica}$$

$$P_h := (\rho \cdot g \cdot h + p_o) = 1.169 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_h := P_h \cdot 0.00014504 = 16.951 \text{ psi} \quad \text{Presión que soporta el Serpentín}$$

DETERMINACION DE LA CARGA PARA EL SOPORTE DEL SERPENTIN DE DENTRO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO API (2)

Tanque de almacenamiento de cieno

$P := 15$ Numero de pasos del serpentín

$L_p := 4 \text{ m}$ Longitud de cada paso

$L_e := 5 \text{ m}$ Longitud de todos los entrepasos

$L_t := P \cdot L_p + L_e = 65 \text{ m}$ Longitud total del serpentín

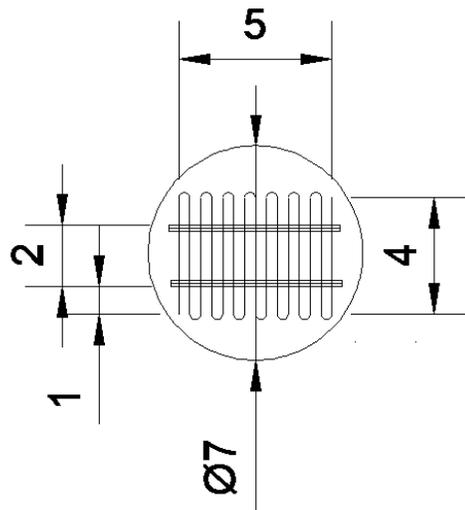
$W := 4.05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ Peso del tubo de vapor de 1 1/2 pulgada CED 40, por metro de longitud.

Dato obtenido del catálogo de DIPAC, proveedor directo de Termopichincha.

Peso total del serpentín

$W_t := L_t \cdot W = 263.25 \text{ Kg}$ Peso total

DISTRIBUCION DEL SERPENTIN DENTRO DEL TANQUE



En la figura se observa que el serpentín descansa sobre dos soportes, por lo tanto la carga total se divide para dos, y a su vez cada soporte aguantará una carga distribuida.

$L_s := 5 \text{ m}$ Longitud del soporte

$C := \frac{W_t}{2} = 131.625 \text{ Kg}$ Carga que soporta un solo soporte

$C_d := \frac{C}{L_s} = 26.325 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ Carga distribuida por metro de soporte

Determinación de la presión hidrostática ejercida por el cieno sobre la superficie del serpentín

Cuando el tanque se encuentre lleno

$h := 5 \text{ m}$ Altura desde el serpentín hasta el espejo del cieno

$\rho := 859.9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ Densidad del cieno

$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Gravedad

$p_o := 100000 \text{ Pa}$ Presión atmosférica

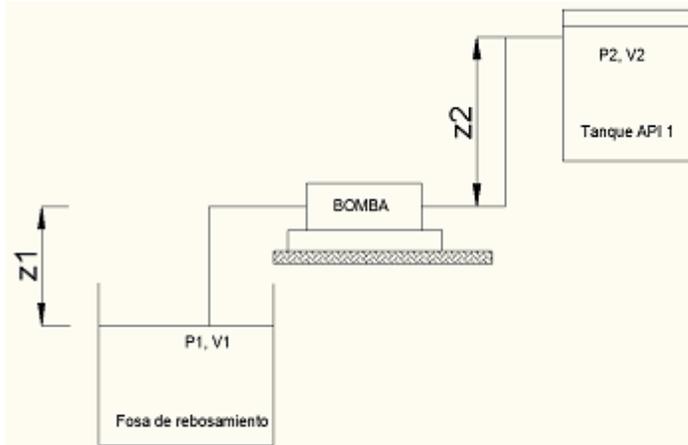
$Ph := (\rho \cdot g \cdot h + p_o) = 1.422 \times 10^5 \text{ Pa}$

$Ph := Ph \cdot 0.00014504 = 20.622 \text{ psi}$ Presión que soporta el Serpentín

DETERMINACION DE PÉRDIDAS Y SELECCION DE BOMBAS DE LA FOSA DE REBOSAMIENTO

Tomando como referencia los puntos tanto en el tanque API 1 y la fosa de rebosamiento, tenemos:

Aplicamos la ecuación general de la energía:



$$\frac{p_1}{\lambda} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_2}{\lambda} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ambos tanques son atmosféricos por lo tanto, $p_1=p_2$, por ende las presiones se anulan.

La velocidad a la salida en la fosa y la entrada en el tanque son sumamente pequeñas por esta razón estas velocidades son despreciables.

Entonces la ecuación simplificada queda de la siguiente manera:

$$z_1 + h_A - h_R - h_L = z_2$$

Puesto que el objetivo es calcular la potencia de la bomba despejamos la cabeza total sobre la bomba:

$$h_A = z_2 - z_1 + h_L$$

Existen cinco componentes de la pérdida de energía total.

La lista incluye los siguientes parámetros.

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

$$h_1 = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida por fricción en la línea de succión

$$h_2 = f \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdidas por válvulas (mariposa, check, esfera, etc.)

$$h_3 = f \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdidas por accesorios (codos, tes, etc.)

$$h_4 = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida por fricción en la línea de descarga

$$h_5 = 1.00 \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida a la salida

Calculamos el número de Reynolds para determinar las pérdidas de fricción en la línea de succión, descarga y las pérdidas menores.

El diámetro de la tubería en la línea de succión y descarga es de 2 pulgadas.

$D := 2$ pulg Diámetro interior de la tubería

$D := \frac{(D \cdot 25.4)}{1000}$ Conversión de unidades

$D = 0.051$ m

$$A := \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Área transversal de la tubería de succión y descarga}$$

$$A = 2.027 \times 10^{-3} \quad \text{m}^2$$

$$Q := 130 \quad \frac{\text{L}}{\text{min}} \quad \text{Rapidez de flujo recomendada de la tabla}$$

5.9 para aceites de uso industrial

$$Q := \frac{Q}{1000 \cdot 60} \quad \text{Conversión de unidades}$$

$$Q = 2.167 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v := \frac{Q}{A} \quad \text{Cálculo de la Velocidad de flujo}$$

$$v = 1.069 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Viscosidad cinemática del Cieno a 50° C datos entregados por el Laboratorio de Termopichincha. Anexo de propiedades físicas

$$\text{visc} := 176.04 \quad \text{Centistoke}$$

$$\text{visc} := 176.04 \cdot 10^{-6} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Conversión de unidades}$$

Cálculo del Número de Reynolds

$$\text{Reynolds} := \frac{v \cdot D}{\text{visc}}$$

$$\text{Reynolds} = 308.48 \quad \text{Flujo Laminar}$$

Calculo del coeficiente de fricción

$$ha2 = 32.868 \quad \text{m}$$

$$f := \frac{64}{\text{Reynolds}}$$

Ecuación 5.46

$$f = 0.207$$

Cálculo de pérdidas en tuberías y accesorios

$$g := 9.81 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gravedad

Perdidas en la línea de succión

$$L := 2.5 \quad \text{m}$$

Longitud de la línea de succión

$$h1 := f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h1 = 0.595 \quad \text{m}$$

