UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso INTERNO

2017

PROPUESTA DE MEJORA DE PURIFICACION DE HIDROGENO EN BATERIA 2, PLANTA EKA CHILE

CARRERA BERNACHEA, CAMILO ALFONSO

https://hdl.handle.net/11673/48260

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

9
620.1
C314 INGD
2016
C.1

S:N
Cl.

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE DE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BELGICA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
BIBLIOTECA
CONCEPCION

PROPUESTA DE MEJORA DE PURIFICACION DE HIDROGENO EN BATERIA 2, PLANTA EKA CHILE

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero (E) Mecánica de Procesos Y Mantenimiento Industrial

Alumno:

Camilo Alfonso Carrera Bernachea.

Profesor Guía:

Ing. Ariel Alejandro Zoñez Rubilar.

Profesional Correferente:

Ing. Roberto Francisco Vera Ramos.

2016

7647.

DEDICATORIA

Agradecimientos:

A mis Padres por su constancia, fe, apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida universitaria y por siempre haber confiado en mí, brindándome entusiasmo y alegría.

A Dios por haberme ayudado en cada momento de debilidad emocional, y por guiarme en los momentos en que perdí el rumbo de mi camino.

A mi Amigo Luis, que me acompaño en toda esta etapa universitaria, apoyándonos siempre para sacar todos nuestros ramos adelante.

A la Srta. Carla Contreras y al Sr. Ignacio Vivanco, por haberme brindado la oportunidad de ser parte de este proyecto

A mi profesor guía el Sr. Ariel Zoñez y a mi Correferente el Sr. Roberto Vera por su buena disponibilidad para realizar este proyecto, y por sus siempre cordiales palabras de apoyo a lo largo de mi paso por esta universidad.

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA
CONCEPCION

RESUMEN

El presente proyecto de título tiene por objetivo generar una propuesta de mejora de la línea de hidrogeno ya existente de la industria química Eka Chile.

Con esta propuesta se busca mejorar el actual proceso que realiza el hidrogeno el dentro de las distintas instalaciones del área de purificación de la planta, mediante la implementación de un equipo compresor de anillo líquido para el área de purificación de su proceso, la cual consta de diversos equipos y accesorios de línea, los cuales estarán sujetos a modificación a la hora de su implementación, con la finalidad de optimizar el proceso y eliminar la dependencia de vapor en la línea principal de hidrogeno de la planta; esto sucede debido a que la utilización del vapor en la planta, será destinado a zonas o áreas de mayor demanda, en vez de solo ser destinado para la impulsión de hidrogeno hacia la zona de calderería.

El proyecto constara de métodos de cálculo de pérdidas de carga a fin de verificar la viabilidad de la mejora, además de la selección de los componentes y la instalación del nuevo equipo que formara parte de la línea de proceso, todo ello con sus planos respectivos.

INDICE

INTRODUCCION 1

OBJETIVO GENERAL 3

OBJETIVOS ESPECIFICOS 3

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5

1.1. MOTIVACIÓN O JUSTIFICACIÓN 7

1.2. ALCANCES Y LIMITANCIAS 7

1.3. RECONOCIMIENTO DE LA NECESIDAD 7

1.4. DEFINICION DEL PROBLEMA 8

1.4.1. Situación actual 8

1.4.2. Acciones realizadas 8

1.4.3. Detalle del proceso productivo 8

1.4.4. Clorato de sodio 9

1.4.5. Purificación del hidrogeno 9

1.4.6. Descripción del diagrama de flujo de la empresa 10

1.4.7. Levantamiento del sistema actual 12

1.4.7.1. Descripción de las instalaciones existentes 12

1.4.7.2. Listado de equipos que no se modificaran 16

1.4.8. Normativa actualmente aplicada 17

1.4.8.1. Normativa de la empresa 19

1.4.8.2. Normativa Chilena del hidrogeno 20

2. CAPITULO 23

CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO 23

2.1. PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM (P&id) 25

TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA
CONCEPCION

2.1.1. Conceptos fundamentales 25

2.1.2. ¿Qué es un P&ID? 25

2.1.3. Componentes de un P&ID 26

2.1.3.1. Tuberías y Cañerías 26

2.1.4. Accesorios de cañerías (fittings) 28

2.1.4.1. Bridas 29

2.1.4.2. Disco ciego 30

2.1.4.3. Codos 30

2.1.4.4. Unión de tipo T 32

2.1.4.5. Reducción 33

2.1.4.6. Válvulas 34

2.2. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS MATERIALES 36

2.2.1. Consideraciones generales y criterios de diseño 37

2.2.2. Normas de diseño 38

2.2.3. Presión de diseño 38

2.2.4. Temperatura de diseño 39

2.2.5. Espesor de pared 40

2.3. PERDIDAS DE CARGA 41

2.3.1. Pérdidas primarias 41

2.3.1.1. Definir el tipo de tubería: lisa o rugosa 41

2.3.1.2. Numero de Reynolds 41

2.3.1.3. Seleccionar el tipo de régimen al que el fluido será sometido. 43

2.3.1.4. Perfiles de velocidad 43

2.3.1.5. Ecuación de Darcy 45

2.3.1.6. Perdidas de fricción en flujo laminar....46
2.3.1.7. Pérdidas de fricción en flujo turbulento....47
2.3.1.8. Uso del diagrama de Moody....51
2.3.1.9. Ecuaciones del factor de fricción....51
2.3.1.10. Diferencias de carga en la cañería o tubería....53
2.3.1.11. Energía necesaria para transportar el fluido....53
2.3.2. Pérdidas Secundarias....54
2.3.2.1. Fuentes de perdidas menores....54
2.3.2.2. Dilatación súbita....55
2.3.2.3. Pérdidas de salida....57
2.3.2.4. Dilatación gradual....58
2.3.2.5. Contracción súbita....59
2.3.2.6. Contracción gradual....62
2.3.2.7. Pérdida de entrada....65
2.3.2.8. Coeficientes de resistencia para válvulas y junturas....67
2.3.2.9. Resistencia al flujo en codos....70
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN....73
3.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO....75
3.1.1. Compresor de anillo liquido....75
3.1.1.1. Características de los equipos de compresión de anillo liquido:....75
3.1.1.2. Características de los compresores de anillo líquido....76
3.1.1.3. Rangos de trabajo....79
3.1.1.4. Equipo seleccionado para reemplazar el eyector de vapor:....81
3.2. SELECCIÓN DE CAÑERIAS....84

3.2.1. Como seleccionar una cañería 84

3.2.1.1. Tipo de fluido 85

3.2.1.2. Condiciones de trabajo del sistema 85

3.2.2. Selección de cañeria mediante catálogo de fabricante 90

3.2.2.1. Paso 1, Selección de cañerías PVC/FRP de 250 mm. 91

- Tramo 1: Cañeria GH-4600-250-UG10 91
- Tramo 2: Cañeria GH-4600-250-UG10 91
- Tramo 3: Cañeria GH-4601-250-UG10 91
- Tramo 4: Cañeria GH-4601-250-UG10 91
- Tramo 5: Cañeria GH-4602-250-UG10 91
- Tramo 6: Cañeria GH-4602-250-UG10 91

3.2.3. Paso 2, Selección de cañerías de titanio de 250 mm. 92

- Tramo 7: Cañeria GH-4603-250-TI10 92
- Tramo 8: Cañeria GH-4603-250-TI10 92
- Tramo 9: Cañeria GH-4603-250-TI10 92
- Tramo 10: Cañeria GH-4605-250-TI10 92
- Tramo 11: Cañeria GH-4605-250-TI10 92
- Tramo 12: Cañeria GH-4605-250-TI10 92
- Tramo 13: Cañeria GH-4606-250-TI10 92

3.2.3.1. Paso 3, Selección de cañerías de PVC/FRP de 200 mm. 93

- Tramo 14: Cañeria GH-4606-200-UG10 93
- Tramo 15: Cañeria GH-4606-200-UG10 93
- Tramo 16: Cañeria GH-4607-200-UG10 93

- Tramo 17: Cañeria GH-4607-200-UG10 93
- Tramo 18: Cañeria GH-4607-200-UG10 93

3.2.3.2. Paso 4, Selección de cañerías de acero al carbono. 94

- Tramo 19: Cañeria GH-4658-200-CA150 94

3.2.3.3. Paso 5, Selección de cañerías de PVC/FRP de 200 mm. 95

- Tramo 25: Cañeria GH-4608-200-UG10 95
- Tramo 26. Cañeria GH-4661-200-UG10 95
- Tramo 27: Cañeria GH-4661-200-UG10 95
- Tramo 28: Cañeria GH-4661-200-UG10 95
- Tramo 29: Cañeria GH-4608-200-UG10 95
- Tramo 30: Cañeria GH-4609-200-UG10 95
- Tramo 31: Cañeria GH-4609-200-UG10 95
- Tramo 32: Cañeria GH-4609-200-UG10 95
- Tramo 33: Cañeria GH-4609-200-UG10 95

3.3. SELECCIÓN DE FITTINGS 97

3.3.1. Selección de flanges 97

3.3.1.1. Flanges (bridas) de 200 *mm* 97

3.3.1.2. Flanges (bridas) de 250 *mm* 98

3.3.2. Selección de dilataciones graduales (ampliación) 99

3.3.2.1. Dilatación gradual de 200x250 99

3.3.3. Contracción gradual (reducción) 100

3.3.3.1. Contracción gradual de 300x250 100

3.3.3.2. Contracción gradual de 250x200 100

3.3.4. Unión T 101

3.3.4.1. Unión T de 200 *mm* 101

3.3.4.2. Unión T de 250 *mm* 101

3.3.5. Codos 102

3.3.5.1. Codos de 200 *mm* 102

3.3.5.2. Codos de 250 *mm* 103

3.4. CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN LA LINEA 104

3.4.1. Calculo de pérdidas de carga mayores 104

3.4.1.1. Tramo 1: Cañeria GH-4600-250-UG10 104

3.4.1.2. Tramo 2: Cañeria GH-4600-250-UG10 106

3.4.1.3. Tramo 3: Cañeria GH-4601-250-UG10 107

3.4.1.4. Tramo 4: Cañeria GH-4601-250-UG10 108

3.4.1.5. Tramo 5: Cañeria GH-4602-250-UG10 109

3.4.1.6. Tramo 6: Cañeria GH-4602-250-UG10 110

3.4.1.7. Tramo 7: Cañeria GH-4603-250-TI10 111

3.4.1.8. Tramo 8: Cañeria GH-4603-250-TI10 112

3.4.1.9. Tramo 9: Cañeria GH-4603-250-TI10 113

3.4.1.10. Tramo 10: Cañeria GH-4605-250-TI10 114

3.4.1.11. Tramo 11: Cañeria GH-4605-250-TI10 115

3.4.1.12. Tramo 12: Cañeria GH-4605-250-TI10 116

3.4.1.13. Tramo 13: Cañeria GH-4606-250-TI10 117

3.4.1.14. Tramo 14: Cañeria GH-4606-200-UG10 118

3.4.1.15. Tramo 15: Cañeria GH-4606-200-UG10 119

3.4.1.16. Tramo 16: Cañeria GH-4607-200-UG10 120

3.4.1.17. Tramo 17: Cañeria GH-4607-200-UG10 121

3.4.1.18. Tramo 18: Cañeria GH-4607-200-UG10 122

3.4.1.19. Tramo 19: Cañeria GH-4658-200-CA150 123

3.4.1.20. Tramo 20: Cañeria GH-4658-200-CA150 124

3.4.1.21. Tramo 21: Cañeria GH-4658-200-CA150 125

3.4.1.22. Tramo 22: Cañeria GH-4658-200-CA150 126

3.4.1.23. Tramo 23: Cañeria GH-4608-200-CA150 127

3.4.1.24. Tramo 24: Cañeria GH-4608-200-CA150 128

3.4.1.25. Tramo 25: Cañeria GH-4608-200-UG10 129

3.4.1.26. Tramo 26. Cañeria GH-4661-200-UG10 130

3.4.1.27. Tramo 27: Cañeria GH-4661-200-UG10 131

3.4.1.28. Tramo 28: Cañeria GH-4661-200-UG10 132

3.4.1.29. Tramo 29: Cañeria GH-4608-200-UG10 133

3.4.1.30. Tramo 30: Cañeria GH-4609-200-UG10 134

3.4.1.31. Tramo 31: Cañeria GH-4609-200-UG10 135

3.4.1.32. Tramo 32: Cañeria GH-4609-200-UG10 136

3.4.1.33. Tramo 33: Cañeria GH-4609-200-UG10 137

3.4.2. Calculo de pérdidas de carga menores 141

3.4.2.1. Contracción gradual (Reducción): 250x200 mm 141

3.4.2.2. Dilatación gradual (Ampliación): 200x250 mm 142

3.4.2.3. Contracción gradual (Reducción): 300x250 mm 143

3.4.2.4. Salida de estanques y torres hacia cañerías: 144

3.4.2.5. Unión T de 250 mm: 153

3.4.2.6. Unión T de 200 mm: 155

3.4.2.7. Codo 200 mm: 156

3.4.2.8 Codo 250 mm: 155

CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN TECNICO ECONOMICA 163

4.1. EVALUACIÓN TECNICA..... 165

4.1.1. Capacidades de producción..... 165

4.1.2. Localización de la mejora y tamaño de equipos involucrados 166

4.1.3. Verificación de la capacidad técnica..... 170

4.2. EVALUACIÓN ECONOMICA..... 171

4.2.1. Costos involucrados relacionados a equipos y accesorios 171

4.2.2 Costos involucrados relacionados a mano de obra..... 173

4.2.3. Costos totales de la obra..... 174

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES..... 176

5.1. CONCLUSIONES..... 177

5.1.1. Conclusiones..... 177

5.1.2. Recomendaciones..... 179

BIBLIOGRAFIA..... 179

LINKOGRAFIA..... 181

ANEXOS..... 183

ANEXO 1: DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA ...183

ANEXO 2: PLANO ACTUAL DEL AREA DE PURIFICACION PARTE 1..... 184

ANEXO 3: PLANO ACTUAL DEL AREA DE PURIFICACION PARTE 2..... 185

ANEXO 4: SIMBOLOGIA Y PAID..... 186

ANEXO 5: DIAGRAMA DE MOODY..... 190

ANEXO 6: COEFICIENTE DE RESISTENCIA - DILATACION SUBITA..... 191

ANEXO 7: COEFICIENTE DE RESISTENCIA – DILATACION GRADUAL..... 195

ANEXO 8: VISTAS DEL COMPRESOR DE ANILLO LÍQUIDO..... 196

a) Vista lateral derecha..... 196

b) Vista frontal 197

c) Vista lateral izquierda 198

d) Tabla de información del equipo 198

ANEXO 9: DIAGRAMA DE LA EMPRESA, SEÑALIZADA AREA DE PROYECTO..... 199

ANEXO 10: DIAGRAMA DEL AREA DE PURIFICACIÓN ACTUAL 200

ANEXO 11: COTIZACIONES..... 201

ANEXO 12: VISTA SUPERIOR DEL PROYECTO DE PURIFICACION FINAL 207

ANEXO 13: PLANOS FINALES DEL PROYECTO (visualizar junto con anexo 4) 208

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Reacción Celda Electrolítica. 11

Figura 2.2 Flange Loose (Flange lap joint). 29

Figura 2.3 Disco Ciego. 30

Figura 2.4 Codo de 90°. 31

Figura 2.5 Unión Tipo T. 32

Figura 2.6 Reducción Gradual. 33

Figura 2.7 Válvula de Globo. 35

Figura 2.8 Perfil de Velocidad Flujo Laminar. 44

Figura 2.9 Perfil de Velocidad Flujo Turbulento 44

Figura 2.10 Perdidas Por Fricción Flujo Turbulento. 48

Figura 2.11 Diagrama de Moody. 50

Figura 2.12 Dilatación Súbita. 55

Figura 2.13 Perdida de Salida al Fluir de un Conducto Hacia un Depósito Estático. ...57

Figura 2.14 Dilatación Gradual. 58

Figura 2.15 Contracción Súbita. 60

Figura 2.16 Coeficiente de resistencia de una contracción súbita 60

Figura 2.17 Vena Contracta Formada por una Contracción Súbita. 61

Figura 2.18 Contracción Gradual. 62

Figura 2.19 Grafico Coeficiente de Resistencia Contracción Gradual. 63

Figura 2.20 Coeficiente de Resistencia Contracción Gradual. 64

Figura 2.21 Contracción Gradual Extremo Redondeado en Diámetro Pequeño. 65

Figura 2.22 Coeficientes de Resistencia de Entrada. 66

Figura 2.23 Grafica de resistencia debido a los codos de 90° 70

Figura 2.24 Codo de una Cañeria a 90°.....71

Figura 3.25 Principio de Funcionamiento compresor de Anillo Liquido Simple Efecto. 76