Pérdidas por válvulas

Válvulas de globo completamente abierta

$$n := 8$$

Número total de válvulas

$$\left(\frac{L_e}{D} \right) = Le$$

$$Le := 340 \quad \text{m}$$

Valores de la tabla 5.11

$$ha2 := n \cdot f \cdot Le \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$ha2 = 32.868 \text{ m}$$

Válvulas de bola

$$n := 1$$

Número total de válvulas

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 150 \text{ m}$$

Valores de la tabla 5.11

$$hb2 := n \cdot f \cdot Le \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$hb2 = 1.813 \text{ m}$$

$$h2 := ha2 + hb2$$

$$h2 = 34.68 \text{ m}$$

Perdidas en accesorios

Codos de estándar de 90°

$$n := 20$$

Número total de válvulas

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 30 \text{ m}$$

Valores de la tabla 5.11

$$ha3 := n \cdot f \cdot Le \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$h_{a3} = 7.25 \quad \text{m}$$

Te estándar con flujo a través de un tramo

$$n := 4$$

Número total de tés

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 20 \quad \text{m}$$

Valores de la tabla 5.11

$$h_{b3} := n \cdot f \cdot Le \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$h_{b3} = 0.967$$

$$h_3 := h_{a3} + h_{b3}$$

$$h_3 = 8.217 \quad \text{m}$$

Pérdidas en la línea de descarga

$$L := 200 \quad \text{m}$$

Longitud de línea de descarga

$$h_4 := f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$h_4 = 47.574 \quad \text{m}$$

Perdidas en la salida

$$h_5 := 1.0 \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$h_5 = 0.058 \quad \text{m}$$

Cálculo de de hL (perdidas por fricción por parte del sistema)

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

$$hL := (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5)$$

$$hL = 91.124 \quad \text{m}$$

Cálculo de las alturas de succión y descarga

$$z_2 := 6 \quad \text{m} \quad \text{Diferencia de niveles entre la línea de descarga y el punto de succión en el tanque API 1.}$$

$$z_1 := -1 \quad \text{m} \quad \text{Diferencia entre el nivel de cieno en la fosa y línea de succión, esta es una diferencia negativa ya que el nivel de cieno se encuentra por debajo del nivel de succión}$$

Altura o cabeza total sobre la bomba

$$h_A := z_2 - z_1 + hL$$

$$h_A = 98.124 \quad \text{m}$$

Potencia proporcionada por la bomba

$$\gamma := 8.89 \quad \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \quad \text{Peso específico del cieno}$$

$$\gamma := \gamma \cdot 10^3 = 8.89 \times 10^3 \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Potencia Requerida Pr

$$Pr := hA \cdot \gamma \cdot Q$$

Ecuación 5.42

$$Pr = 1.89 \times 10^3 \quad W$$

$$Pr := \frac{Pr}{1000}$$

Conversión de Unidades

$$Pr = 1.89 \quad Kw$$

$$\varepsilon := 0.8$$

Suponiendo eficiencia de la bomba del 80%

$$Pot := \frac{Pr}{\varepsilon} = 2.363 \quad KW$$

$$HP := Pot \cdot \frac{1000}{745.7} = 3.168 \quad HP$$

$$F := 1.5$$

Factor de seguridad

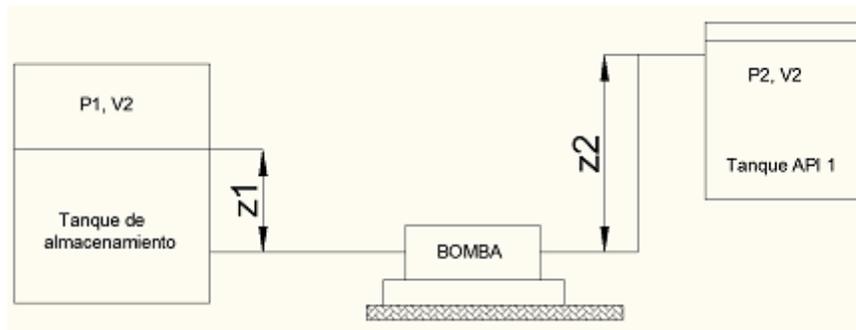
$$HP := F \cdot HP = 4.752 \quad HP$$

DETERMINACION DE PÉRDIDAS Y SELECCION DE BOMBAS

DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CIENO

Tomando como referencia los puntos tanto en el tanque de almacenamiento y el tanque API 1, tenemos:

Aplicamos la ecuación general de la energía:



$$\frac{p_1}{\lambda} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_2}{\lambda} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ambos tanques son atmosféricos por lo tanto, $p_1=p_2$, por ende las presiones se anulan.

La velocidad a la salida en la fosa y la entrada en el tanque son sumamente pequeñas por esta razón estas velocidades son despreciables.

Entonces la ecuación simplificada queda de la siguiente manera:

$$z_1 + h_A - h_R - h_L = z_2$$

Puesto que el objetivo es calcular la potencia de la bomba despejamos la cabeza total sobre la bomba:

$$h_A = z_2 - z_1 + h_L$$

Existen cinco componentes de la pérdida de energía total.

La lista incluye los siguientes parámetros.

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$h_1 = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida a la entrada

$$h_2 = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida por fricción en la línea de succión

$$h_3 = f \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdidas por válvulas (mariposa, check, esfera, etc.)

$$h_4 = f \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdidas por accesorios (codos, tes, etc.)

$$h_5 = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida por fricción en la línea de descarga

$$h_6 = 1.00 \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Perdida a la salida

Calculamos el número de Reynolds para determinar las pérdidas de fricción en la línea de succión, descarga y las perdidas menores.