Figura 3.26 Descripción de las Partes Principales del Compresor de Anillo Liquido Simple Efecto. 78

Figura 3.27 Grafica de los Rangos de Trabajo del Compresor de Anillo Liquido.....79

Figura 3.28 Vista Lateral Derecha del Skid del Compresor de Anillo Liquido. 82

Figura 3.29 Vista Frontal del Skid del Compresor de Anillo Liquido. 82

Figura 3.30 Vista Superior del Skid del Compresor de Anillo Liquido. 83

Figura 4.31 Base Estructural Donde Ira Montado el Skid del Compresor. 166

Figura 4.32 Detalle Base Estructural Skid del Compresor. 167

Figura 4.33 Detalle Perno de Anclaje Base Estructural Skid del Compresor. 167

Figura 4.34 Detalle Composición Base Estructural Skid del Compresor.....168

Figura 4.35 Área de Purificación de Hidrogeno con la Mejora Implementada.....169

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Equipos Actuales Línea Principal de Purificación..... 17

Tabla 2.2 Normas de Diseño..... 38

Tabla 2.3 Temperaturas de Diseño para Equipos de Línea..... 39

Tabla 2.4 Rugosidad de Conducto: Valores de Diseño..... 45

Tabla 2.5 Velocidades Convertidas a Unidades S.I..... 57

Tabla 2.6 Tabla del Coeficiente de Resistencia de la Dilatación Gradual..... 59

Tabla 2.7 Tabla de Coeficiente de Resistencia Contracción Súbita..... 61

Tabla 2.8 Tabla de Resistencia en Válvulas y Junturas Expresada Como Longitud Equivalente en Diámetros de Conducto Le/D..... 68

Tabla 2.9 Tabla Para Determinar el Factor de Fricción en la Zona de Turbulencia Completa Para Conductos..... 69

Tabla 3.10 Tabla de resistencia en válvulas y junturas expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto Le/D..... 84

Tabla 3.11 Tabla Temperatura del Hidrogeno en la Línea y Datos Asociados, Antes de la Primera Torre de Lavado..... 87

Tabla 3.12 Tabla Temperatura del Hidrogeno en la Línea y Datos Asociados, Después de la Primera Torre de Lavado..... 87

Tabla 3.13 Tabla de Cañerías Seleccionadas Para Línea..... 90

Tabla 3.14 Tabla de Selección de Cañería PVC/FRP de 250 mm..... 91

Tabla 3.15 Tabla de Selección de Cañería Titanio de 250 mm..... 93

Tabla 3.16 Tabla de Selección de Cañería PVC/FRP de 200 mm..... 94

Tabla 3.17 Tabla de Selección de Cañería de Acero al Carbono de 200 mm..... 95

Tabla 3.18 Tabla de Selección de Cañería PVC/FRP de 200 mm..... 96

Tabla 3.19 Tabla de Selección Flanges de Acero al Carbono de 250 mm..... 97

Tabla 3.20 Tabla de Selección Flanges de PVC/FRP de 200 mm..... 98

Tabla 3.21 Tabla de Selección Flanges de PVC/FRP de 250 mm. 98

Tabla 3.22 Tabla de Selección Flanges de Titanio de 250 mm. 99

Tabla 3.23 Tabla de Selección Dilataciones Graduales de PVC/FRP de 200x250 mm. 99

Tabla 3.24 Tabla de Selección Contracción gradual PVC/FRP de 300x250 mm..... 100

Tabla 3.25 Tabla de Selección Contracción Gradual de PVC/FRP de 250x200 mm. 100

Tabla 3.26 Tabla de Selección Uniones tipo T, PVC/FRP de 200 mm. 101

Tabla 3.27 Tabla de Selección Uniones tipo T de Titanio de 200 mm. 101

Tabla 3.28 Tabla de Selección Codos de PVC/FRP de 200 mm. 102

Tabla 3.29 Tabla de Selección Codos de Acero Al carbono de 200 mm..... 102

Tabla 3.30 Tabla de Selección Codos de PVC/FRP de 250 mm. 103

Tabla 3.31 Tabla de Selección Codos de Titanio de 250 mm..... 103

Tabla 3.32 Tabla de Resultados de Perdidas Mayores en la Línea Principal..... 140

Tabla 3.33 Tabla de Resultados de Perdidas Menores en la Línea Principal..... 161

Tabla 3.34 Tabla de Resultados de Pérdidas Totales de la Línea Principal..... 162

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Reaccion Quimica de la Electrolisis.....9

Ecuación 2 Metodo de Aproximacion de Schedule.....27

Ecuación 3 Numero de Reynolds.....42

Ecuación 4 Area de un Cilindro.....43

Ecuación 5 Perfil de velocidad.....43

Ecuación 6 Velocidad Promedio Flujo Laminar.....45

Ecuación 7 Ecuación general de la Energia.....45

Ecuación 8 Ley de Darcy.....45

Ecuación 9 Ecuación de Hagen Poiseuille.....46

Ecuación 10 Metodo uno, Factor de Fricción Flujo laminar.....46

Ecuación 11 Metodo dos, Factor de Fricción Flujo Laminar.....47

Ecuación 12 Despeje del Metodo dos Factor de Fricción Flujo Laminar.....47

Ecuación 13 Forma Simplificada del Factor de Fricción Flujo Laminar.....47

Ecuación 14 Coeficiente de Rugosidad.....49

Ecuación 15 Intervalo de Rugosidad Zona Derecha Diagrama de Moody.....52

Ecuación 16 Intervalo de Rugosidad Zona Izquierda Diagrama de Moody.....52

Ecuación 17 Intervalo de Rugosidad Zona Transición Diagrama de Moody.....52

Ecuación 18 Rugosidad Realativa Metodo Coleebrook.....53

Ecuación 19 Diferencias de Carga en la Cañería.....53

Ecuación 20 Energia Necesaria Para Transportar el Fluido.....53

Ecuación 21 Ecuacion General de Perdidas de Energia Menores.....54

Ecuación 22 Perdida Menor en Dilataciones Subitas.....55

Ecuación 23 Coeficiente de Perdida Menor en Dilataciones Subitas.....56

Ecuación 24 Perdida Menor en Salida.. 57

Ecuación 25 Perdida Menor en Contracciones Subitas..... 59

Ecuación 26 Coeficiente de Resistencia Para Valvulas y Junturas. 67

Ecuación 27 Longitud Equivalente del Conducto. 69

Ecuación 28 Radio Medio Metodo Uno..... 71

Ecuación 29 Radio Medio Metodo Dos. 71

Ecuación 30 Radio Medio Metodo Tres..... 71

SIGLA

A C.A: Corriente alterna.

C.C: Corriente continua.

ERNC: Energía *renovable* con convencional.

ICC: Intensidad corto circuito.

ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares).

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de prueba y materiales).

MSS: Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry (Sociedad manufacturera de estandarización de válvulas y codos industriales).

AWWA: American Waterworks Association (Asociación Americana de obras con agua).

API: American Petroleum institute (Instituto Americano del Petróleo).

ISO: International Organization for Standardization (Organización internacional de Normalización).

PI: Proporciona integrado.

PWM: Modulación por ancho de pulsos

AISI: American Iron and Steel Institute (Instituto Americano de Metales y Aceros).

BSI: British Standar Institute (Instituto Británico de Estandarización).

OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series (Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo).

OSHA: Occupational safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional).

P&id: Piping and Instrumentation Design Software (Software de Diseño de Cañerías e Instrumentación).

ISA: Instrument Society of America (Sociedad de Instrumentos de América).

SIMBOLOGIA

[m]: Metro.

[m^2]: Metro cuadrado.

[m^3]: Metro cúbico.

[h]: Horas.

[kg]: Kilogramos.

[W]: Watios.

[A]: Ampere.

[°K]: Grados Kelvin.

[Hz]: Hertz.

[N]: Newton.

[Pa]: Pascal.

[min^1]: Revoluciones por minuto.

[KW]: Kilowatt.

[mmca]: Milímetros columna de agua.

[m^3/h]: Metros cúbicos por hora.

[Kgf/m^2]: Kilogramos fuerza por metro cuadrado.

[in]: Pulgada.

INTRODUCCION

En todo proceso industrializado ya sea en pequeña o en gran escala suscitan hechos determinantes dentro de la ejecución de los mismos, muchas veces la constante demanda por producir algún producto o algún derivado de dicho proceso; llevándolo inclusive a mejorar desde un equipo base, hasta el proceso mismo en su totalidad, debido a ello es que surgen las así llamadas mejoras de procesos. Pero dichas mejoras para que puedan ser llevadas a cabo es necesario plantear propuestas con las que se verá si la mejora es o no factible.

Si bien es cierto los equipos involucrados en el proceso son importantes, también lo es la línea o el piping, llámese así a la red de cañerías involucradas, siendo este el lugar exacto donde se sitúan las pérdidas de presión o de carga en la línea, y es precisamente ahí en donde se pueden detectan las principales fallas del diseño.

La propuesta será enfocada a la modificación de la línea de distribución del vapor, debido a que el vapor es utilizado en la empresa, para impulsar el hidrogeno de la línea. Esto ocurre por el hecho de que el hidrogeno al ser un elemento explosivo, lo vuelve riesgoso tanto su manejo como almacenamiento, y es por ello que la gran parte de el es eliminado en calderas, utilizándose así una doble finalidad para este elemento, debido a que en la zona de calderería sirve como combustible para ella.

Por ende el principal cambio que se planteara será el cambio del actual equipo eyector ubicado al inicio del proceso de purificación por un equipo de compresión que no requiera el uso del vapor como àgente impulsor. Sumado a ello una serie de modificaciones adicionales que se realizaran a medida que el nuevo equipo lo solicite, con el fin de eliminar la dependencia como bien dijimos, del vapor en la línea, el cual podrá ser utilizado por otros 3 procesos más en la planta.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo del proyecto, es desarrollar una propuesta de diseño en la línea de purificación de hidrogeno en batería 2, planta EKA CHILE.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Establecer un levantamiento del sistema de purificación de hidrogeno.
2. Identificación de puntos críticos del sistema.
3. Análisis de normativa aplicada en sistema de hidrogeno.
4. Analizar propuestas de diseño de sistema de hidrogeno.
5. Demostrar la validación técnica de las propuestas.
6. Análisis económico de las propuestas.

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. MOTIVACIÓN O JUSTIFICACIÓN

El gasto energético cada día cumple un rol más importante dentro de la industria, debido a ello siempre se busca producir más con el menos gato posible, por ello surge la propuesta de mejora del área de purificación en la planta, y es para mí de gran agrado el poder formar parte de este gran proyecto en la industria química EKA CHILE S.A. así como el poder aportar conocimientos adquiridos a lo largo de la universidad.

1.2. ALCANCES Y LIMITANCIAS

- El proyecto no abarca el tema de instrumentos de control.
- En los planos solo se hace énfasis al tema de los instrumentos a modo explicativo, para que el sistema sobre un mejor enfoque, debido a que no se tomaron en cuenta estos a la hora de la redacción de la memoria.
- Las pérdidas de carga se tomaron mediante el método Darcy, debido a ello no se verán más alternativas.
- No abarca más allá de la línea principal de hidrogeno, puesto que no fueron considerados sus ramales, ni tampoco calderería.
- Los materiales empleados de la marca Cellchem, fueron seleccionados debido a que la empresa posee una alianza estratégica con dicho proveedor.

1.3. RECONOCIMIENTO DE LA NECESIDAD

La necesidad actual de la empresa es la erradicación del actual sistema que trabaja con vapor. El sistema está compuesto por un eyector el cual era el encargado de impulsar el vapor, el cual ya no será necesario debido a la incorporación de un compresor de anillo liquido en su lugar, debido a que es un equipo que no requiere de vapor adicional para impulsar el gas hidrogeno. Lo cual se traducirá en un ahorro de dinero para la empresa debido a que no se presentara la necesidad de producir algo para ayudar a eliminarlo.

1.4. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.4.1. Situación actual

La industria química EKA CHILE S.A. en el año 2013 lazo un proyecto a gran escala el cual consistía en la modificación de la línea de distribución del hidrogeno hacia las torres de lavado en el área de purificación la cual tiene como finalidad eliminar la forma en que es impulsado este gas por medio del reemplazo de un equipo por otro, debido a que su sistema actual contempla un eyector de vapor el cual les presenta un evidente gasto energético debido a que el vapor producido por las calderas lo utilizan para impulsar al gas hidrogeno recién mencionado.

1.4.2. Acciones realizadas

El departamento de ingeniería a cargo del proyecto tuvo que tomar las medidas correspondientes al caso debiendo realizar un estudio de pre factibilidad pero debido a diversas razones el proyecto no se concretó hasta el año 2015, año en el cual se comenzó con su fundación a cargo de una empresa contratista y asesorados por otra, para el tema de obras civiles.

1.4.3. Detalle del proceso productivo

El proceso de fabricación de clorato de sodio es un proceso continuo, que opera las 24 horas del día y los 360 días del año, la planta contiene una flexibilidad para trabajar entre 18 y 56 MW, equivalente a la producción de 3,5 a 10 toneladas por hora. En periodos cortos de tiempo se puede modular hasta 12 MW de consumo eléctrico, equivalente a 2,2 toneladas por hora (mínimo para la mantención del balance de calor y que la planta no colapse térmicamente).

La capacidad de producción es controlada a través de la carga eléctrica que se aplica a las líneas de producción desde los rectificadores. El proceso se opera a través de un sistema de control distribuido (DCS) que supervisa y mantiene dentro de los rangos requeridos las variables de procesos fundamentales como: pH, temperatura, presión, niveles de estanques, vacíos, flujos, etc.

El clorato de sodio producto que en la planta se elabora, es obtenido industrialmente por el fenómeno de la electrolisis a partir de una solución acuosa (salmuera) saturada en cloruro de sodio (NaCl).

1.4.4. Clorato de sodio

El producto clorato de sodio ($NaClO_3$) es un compuesto oxidante, solido, cristalino y de color blanco, que se utiliza como base para el blanqueo de la pulpa y el papel. Se obtiene por la electrolisis de cloruro de sodio (NaCl) en solución acuosa (salmuera) y el proceso se efectúa en 3 baterías de celdas electrolíticas donde se extrae la solución de clorato de sodio (electrolito) el que es filtrado y cristalizado en equipos de vacío y finalmente el clorato en forma de cristal es almacenado a granel o en bolsas de 1 tonelada métrica, para ser despachadas a clientes en carros de ferrocarril o camiones semi remolques.

La reacción química que representa el proceso de producción es:

$$NaCl + 3H_2O \text{ ---- Energia electrica } \longrightarrow NaClO_3 + 3H_2$$

Ecuación 1 Reaccion Quimica de la Electrolisis.

1.4.5. Purificación del hidrogeno

El hidrogeno que se obtiene como subproducto del proceso de electrolisis y es utilizado en la planta como combustible para una parte de su proceso, con el fin de generar vapor, el cual es requerido para sistemas de calefacción y también para los sistemas de vacío de los cristalizadores.

La purificación se desarrolla por la vía de la precipitación con soda caustica y ceniza de soda en un decantador de extracción continua, la que es filtrada en filtros de paño, mientras que la borra o desperdicio resultante es retenido en los filtros de prensa y sometida a un proceso de lavado con salmuera pura desmineralizada y secada con aire.

El denominado queque resultante, neutro y cuyo principal contenido es el hidróxido de magnesio, carbonato de calcio y óxido de hierro, es desechado sin problemas en un relleno sanitario autorizado. Posteriormente la salmuera es sometida a

una desmineralización en un lecho de intercambio iónico para eliminar los restos de calcio y magnesio remanente.

El lecho es regenerado con soda caustica y ácido clorhídrico, así mismo con la precipitación del agua desmineralizada para el proceso y la alimentación de las calderas. Estos elementos son almacenados en un estanque ad-hoc y después son retornados a la disolución de sal. La solución de salmuera pura es alimentada a un evaporador a vacío donde cristaliza sal ultra pura, la que es separada en un paso por los filtros de banda y finalmente es inyectada junto con el agua a las celdas electrolíticas, en donde, por el paso de la corriente, es transformada a clorato de sodio en solución.

Un anterior proceso de cristalización al vacío y separación (centrifugación o paso por un filtro de mesa) permite alcanzar el producto terminado que se almacena en los silos de acumulación o en bolsas de 1 tonelada. Previo a la cristalización la solución de clorato en filtrada en filtros de paño y prensa, el residuo que puede contener trazas de algunos metales pesados como cromo que se usa como buffer en la solución, es lavado y disuelto al sistema.