El diámetro en la línea de succión es de 4 pulgadas

Ds := 4 pulç Diámetro interior de la Tubería de succión

$$D_s := \frac{(D_s \cdot 25.4)}{1000}$$

Conversión de unidades

$$D_s = 0.102 \quad \text{m}$$

$$A := \frac{\pi}{4} D_s^2$$

Área transversal de la tubería de succión

$$A = 8.107 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q := 120 \quad \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Rapidez de flujo recomendada de la tabla 5.9 para aceites de uso industrial

$$Q := \frac{Q}{1000 \cdot 60}$$

Conversión de unidades

$$Q = 2 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v_s := \frac{Q}{A}$$

Cálculo de la Velocidad de flujo

$$v_s = 0.247 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Viscosidad cinemática del Cieno a 50° C datos entregados por el Laboratorio de Termopichincha. Ver Anexo de propiedades físicas

$$\text{visc} := 176.04 \quad \text{Centiestokes}$$

$$\text{visc} := 176.04 \cdot 10^{-6} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Conversión de unidades

$$\text{Reynolds} := \frac{v_s \cdot D_s}{\text{visc}}$$

Cálculo del Número de Reynolds

$$\text{Reynolds} = 142.375 \quad \text{Flujo Laminar}$$

Calculo del coeficiente de fricción

$$f_s := \frac{64}{\text{Reynolds}}$$

Ecuación 5.46

$$f_s = 0.45$$

Cálculo de pérdidas en tubería y accesorios

$$g := 9.81 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gravedad

Perdida en la entrada

$$K := 0.5$$

Coefficiente de entrada

$$h_1 := K \cdot \left(\frac{v_s^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_1 = 1.551 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

Perdidas en la línea de succión

$$L := 2.5 \quad \text{m}$$

Longitud de línea de succión

$$h_2 := f_s \cdot \left(\frac{L}{D_s} \right) \cdot \left(\frac{v_s^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_2 = 0.034 \quad \text{m}$$

El diámetro en la línea de descarga es de 2 pulgadas

$Dd := 2$ pulç Diámetro interior de la Tubería de succión y descarga

$Dd := \frac{(Dd \cdot 25.4)}{1000}$ Conversión de unidades

$Dd = 0.051$ m

$A := \frac{\pi \cdot Dd^2}{4}$ Área transversal de la tubería de descarga

$A = 2.027 \times 10^{-3}$ m²

$vd := \frac{Q}{A}$ Cálculo de la Velocidad de flujo

$vd = 0.987 \frac{m}{s}$

$visc := 176.04$ CentiStoke:

$visc := 176.04 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ Conversión de unidades

$Reynolds := \frac{vd \cdot Dd}{visc}$ Cálculo del Número de Reynolds

$Reynolds = 284.751$ Flujo Laminar

Calculo del coeficiente de fricción

$fd := \frac{64}{Reynolds}$ Ecuación 5.46

$fd = 0.225$

Perdidas por válvulas

Válvulas de globo completamente abiertas

$$n := 7$$

Número total de válvulas

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 340 \quad \text{m}$$

Valores de la tabla 5.1

$$ha3 := n \cdot fd \cdot Le \cdot \left(\frac{vd^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$ha3 = 26.547 \quad \text{m}$$

Válvulas de bola

$$n := 2$$

Número total de válvulas

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 150 \quad \text{m}$$

Valores de la tabla 5.1

$$hb3 := n \cdot fd \cdot Le \cdot \left(\frac{vd^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$hb3 = 3.346 \quad \text{m}$$

$$h3 := ha3 + hb3$$

$$h3 = 29.893 \quad \text{m}$$

Perdidas por accesorios

Codos de estándar de 90°

$$n := 20$$

Número total de codos

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 30 \quad \text{m}$$

Valores de la tabla 5.1

$$ha4 := n \cdot fd \cdot Le \cdot \left(\frac{vd^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$ha4 = 6.693 \quad \text{m}$$

Te estándar

$$n := 4$$

Número total de tes

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = Le$$

$$Le := 20$$

Valores de la tabla 5.1

$$hb4 := n \cdot fd \cdot Le \cdot \left(\frac{vd^2}{2 \cdot g}\right)$$

$$hb4 = 0.892$$

$$h4 := ha4 + hb4$$

$$h4 = 7.585 \quad \text{m}$$

Perdidas en la línea de descarga

$$L := 250 \text{ m}$$

Longitud línea de descarga

$$h_5 := f_d \cdot \left(\frac{L}{D_d} \right) \cdot \left(\frac{v_d^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_5 = 54.893 \text{ m}$$

Perdidas en la salida

$$h_6 := 1.0 \cdot \left(\frac{v_d^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_6 = 0.05 \text{ m}$$

Calculo de hL

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$h_L := (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6)$$

$$h_L = 92.457 \text{ m}$$

Calculo de las alturas de succión y descarga

$$z_2 := 12 \text{ m} \quad \text{Altura entre la línea de descarga al punto de descarga en el tanque API 1}$$

$$z_1 := 2 \text{ m} \quad \text{Altura entre el nivel de cieno en el tanque a la línea de succión, esta es una diferencia positiva ya que el nivel de cieno se encuentra por encima del nivel de succión}$$

Altura o cabeza total sobre la bomba

$$h_A := z_2 - z_1 + h_L$$

$$h_A = 102.457 \text{ m}$$

Potencia proporcionada por la bomba

$$\gamma := 8.89 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$$

Peso específico del cieno

$$\gamma := \gamma \cdot 10^3 = 8.89 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Potencia Requerida Pr

$$Pr := h_A \cdot \gamma \cdot Q$$

$$Pr = 1.822 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Pr := \frac{Pr}{1000}$$

$$Pr = 1.822 \text{ Kw}$$

$$\varepsilon := 0.8 \quad \text{Suponiendo eficiencia de la bomba del 80\%}$$

$$\text{Pot} := \frac{Pr}{\varepsilon} = 2.277 \text{ KW}$$

$$\text{HP} := \text{Pot} \cdot \frac{1000}{745.7} = 3.054 \text{ HP}$$

$$F = 1.5 \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$\text{HP} := F \cdot \text{HP} = 4.58 \text{ HP}$$

CELEC-TERMOPICHINCHA
CENTRAL TERMoeLECTRICA GUANGOLOPO
Laboratorio Químico

Guangopolo, 20 de agosto del 2009

TLR-I-393

TIPO DE MUESTRA	CIENO
FECHA/HORA DE MUESTREO	11 de agosto de 2009/16h00
MUESTREADO POR	Armando Maiguashca/Juan Vallejo
REALIZADO POR	Freddy Farinango
SOLICITADO POR	Ing. Eduardo Aguilera

RESULTADOS

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA
Viscosidad a 19 °C	cSt	4536.55
Viscosidad a 50 °C		176.04
Densidad 19 °C	Kg/L	0.9436
Densidad 50 °C		0.9249
Punto de inflamación	°C	140.5
Poder calórico	Kcal/Kg	9754.06

ANEXO C

INFORMES DE

INSPECCION Y

SOLDADURA

ANEXO D

FICHAS

TECNICAS

ANEXO E

MANUAL DE

USUARIO

INTRODUCCIÓN

La importancia de este proyecto radica en que se hace posible la utilización del Cieno que se desechaba en gran cantidad, y el ahorro producido por concepto de evitar la contratación del tanquero para la evacuación y disposición final. Si se recupera alrededor del 25%, en volumen de Bunker, en relación al volumen total de cieno de desecho, esto significa un ahorro mensual de alrededor de US\$ 2357,2 para la Central Guangopolo si tomamos en cuenta que el galón de Bunker proveniente de Shushufindi, tiene un costo de 0.43 \$ y su transportación son 0.11 \$. Además se reduce el impacto ambiental gracias a que se disminuye la producción de Cieno en la planta..

OBJETIVOS DEL SISTEMA

- Recuperación del cieno contenido en las piscinas de decantación y retorno mediante bombeo hacia el tanque API1.
- Retorno mediante bombeo hacia el tanque API1, del cieno almacenado dentro del Tanque API2.
- Mantener por encima de 50°C la temperatura del combustible en las líneas durante el proceso de bombeo.
- Extracción eventual del cieno del Tanque API2 hacia tanqueros en casos extraordinarios o de mantenimiento.

GUÍA DE USO

Ver diagrama de circuito en planos.

Ver implantación en planos

1. Encendido del sistema:

Abrir la válvula surtidora de vapor ubicada detrás del tanque API1. El vapor sale a 5 bar y 145°C. *Ver la ubicación en el plano de implantación.*

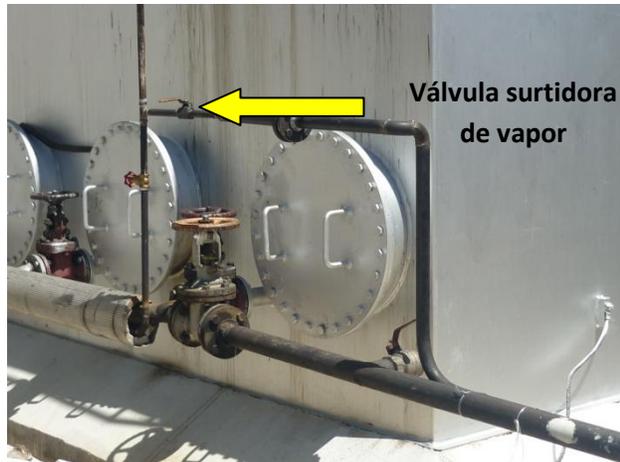


Imagen 1. Ubicación de la válvula surtidora de vapor.

2. Purgado del sistema:

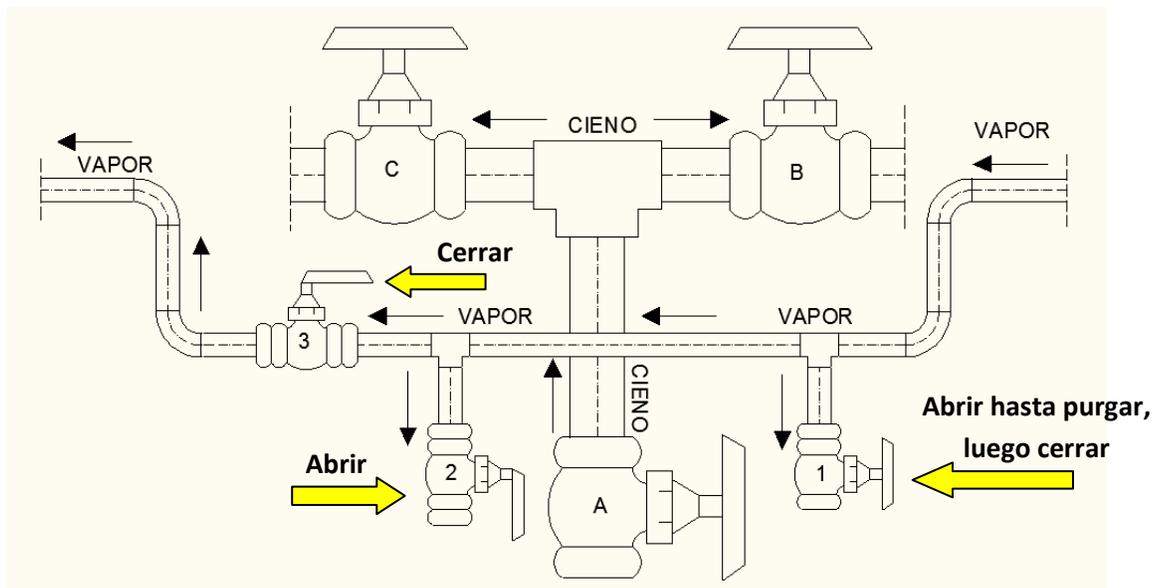
Abrir las 4 válvulas de las trampas de vapor, ubicadas a lo largo de la línea de vapor del sistema. *Ver ubicación en el plano de implantación.*



Imagen 2. Válvulas de las trampas de vapor.

3. Calefacción de la fosa de rebosamiento ó del Tanque API2:

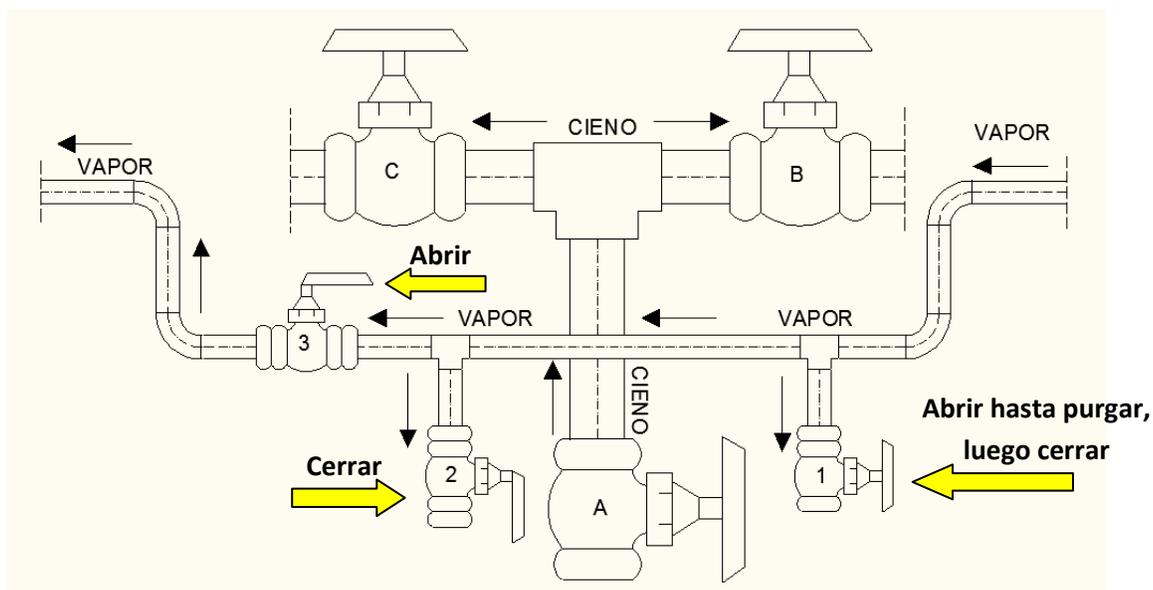
3.1. Para la calefacción de la fosa de rebosamiento, se abre la válvula 1 hasta eliminar condensados remanentes, luego se abre la válvula 2 en el distribuidor de vapor, procurando mantener cerrada la válvula 3 y 1 para evitar caídas de presión.