Como se mencionaba al comienzo de este punto el proceso electrolítico, genera hidrogeno como subproducto con un 0,2% de cloro el cual debe ser lavado en torres que usan como absorbente agua, licor madre y soda caustica. Una vez que es lavado ya se encuentra en condiciones de ser utilizado como combustible para las 2 calderas que posee la planta, pero previo a ello deben ser sometidas al paso de un filtro de carbón activado el cual será el encargado de eliminar las ultimas impurezas pertenecientes al hidrogeno. Cabe mencionar que todo aquel hidrogeno que no sea utilizado como combustible es venteado a la atmosfera, todo ello debido a que se encuentra en óptimas condiciones y ya no presenta ningún tipo de riesgo.

1.4.6. Descripción del diagrama de flujo de la empresa

Para una mejor comprensión dirige al anexo 1, como se puede observar; la sal de roca viene en los camiones desde las zonas nortinas del país es depositada en silos de sal en donde es almacenada para su posterior uso a fin de ser utilizada a medida que sea necesaria en las piscinas de sal de ahí mediante bombas de pozo las cuales la impulsan a un tanque pulmón de salmuera, desde donde son dirigidas al reactor decantador de solidos gruesos desde donde se le añade hidróxido de sodio más conocido como soda

caustica y carbonato de sodio, de ahí son enviados a un filtro de vela en donde se eliminan impurezas presentes en la mezcla y destinándola al tanque de salmuera filtrada en donde una bomba la impulsa a un intercambiador iónico en donde se separan las sales con cationes y aniones del agua de la línea para finalmente dejarlo en un estanque de salmuera pura.

Al proceso se le inyecta agua caliente y vapor para el hervidor de salmuera y por otra parte un evaporador de salmuera junto con un enfriador están sacando el condensado del evaporador la mezcla salina se dirige a unos filtros de banda en donde es lavada y enviada al pre disolvedor de salmuera y finalmente a un reactor en una de las baterías en donde es distribuida la mezcla en las celdas por proceso de decantación en ellas se les inyecta un pulso eléctrico formándose de proceso de electrolisis descrito a continuación.

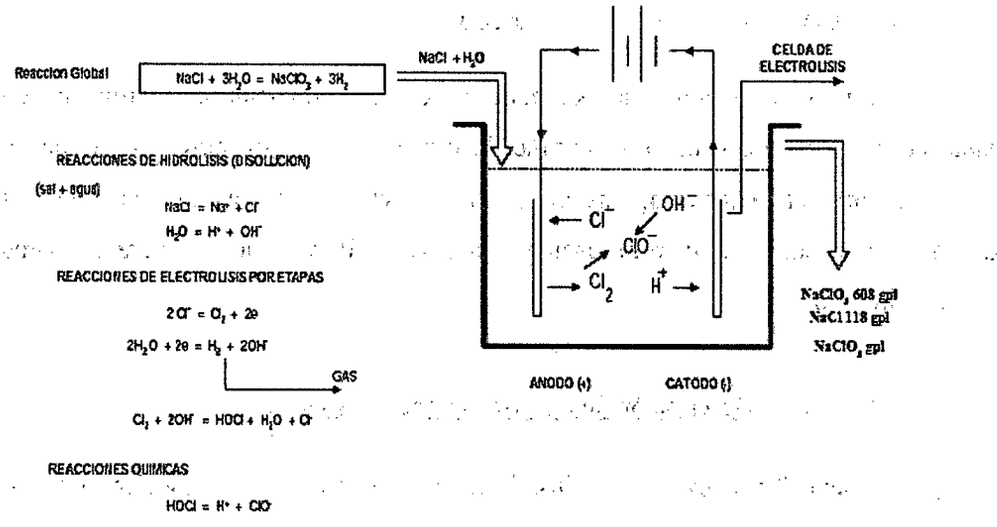


Figura 1.1 Reacción Celda Electrolítica.

Fuente: Eka Chile S.A.

Luego es dirigido al área que nos conlleva la realización de este trabajo la zona de purificación de batería 2 en la cual por medio de un actual equipo eyector es impulsada por las torres de lavado enviando una parte del hidrogeno resultante a calderas y lo sobrante es enviado a atmosfera en donde se pierde.

Por otra parte el reactor también dirige la mezcla a un hipo reactor el cual distribuye a los filtros de electrolito y posterior a ellos llegando a los cristalizadores llegando a un filtro de mesa donde finalmente el producto en enviado a los tornillos conveyor en donde son impulsados hasta el área de carga de carros y lo demás es almacenado en los silos de clorato, proceso similar que se realiza en las otras 2 baterías exceptuando la zona de filtración de electrolito en donde el agua del proceso entra contaminada es decir es donde se acumula el efluente (agua contaminada) y por proceso de decantación llega a la torre aledaña en la cual se efectúa el tratamiento del efluente eliminando el calcio en donde existe una tolerancia de >1200 desde el orden de 2 ppm, y una vez más por tema de decantación el agua ya llegue pura a la última torre y ahora puede ser acumulada en ella para volver a ser usada en algún tipo de proceso.

1.4.7. Levantamiento del sistema actual

En la presente memoria se expondrá el área de purificación de hidrogeno de la planta desde su inicio, situado al termino de batería 2 hasta su ingreso a la zona de calderería. Para una mejor comprensión ver anexo 2, el cual está enfocado en la primera parte del plano actual área de purificación y además de ello ver anexo 3, para la segunda parte del proceso.

1.4.7.1. Descripción de las instalaciones existentes

Ver anexo 2 y anexo 3. Las instalaciones que actualmente posee la planta sin presentar ni haber realizado ninguna modificación se podrán apreciar en estos estos diagramas, los cuales datan desde que la empresa fue implementada por ende existen muchas falencias y una serie de equipos y accesorios de línea que sufrirán modificaciones en el área, así como muchas que se conservaran en su posición y estado actual.

A continuación se detallara brevemente en que consiste el área y que es lo que se presenta.

- U de sello: El plano se divide en dos áreas, si comenzamos a visualizarlo desde el primero, tenemos una U de sello al inicio de la línea la cual viene desde batería 2, este equipo se utiliza como elemento de protección preventivo, debido a que, si la batería por algún evento inesperado se

detiene, este sello será el encargado de separar las áreas de batería y purificación, logrando evitar que pase el hidrogeno.

Este sello es llenado con agua y es esta misma la que regula la presión con que el hidrogeno viene de batería; según la altura del agua dentro del sello, y es el operador quien regula la presión en mmca dependiendo lo que se le solicite; además de la recién mencionada existen dos uniones U de sello, las cuales se encuentran en la segunda figura antes de ingresar a calderas.

- Eyector de aire: El diseño actual posee un eyector de aire el cual es catalogado como una bomba de vacío, la cual está encargada de impulsar el hidrogeno mediante la acción simultanea del vapor, este equipo no posee partes móviles, y es capaz de alcanzar presiones absolutas de entre 1 a 2 bar O 14,7 psi, presión necesaria para lograr impulsar dicho has hacia la primera torre de lavado, siendo de acero inoxidable AISI 304L (austenico, aliado al cromo y níquel y con un bajo porcentaje de carbono) lo cual lo vuelve resistente a la corrosión, conformado en frio y buena soldabilidad.

- Condensador: Basándose en la línea de trabajo se encuentra un equipo condensador el cual realiza un lavado, el cual tiene como objetivo neutralizar las partículas nocivas transportadas por el aire. Las partículas que se intentaran eliminar a través de este proceso son las de naturaleza química y son solubles en agua.

El fluido se transporta desde el estanque al sistema de distribución mediante la línea principal del piping, siendo derivado hacia el estanque alojado por debajo de la torre, el cual es utilizado para la recepción del condensado y licor madre.

- Torre licor madre: Es un equipo que se encargado de recibir el hidrogeno con contenido de cloro proveniente de batería dos, A fin de disminuir su temperatura y el contenido de agua. Para esto dicho licor madre circula desde el fondo al tope de la torre, y es enfriado en la recirculación usando para ello un intercambiador de calor de placas, el cual utiliza agua de la torre de enfriamiento de la planta.

- Torre de soda 1: Es la segunda de las torres en ella se inyecta soda caustica en el fluido, a fin de eliminar las impurezas que posea el fluido, cabe destacar, que el actual de la soda en esta torre es leve, esto se debe a que el hidrogeno en este caso deberá pasar por otra de este mismo tipo a fin de eliminar las ultimas trazas.

- Torre de soda 2: La última de las tres torres presentes en el área encargadas de la eliminación de las últimas impurezas, es utilizada para el lavado del gas mediante la acción de soda caustica con el fin de remover el cloro del gas hasta más o menos 1 ppm. Para ello se le debe inyectar soda caustica al 20% acción que debe realizarse de forma continua dentro de la solución de la torre.