Distribuidor 1, Ubicado en el sector de las piscinas.

Posteriormente se enciende la electroválvula del serpentín para permitir el calentamiento del cieno dentro de la fosa.

3.2. Para la calefacción del Tanque de almacenamiento API2, se abre la válvula 1 hasta eliminar condensados remanentes, luego se abre la válvula 3 en el distribuidor de vapor, procurando mantener cerrada la válvula 2 y 1 para evitar caídas de presión.



Distribuidor 1, ubicado en el sector de las piscinas

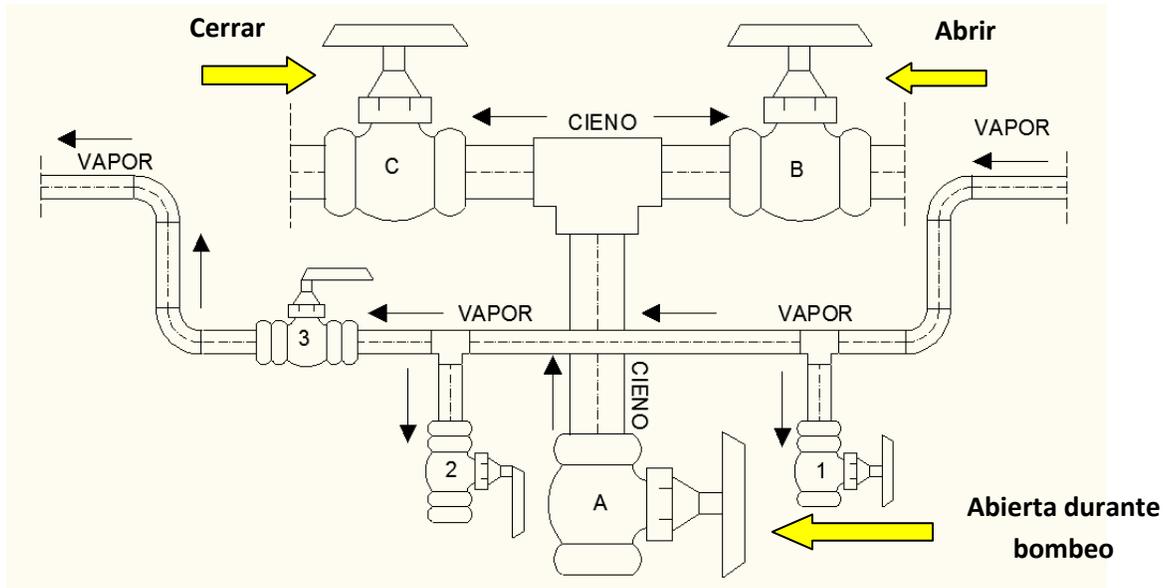
Encender la electroválvula del serpentín para permitir el calentamiento del ceno dentro del Tanque API2.

NOTA: La válvula 1 surte de vapor de servicio al sector de las piscinas en caso de limpieza de las mismas, y sirve también como dispositivo de purga.

3.3. Esperar a que el Ceno dentro de la fosa de rebosamiento ó dentro del tanque API2, alcance la temperatura de bombeo (60°C). Si se excede esta temperatura se producirá cavitación dentro de la bomba debido a los gases y vapores. El tiempo estimado de calentamiento a 4 bar y 140°C dentro de la fosa es de 1 hora y dentro del tanque API fluctúa de 5 a 24 horas dependiendo del volumen dentro del tanque.

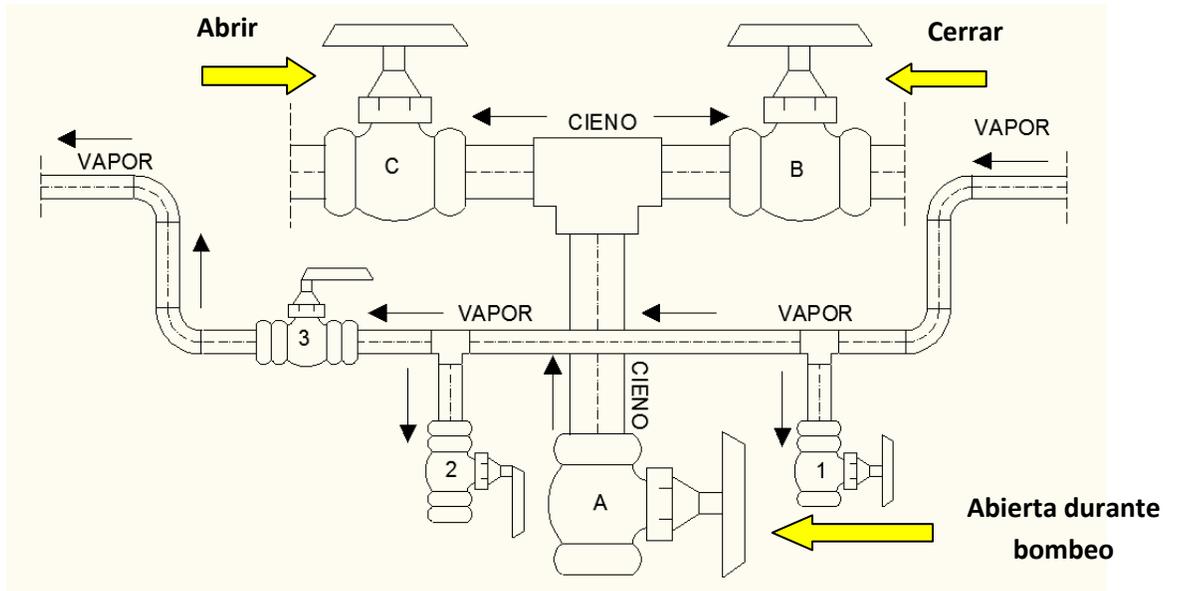
4. Proceso de bombeo del Cieno:

4.1. Si se desea bombear desde la fosa de rebosamiento hacia el tanque API1, será el procedimiento más habitual, para lo cual se debe abrir la válvula B procurando mantener cerrada la válvula C y abierta la válvula A.



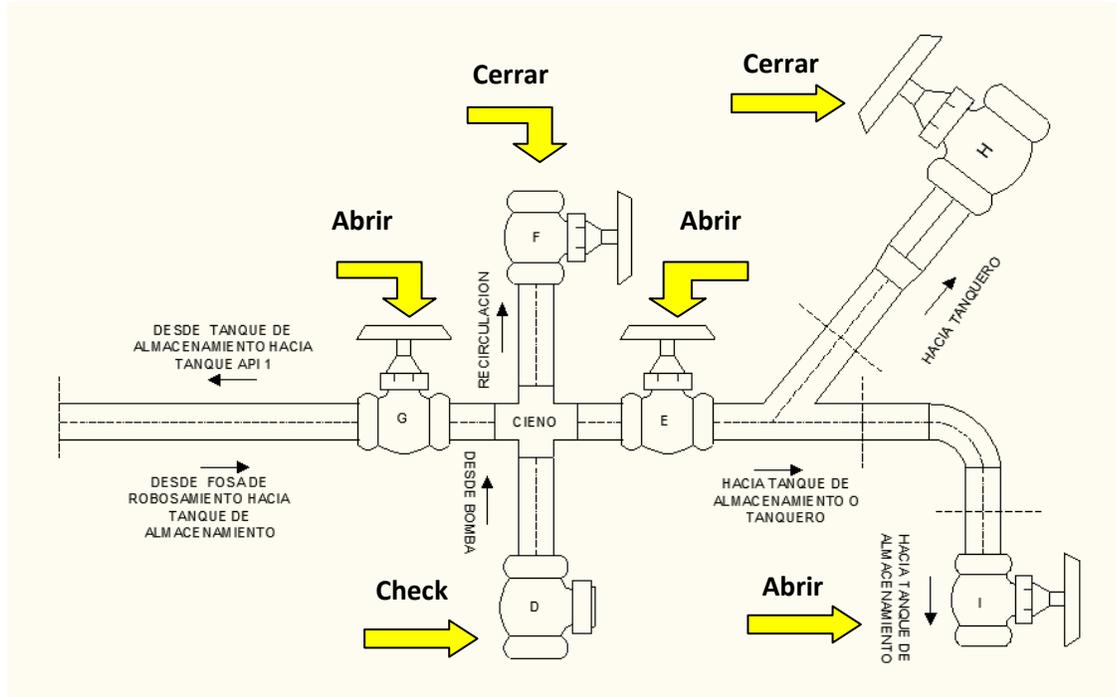
Distribuidor 1, ubicado en el sector de las piscinas

4.2. Si se desea bombear desde la fosa de rebosamiento hacia el tanque de almacenamiento API2, se debe abrir la válvula C procurando mantener cerrada la válvula B y abierta la válvula A.



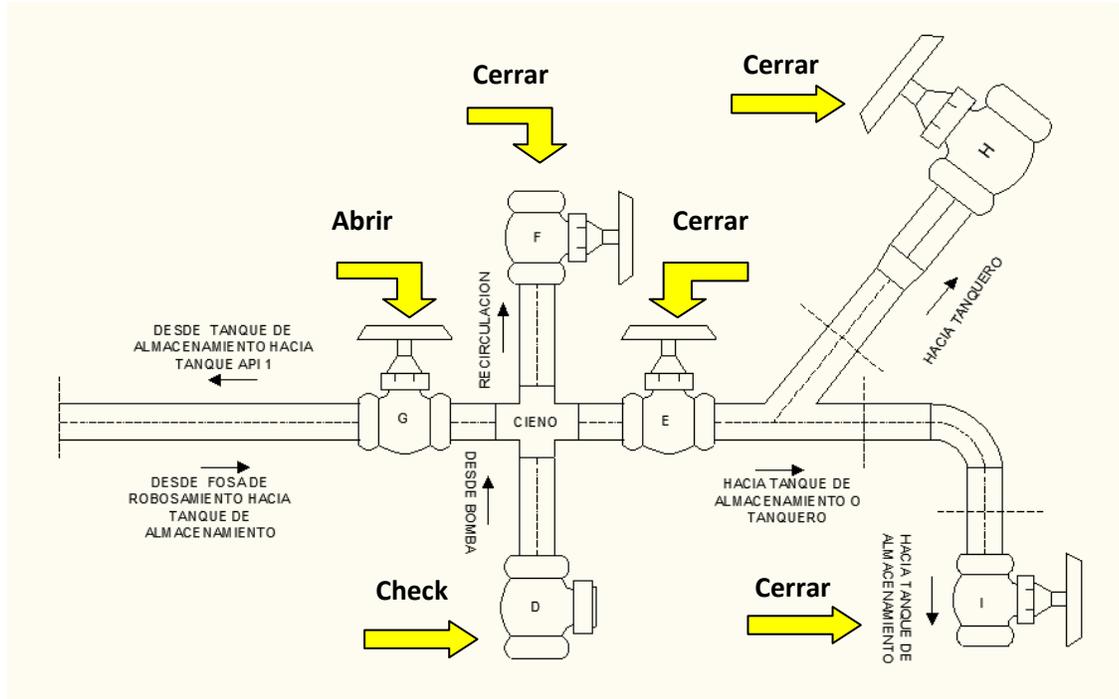
Distribuidor 1, Ubicado en el sector de las piscinas

Mientras que en el distribuidor 2, las válvulas G, E, e I deben permanecer abiertas y las demás F y H cerradas.