- Torre de emergencia: Equipo destinado a la recepción del fluido desde el sello de emergencia, la torre es la encargada de la acumulación del gas, así como de la derivación ya que una parte de él es enviada al buffer de batería dos, mientras que el resto es liberado a atmosfera mediante venteo.

- Estanque de emergencia: Al igual que muchos equipos del proceso también posee un venteo a atmosfera, del cual una parte del hidrogeno es liberado, acción que tiene su justificación en el hecho de que no todo el hidrogeno que se produce es necesario para el proceso, debido a ello debe ser eliminado de una forma eficiente y segura; el fluido proveniente de la torre de soda uno es ingresada en el estanque, y a este se le inyecta agua ya procesada a modo de sello, esto debido a que todo equipo debe tener un cierto nivel dentro de su volumen a fin de que no exista una acumulación excesiva del gas para evitar posibles explosiones junto con ello el agua procesada es enviada a pozo para su posterior erradicación de la línea.

- Sello de emergencia: Es el encargado de alimentar a la torre de emergencia de su conexión directa desde batería dos, además de poseer una descarga directa a pozo ante alguna eventualidad.

- Filtros de carbón activado: Son dos equipos que se encargan de eliminar las últimas trazas de cloro que contiene el gas antes de que este ingrese a calderas, comúnmente se les llama filtro A y B.

- Bomba: Equipo encargado de la impulsión de diversos fluidos líquidos tales como licor madre, soda caustica o incluso agua hacia los equipos como torres o estanques dentro del proceso. Dentro del proceso se utilizan bombas Wilden centrifugas, de titanio con un caudal de 60 m^3/h, capaces de levantar 21 m el fluido, con una potencia de 5,5 kW y con 1450 rpm.

- Intercambiador de calor: Equipos encargados de eliminar el calor en la línea mediante agua de recirculación en este caso fría.

1.4.7.2. Listado de equipos que no se modificaran

U de sello	Las uniones de sello ubicadas en el área previa al ingreso a calderería, serán realizadas pruebas de la misma forma que la anterior pero en este caso se verificara el nivel de ellas a fin de que no supere el caudal los 1500 mmca debido a que la caldera opera con esos rangos ya establecidos.
Torre de licor madre	Se mantendrá la torre sin embargo serán realizadas pequeñas modificaciones en su ingreso producto de que el equipo condensador ya no se encuentra presente en la instalación al igual que su estanque.
Torre de soda 1 y 2	Se mantendrán ambas torres no obstante se realizaran mantenciones incluyendo una limpieza total de la línea principal mediante nitrógeno a fin de realizar un barrido eliminando impurezas antes que la línea comience su actividad.
Intercambiadores de calor	Se mantendrá solamente el intercambiador ubicado al principio de la torre de licor madre, sin embargo no el que se encuentra presente en la torre de emergencia debido a que esta no será considerada una vez hecha la modificación final del área.
Válvulas	Se mantendrán todas las válvulas de las 3 torres principales con un porcentaje de abertura del 51% y se intentara mantener un caudal aproximado de 265 mmca entre torres. La válvula normal cerrada ubicada al inicio y también las que se encuentran unidas a las uniones de sello serán consideradas solo para su mantención, puesto que tampoco serán modificadas.
Bomba	Las bombas centrifugas y también los motores trifásicos acoplados a ellas tanto de la torre de licor madre y de las torres de soda 1 y 2: todas serán mantenidas en sus ubicaciones actuales, debido a que no se requiere mayor modificación puesto

	que siguen cumpliendo con lo esperado de poseer un caudal de 9 m3/hr, logrando cada una levantar aproximadamente el fluido 14 metros, con una potencia de 4kW y cada una con 1500 revoluciones por minuto, todas fabricadas de titanio.
Filtros de carbón activado	Se mantendrán en su misma ubicación actual solo se les revisara el relleno.
Sello de emergencia	Se mantendrán los 2 estanques de sello de emergencia salvo que se re direccionara su línea, debido a que ahora se encontraran unidos mediante una unión T, al estanque del compresor de anillo líquido.
Estanque de emergencia	En el caso del estanque de emergencia, se le realizaran algunas mantenciones preventivas a su manhole y flanges mas allá de eso el equipo no sufrirá ninguna modificación mayor.

Tabla 1.1 Equipos Actuales Línea Principal de Purificación.

Fuente: Eka Chile S.A.

1.4.8. Normativa actualmente aplicada

Actualmente la empresa opera con un sistema integrado de gestión utilizando, uno de todo el conjunto de especificaciones de las OHSAS y un par de normas ISO.

Normalmente se suele confundir mucho las OHSAS con la OSHA, pues si bien es cierto se escriben de manera similar ambas realizan acciones muy diferentes, por ejemplo:

- OHSAS: Se les llaman OHSAS al conjunto de especificaciones creadas por la British Estándar Intitution (BSI) para velar por la salud y seguridad en el trabajo, su sigla significa occupational health and safety assessment,

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA BIBLIOTECA

lo cual quiere decir que es un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional.

Dichas especificaciones se dividen en OHSAS 18001 y 18002, en la primera se detallan una serie de especificaciones sobre la salud y seguridad en el trabajo, es la que se usa a diario en sistemas de gestión integrado, específicamente se usan para garantizar un ambiente seguro y protegido en el trabajo, la idea es reducir al máximo cualquier riesgo, o alguna acción innecesaria como un suceso imprevisto que genere un accidente o daño a la salud de los colaboradores en el trabajo.

- OSHA: Es conocida como la administración de seguridad y salud ocupacional (Occupational safety and health administration). Es una entidad creada por el gobierno de los Estados unidos, con el fin de establecer normas de protección en el trabajo, asesorando y dando capacitaciones técnicas tanto a empleadores como empleados.

  Es una entidad reconocida a nivel internacional, está compuesta en conjunto con sus socios estatales, de varios miles de inspectores, asesores e investigadores que se encargan entre otras cosas de dar seguimiento a las quejas de discriminación, riesgos laborales, capacitar y asesorar a las empresas en materia de seguridad laboral.

ISO: Es la organización internacional de normalización, los 159 miembros que la componen son los organismos nacionales de normalización de los países industrializados, en desarrollo y transición, de todos los tamaños y de todas las regiones del mundo.

Las normas internacionales ISO aportan contribuciones muy positivas al mundo de hoy, proporcionando soluciones y beneficios para casi todos los sectores de actividad, dentro de los que encontramos, agricultura, construcción, ingeniería mecánica, transporte, energía gestión de la calidad, evaluación de la conformidad y servicios. Esto es gracias a que se realiza una optimización de los recursos, que se le son asignados por partes interesadas elaborando, solo aquellas normas para las cuales existe una clara necesidad en el mercado.

1.4.8.1. Normativa de la empresa

Las normativas y especificaciones de un modo que pueda ser aplicable a la empresa, en este caso ella cuenta específicamente con las siguientes en cuanto a seguridad, calidad y medio ambiente:

- **OHSAS – 18001, Riesgos laborales:** Satisfacer a los trabajadores, garantizar un ambiente de trabajo sano, seguro y productivo.

- **ISO – 9001, Calidad:** Satisfacer al cliente y consumidor.

- **ISO – 14001, Medio ambiente:** Satisfacer a la sociedad, contribuir al desarrollo sostenible.

En cuanto a ello se encuentra implantado en la empresa una política de calidad, salud, seguridad y medio ambiente enfocado directamente en la satisfacción del cliente, promoviendo la conducta responsable y la mejora continua de sus actividades a través de lo que se conoce como un sistema integrado de gestión el cual está conformado por:

- Calidad: Cumplir con las necesidades y requerimientos de nuestros clientes en términos de calidad de producto y servicios, cumpliendo de manera efectiva los requerimientos establecidos.
- Medio ambiente: Prevenir la contaminación anticipándose a la ocurrencia de incidentes que provoquen impacto en el medio ambiente y en la comunidad, mediante el uso de las buenas prácticas en la operación y el manejo del negocio.

- Salud y seguridad: Proveer lugares de trabajo e instalaciones saludables y seguras para nuestro personal y colaboradores en la cadena productiva – contratistas, proveedores, visitas, promoviendo la prevención de daños a la salud e incidentes en el desarrollo de las actividades.

- Gestión en la seguridad de procesos: Realizar una gestión en la seguridad de los procesos y mantener una cultura de prevención de incidentes relacionados con nuestra operación, que pueden afectar a las personas,

comunidad y medio ambiente, incentivando la disciplina operacional y la integridad de nuestros procesos, de acuerdo a la estructura de gestión en seguridad de procesos.

Por otro lado, además de las normas vistas anteriormente la empresa también incluye las que se requieren desde el punto de vista del proceso, en este caso la que es de suma importancia.

1.4.8.2. Normativa Chilena del hidrogeno

En comparación a algunos países de Latinoamérica, chile está en un estado inicial respecto al vector energético, puesto que las investigaciones que están desarrollando tienen un carácter experimental y en múltiples ocasiones son partes de proyectos de título de alumnos pertenecientes al área química e ingeniería. Aun no existe una asociación nacional o algún centro destinado al desarrollo del hidrogeno como combustible. Además, no existe hasta la fecha por parte de los anteriores gobiernos de turno un plan de investigación de este elemento, como vector energético. La ley de energías renovables no convencionales no contempla en ninguno de sus puntos al hidrogeno como fuente de energía.

- Según normativa, se deberá dar cumplimiento a las disposiciones legales que establece el artículo 21° del decreto supremo N°40, reglamento sobre prevención de riesgos profesionales, respecto a la obligación de informar a sus trabajadores acerca de los riesgos asociados al manejo de gases industriales, tanto de las medidas preventivas, como de los métodos de trabajo correctos en todos los procesos que involucren el uso de gases industriales.

  La normativa en que rige la manipulación del hidrogeno es la misma que la aplicada a otros gases.

  El nombre de esta normativa es la NCH 1377 – cilindros o estanques de gas para uso industrial-identificación del contenido. El hidrogeno se almacena como gas a alta presión y temperatura ambiente o criogénicamente según sea su solicitud, utilizándolo a bajas temperaturas, o bien licuando gas.

  Las normas existentes para el hidrogeno incluyen, no almacenarlo directamente al sol, no almacenarlo junto a estanques de oxígeno y no, recargar estanques que hayan tenido hidrogeno con otros gases, especialmente con oxígeno.

En el caso particular de este trabajo de título nos regiría está por sobre la otra normativa, a pesar que el hidrogeno también es almacenado nos es imperativo señalar el tema del transporte de el en tuberías, el decreto 280 sobre reglamento de seguridad para e transporte y distribución de gas de red, indica las precauciones que se toman para el transporte de gases.

- Seguridad: Debido a que el hidrogeno no deja de ser un combustible, su manejo deberá ser de acuerdo a protocolos y normas de seguridad, a pesar de ello no significa que sea extremadamente peligroso como lo es el producto principal de la empresa pero debe tratarse con el mismo cuidado con el que se manipulan este tipo de productos.

  No obstante al ser un elemento tan ligero, resulta bastante seguro en lugares abiertos, pues presenta una rápida tendencia a fijarse hacia arriba, alejando el posible riesgo de incendio o explosión en la zona. Por otra parte a diferencia de otros gases combustibles, como por ejemplo el CO, no resulta toxico, presenta una baja densidad volumétrica y presenta dificultades para reaccionar en concentraciones pobres. Además requiere una elevada temperatura para que se verifique una combustión espontánea.

  Los inconvenientes que presenta el hidrogeno están relacionados con su manipulación en espacios cerrados, su compleja manipulación en fase liquida debido a la existencia de temperaturas criogénicas, su facilidad de figas dado su pequeño tamaño molecular y su baja energía de activación.

CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO

2.1. PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM (P&id)

2.1.1. Conceptos fundamentales

En cualquier proceso industrial a menudo se suelen encontrar instalaciones de considerables dimensiones y con un sin número de elementos, materiales que se emplean en su construcción o bien instrumentos que cuantifican las mediciones aplicadas en algunos puntos determinados de cada línea de proceso.

Para poder identificar estos equipos, designaciones e instrumentos de la forma más sencilla posible y así poseer una idea de las condiciones de diseño de cualquier proyecto de ingeniería; existe una herramienta denominada por la sigla P&id.

2.1.2. ¿Qué es un P&ID?

Se define como un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) también conocido del idioma inglés como piping and instrumentation diagram/drawing (P&ID) y es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el todos los instrumentos involucrados.

Otro posible nombre que se utiliza para refirse a un P&ID es el de PFD, una forma simplificada del inglés (Process flow diagram), aunque esta es una forma menos utilizada.

Los diagramas P&ID están compuestos por una serie de símbolos que nos permitirán identificar todos los componentes que conforman un proceso, como tuberías, número de líneas de tubería, sus dimensiones y aislaciones respectivamente así como también válvulas, controles, alarmas, equipos, niveles, presostatos, drenajes, purgas, bombas, etc. Poseen además un instrumento de símbolos, standard, utilizados principalmente en estos diagramas el cual se basan en las normas ANSI/ISA-5.1-1984 (Identificación y símbolos de instrumentación) y también la ISA-5.3-1983 (Símbolos gráficos para el control distribuido, instrumentación de desplegados compartidos y sistemas lógicos computarizados) las cuales son las guías más acertadas para el desarrollo de toda la simbología en lo que se refiere a instrumentación y sistemas de control en industrias químicas, petroquímicas, de generación de energía, pulpa y papel, refinación de metales entre otros.

2.1.4.4. Unión de tipo T

Son accesorios fabricados en diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y Schedule (espesor de pared calculado para las condiciones de trabajo de la cañería o accesorio) y se utilizan para dar rumbos diferentes a los fluidos transportados en dicha cañería.

Entre los tipos de uniones tipo te, podemos encontrar uniones de diámetros iguales o uniones de T rectas, también encontramos uniones reductoras con dos orificios de igual diámetro y uno diferente.

Entre las características más comunes tenemos:

- Diámetro: Las uniones te existen en diámetros desde ¼" hasta los 40" los cuales son las más utilizadas normalmente.
- Espesor: Este factor depende del espesor de la cañería o accesorio a la cual va a ser instalada y ellos existen desde el espesor de fabricación hasta el doble extra pesado (se destacan por soportar grandes cargas con mínima deflexión, ya sean concentradas o uniformemente repartidas).
- Aleación: Las más usadas en la fabricación son aceros al carbono, inoxidables y galvanizados.
- Juntas: Para poder instalar uniones te, en alguna línea de cañería en específico se puede hacer, mediante procedimientos de rosca (thredolet), embutible-soldable (socket-weld) o soldable a tope (butt-weld).
- Dimensión: Es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la unión de tipo T.

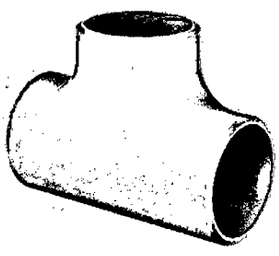


Figura 2.5 Unión Tipo T.

Fuente: www.thepipefitting.com.

2.1.4.5. Reducción

Se denominan reducciones a los accesorios de forma cónica, fabricados de diversos materiales y aleaciones, los cuales son utilizados para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de las cañerías.

Entre los tipos más comunes encontramos, los de tipo estándar concéntrica, el cual es un accesorio reductor utilizado para la disminución del caudal del fluido, aumentando su velocidad, manteniendo su eje. Por otro lado encontramos los de tipo estándar excéntrico, los cuales al igual que los anteriores disminuyen el caudal de la línea, aumentando su velocidad pero perdiendo su eje.

Entre las características más comunes están:

- Diámetro: Es la medida del accesorio o diámetro nominal, y varía desde ¼" x 3/8" hasta diámetros mayores encontrados en la norma ASME B16.5.
- Espesor: Es el grosor de las paredes de la reducción. Y depende de las cañerías o accesorios a la cual será instalada. Se presenta una variedad que va desde el espesor estándar hasta el de doble extra pesado.
- Aleación: Es la mezcla de los materiales metálicos que son utilizados en la fabricación de una reducción, siendo las más utilizadas: aceros al carbono, también aceros con un % de cromo, aceros inoxidable, etc.
- Junta: Es el tipo de instalación a través de juntas roscables, embutibles soldables y soldables a tope.
- Dimensión: Es la medida de boca a boca de la reducción concéntrica y excéntrica.

Figura 2.6 Reducción Gradual.

Fuente: www.thepipefitting.com.

2.1.4.6. Válvulas

Es un accesorio que se utiliza para regular y controlar el flujo de una cañeria, siendo las válvulas el elemento que comprende del 20 al 30% del costo de la cañería en una empresa según sea su proceso. Siendo visto desde el punto de vista del proceso en donde la válvula puede estar completamente cerrada permitiendo un nivel de flujo cero, o bien estar completamente abierta, además de N.A (normalmente abierta) o N.C. (normalmente cerrada), puede permitírsele estar en un estado parcial según sea la necesidad de posiciones intermedias.