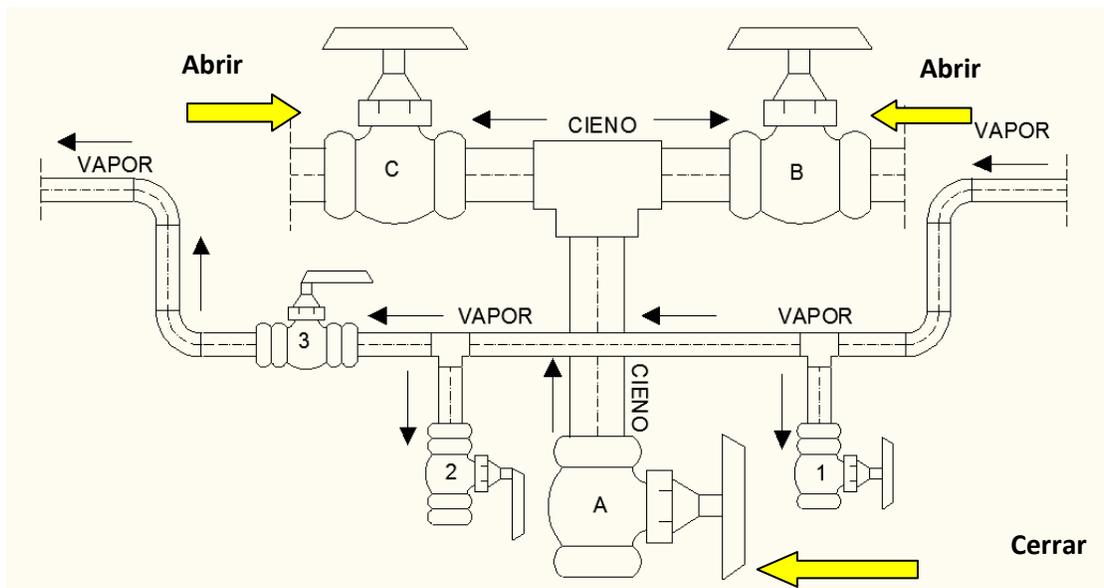


Distribuidor 2, ubicado en el sector del Tanque API2

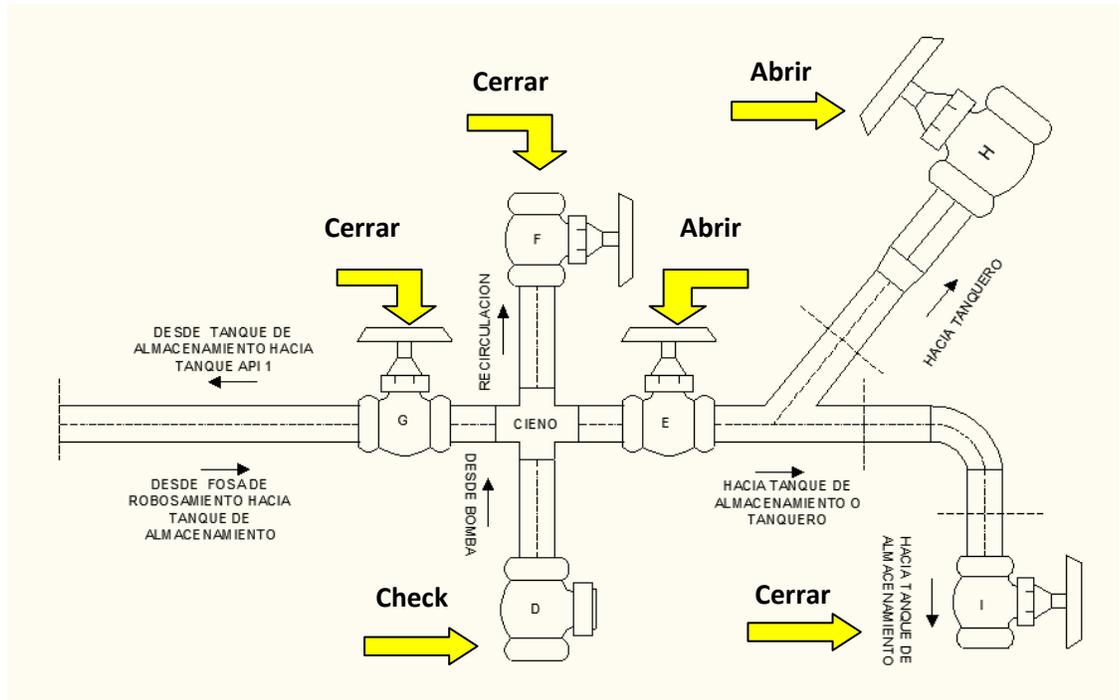
4.3. Si se desea bombear desde el tanque de almacenamiento API2 hacia el tanque API1, abrir la válvula G mientras que las demás E, F, H, e I permanecen cerradas



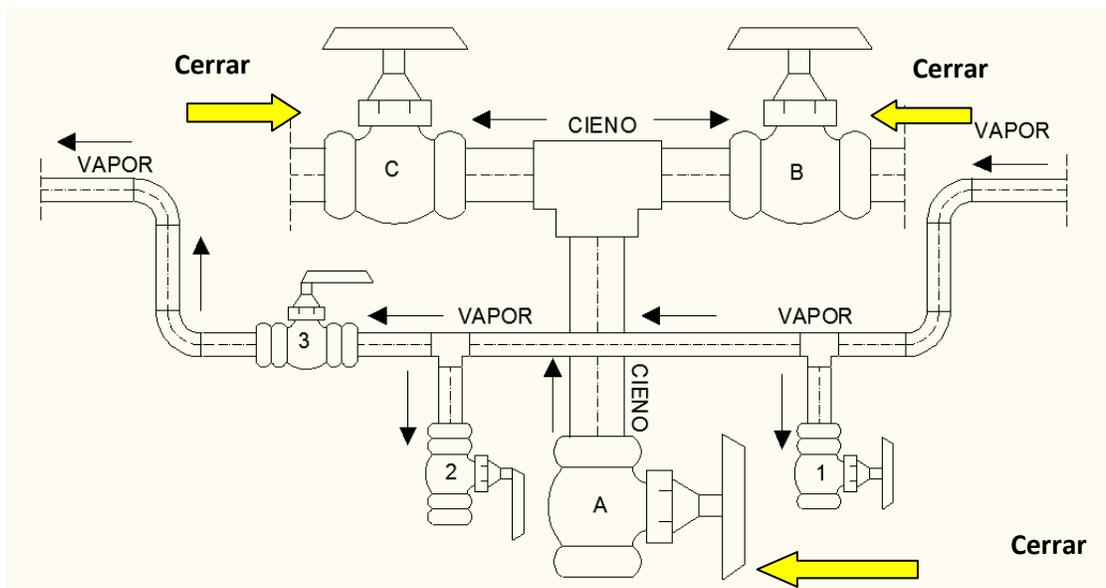
Mientras que en el distribuidor 1, las válvulas C y B deben permanecer abiertas y la válvula A cerrada.



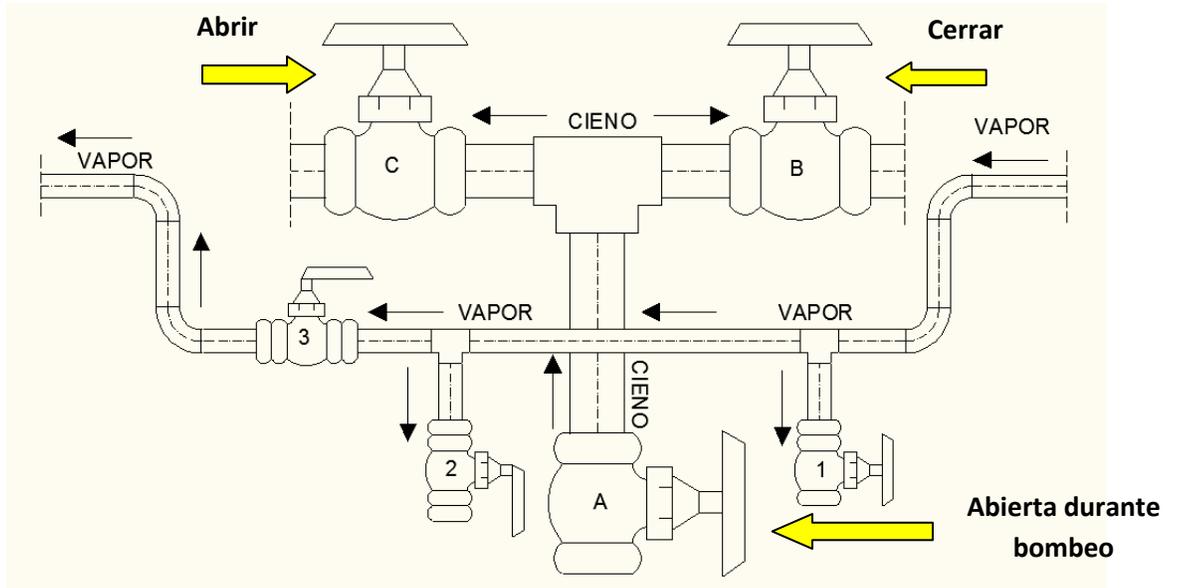
4.4. Si se desea bombear desde el tanque de almacenamiento API2, hacia un tanquero, abrir las válvulas E y H mientras las demás G, F, e I permanecen cerradas



Mientras que en el distribuidor 1, se mantendrán cerradas todas las válvulas.

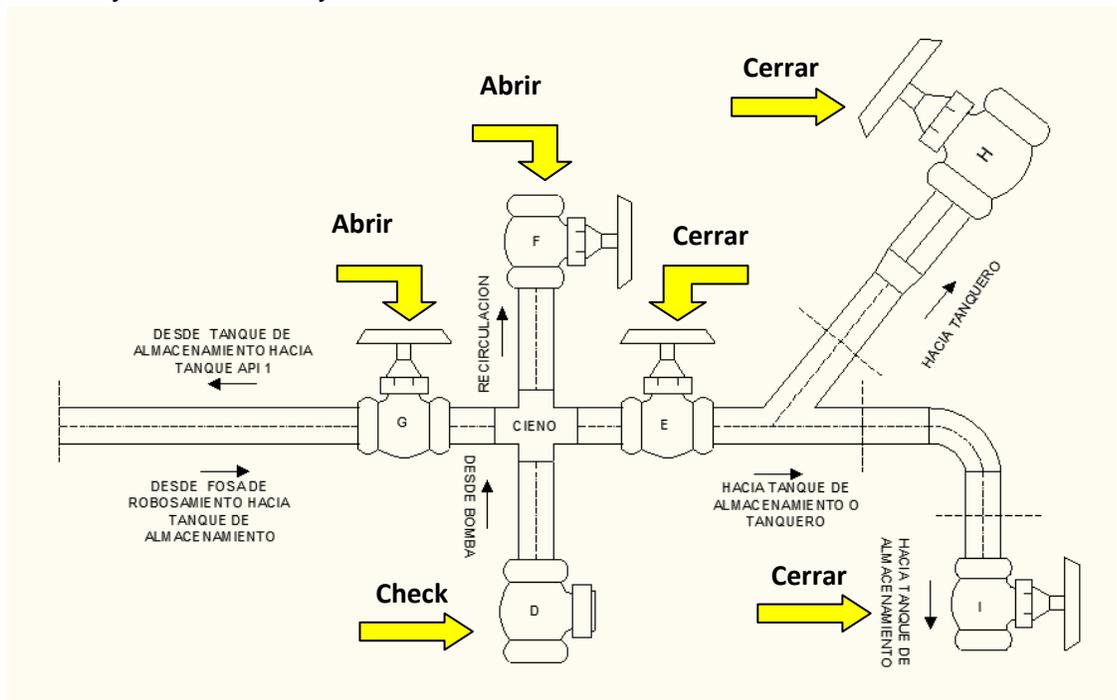


4.5. Si se desea bombear desde la fosa de rebosamiento hacia las piscinas para su recirculación para eliminar el exceso de agua en la fosa, cerrar la válvula B y mantener abiertas las válvulas A y C.



Mientras que en el distribuidor 2, las válvulas G y F deben permanecer abiertas y las demás E, H e I cerradas.

Mientras que en el distribuidor 2, las válvulas G, E, e I deben permanecer abiertas y las demás F y H cerradas.



NOTA IMPORTANTE: Verificar la correcta disposición de las válvulas y la temperatura de bombeo del cieno antes de encender cualquiera de las bombas.

5. Apagado del sistema :

- Apagar la bomba.
- Cerrar todas las válvulas de cieno que se hayan abierto.
- Cerrar la válvula surtidora de vapor y luego las válvulas de las trampas vapor.

PRECAUCIONES

Línea de vapor

- Usar todos los implementos de seguridad al momento de poner en marcha el sistema de vapor.
- Usar mucho el sentido común al momento de direccionar el flujo de vapor, con el fin de lograr una buena presión en la línea de llegada ya sea la del serpentín, de la fosa de rebosamiento o la del tanque de almacenamiento.
- Preferentemente no accionar los dos serpentines simultáneamente, del tanque API2 y la fosa, esto provocaría la caída de presión en la línea y retardo del calentamiento tanto en la fosa como en el tanque API2.
- Manipular los distribuidores de vapor con los implementos de seguridad adecuados para evitar quemaduras.
- Verificar el funcionamiento de cada una de las trampas de vapor, de no funcionar correctamente dar aviso al encargado del área de mantenimiento mecánico.
- Verificar si no existen fugas en la línea de vapor en válvulas, universales, codos, bridas y tees, si esto ocurriera dar aviso al encargado del área de mantenimiento mecánico.
- Procurar siempre, apagar el sistema después de completar el proceso.

Línea de cieno

- **Extrema precaución** al verificar la correcta disposición de abertura de las válvulas antes de realizar el arranque de las bombas, esto se debe a que las bombas de desplazamiento positivo pueden alcanzar presiones muy altas, entre (10 - 30 BARES), y si no tienen donde descargar el flujo se verían comprometidas seriamente las válvulas y accesorios de la línea de cieno, pudiendo producir derrames cuantiosos.
- No obviar el proceso de calentamiento del cieno, esto puede provocar averías en las bombas, taponamientos en las tuberías, rotura de accesorios y derrames.
- Usar mucho el sentido común al momento de direccionar el flujo de cieno, a fin de evitar derrames, la pérdida de volumen y presión en la línea.
- Verificar el giro del eje de las bombas para evitar accidentes y precautelar los equipos.
- Verificar las conexiones eléctricas de las bombas y electroválvulas, a fin de no tener problemas durante el funcionamiento del sistema.
- Antes de arrancar las bombas verificar que se encuentren bien ancladas a sus bases tanto la bomba como el motor a fin de evitar su desalineación.
- Determinar si la alineación motor-bomba se encuentran dentro de los límites de servicio de la bomba.
- Verificar si no existen fugas en la línea de cieno en válvulas, universales, codos, bridas y tes, si esto ocurriera dar aviso al encargado del área de mantenimiento mecánico.
- Antes de arrancar la bomba de la fosa de rebosamiento, en la línea de succión, verificar que la válvula de purga de 1" de diámetro se encuentre cerrada a fin de evitar derrames de combustible.
- Verificar una disponibilidad de volumen de (2500 litros / 625 galones) en el tanque API1, para evitar derrames.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.

E-MAIL O TELÉFONOS DE SOPORTE TÉCNICO.

Problemas y preguntas contactarse con:

Ing. Juan Vallejo

099729384 / 097262599 – jugava40@hotmail.com

Ing. Armando Maiguashca:

084791935 / 094393660 – armandodj27@gmail.com