La selección de válvulas toma real valor cuando se pone desde el punto de vista económico, debido a que algunas marcas o bien el proceso pueden incidir gradualmente en su costo.

Según sus características estas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador (parte móvil que permite variar el tamaño de la abertura del pasaje de la válvula). También se pueden clasificar según la función que cumple, entre las cuales pueden ser de cierre o bloqueo, de estrangulación o para impedir el flujo inverso (de retención).

Entre las válvulas más comunes se encuentran:

- Válvula de mariposa: Son uno de los tipos más usuales, además de sencillas, ligeras y de bajo costo en su inversión inicial. El costo de mantenimiento también es bajo, debido a que estas tienen un mínimo de piezas móviles. El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encajado en el cuerpo. El uso principal de las válvulas de mariposa es, para el corte de línea o la estrangulación cuando se manejan grandes volúmenes de gases y líquidos a presiones relativamente bajas

- Válvula de bola: El cuerpo de este tipo de válvula posee una cavidad interna de forma esférica que alberga un obturador en forma de bola o esfera. La bola posee un corte adecuado en forma de V, que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre hermético se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está

cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75% del tamaño de la cañeria. La válvula de bola se emplea principalmente en el control del caudal de fluidos negros o bien fluidos con un porcentaje de sólidos en suspensión.

- Válvula de compuerta: este tipo de válvula supera en número a otros tipos de válvulas en cuanto a los servicios en donde se requiera una circulación interrumpida y poca caída de presión.

  Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando esta en posición de apertura total.

- Válvula de globo: Son utilizadas para cortar en la medida en que se requiera, un determinado fluido. Las características de los servicios de estas válvulas que se encuentran en operación frecuentemente incluyen, estrangulamiento al grado deseado de cualquier flujo (gases y aire), además de una alta resistencia y caída tolerable de presión en la línea. Pueden ser de asiento (abertura a través de la cual pasa el fluido), de donde asiento y de obturador equilibrado respectivamente. Las válvulas con un accionamiento del asiento simple se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas, se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajar esta, con una alta presión diferencial.

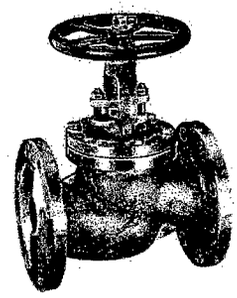


Figura 2.7 Válvula de Globo.

Fuente: www.theindustrialvalvesball.com.

2.2. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

El problema principal que afecta a la empresa es la corrosión, por ende algunos materiales no son aptos para este tipo de proceso, todo se debe al hecho de que en la planta existe un porcentaje de sal en el aire en algunas áreas, mientras que en otras por transportar el producto llamado clorato de sodio, se vuelve imposible utilizar materiales que presenten un posible riesgo de ignición debido al roce de las paredes de este material con el fluido.

La corrosión en algunos metales y sus aleaciones puede terminar siendo un problema grave en algunos casos, siendo que la mayoría de estas situaciones pudiesen ser evitadas con la adecuada selección de la amplia gama que hoy existe en el comercio. Entre ellos claro está, no solamente se refiere metales sino que también a plásticos, cauchos materiales cerámicos pinturas u otros más variados como revestidos o recubiertos de aislantes.

Aunque la gran resistencia a la corrosión de algunos materiales es un factor importante a la hora de su selección; no es el que condiciona su elección, debido a que también mucho dependerá del trabajo y tamaño de la planta los cuales son patrones de gran importancia a la hora de escoger los materiales indicados.

Los códigos para los recipientes a presión son los que proveen las condiciones de corrosión al indicar los espesores de pared. Según el tipo de corrosión: generalizada, por picado, bajo tensiones, con fatiga, intergranular, etc.

A menudo la corrosión puede prevenirse cuidando detalles en el diseño más que seleccionando materiales más resistentes y por ende más costosos.

2.2.1. Consideraciones generales y criterios de diseño

El diseño básico de una red de piping o de cañerías depende de diversos elementos que lo conforman tales como cañerías, bridas, empaquetaduras, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor, juntas de expansión. Así como el diseño de los elementos de soporte, tales como accesorios que deban ir montados a altura, pero no incluye el de las estructuras que fijan los soportes, tales como pórticos de acero u otro elemento de soporte diseñado para el conjunto.

A continuación se establecerán algunas pautas básicas a tener en cuenta en el diseño de una planta:

a) Establecer condiciones de diseño, esto incluye presión, temperatura y otras condiciones tales como, la velocidad del viento en algunos casos al igual que movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de diferentes tipos de carga.
b) Determinación del diámetro de la cañería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
c) Selección de los materiales de la tubería, con base en la corrosión, fragilizarían y resistencia mecánica.
d) Clasificación de bridas y válvulas.
e) Calculo de espesor mínimo de la pared (Schedule) para las temperaturas y presiones de diseño que son propuestas por las normas ASME B31, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
f) Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de cañerías.
g) Análisis de esfuerzos por flexión para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén en el rango de los valores admisibles, con el fin de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores limites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.

2.2.2. Normas de diseño

Las normas más utilizadas en el análisis de sistemas de cañerías, son las normas pertenecientes a la American Standar Institute y la American Society Of Mechanical Engineers ANSI/ ASME B31.1, B31.3, entre otras; en lo que respecta directamente al diseño aplicado en industrias encontramos las siguientes normativas.

CARACTERISTICAS	DISEÑO
Transporte de vapor	ASME B 31.1
Refinerías y plantas petroquímicas	ASME B 31.3/API 5L
Transporte de hidrocarburos y derivados	ASME B31.4/API 5L
Transporte de distribución de gas	ASME B31.8/API 5L

Tabla 2.2 Normas de Diseño.

Fuente: Manual de Inspeq Ingeniería LTDA.

En lo que concierne al diseño todas las normas son bastante similares, existiendo como es de comprender, algunas discrepancias en relación a las condiciones del diseño, al cálculo de los esfuerzos y los factores admisibles.

2.2.3. Presión de diseño

La presión de diseño no será menos que la presión expuesta a las condiciones más severas de presión y temperatura, externa o internamente, que se espere de operación en condición normal de funcionamiento.

La condición más severa de presión y de temperatura será aquella que resulte en el mayor espesor requerido y en la clasificación (rating) más alta de los componentes del sistema de piping.

Este requisito se cumple utilizando presiones de diseño del rango de las 30 Lbs/pulg^2 o 10% más que la presión de trabajo, también, se debe considerar la presión hidrostática del fluido o cualquier otra sustancia contenida en el recipiente.

2.2.4. Temperatura de diseño

La temperatura de diseño es aquella en que el metal, aleación o material, presenta una condición más severa de presión y temperatura; Los requisitos para determinar la temperatura de diseño se deben considerar los siguientes puntos:

- Para los componentes de la Cañeria con aislamiento externo, la temperatura del material para el diseño será como máximo la temperatura del diseño del fluido contenido, tales como el caso de las cañerías recubiertas de PVC recubiertas con fibra de vidrio.
- En cuanto a las cañerías sin aislamiento externo y sin revestimiento interno, con fluidos a temperaturas de 32°F (0°C) y superiores, la temperatura del material para el diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido reducida, para ello se presenta la siguiente tabla de porcentajes según componentes:

COMPONENTES	PORCENTAJE DE TEMPERATURA (T°)
Válvulas, cañerías, uniones solapadas y accesorios soldados	5
Accesorios enflangeados (bridados)	10
Bridas (en línea)	10
Bridas de uniones solapadas	15
Empaquetaduras (en uniones en línea)	10
Pernos (en uniones en línea)	20
Empaquetaduras(en casquetes de válvulas)	15
Pernos (encasquetes de válvulas)	30

Tabla 2.3 Temperaturas de Diseño para Equipos de Línea.

Fuente: Manual Inspeq Ingeniería Ltda.

- Para temperaturas de fluidos menores de 32°F (0°C), la temperatura del material, aleación o metal para el diseño, será la temperatura de diseño del fluido contenido.
- Para tuberías aisladas internamente la temperatura será especificada o será calculada usando la temperatura ambiental máxima sin viento (velocidad cero).

2.2.5. Espesor de pared

El mínimo para el espesor de pared en cualquier cañería a presión interna o externa, dependerá de la norma de diseño por la cual se basa e proyecto, y en general se encuentra dada en función de:

- El esfuerzo permisible para el material de la cañería.
- Presión de diseño propuesta por los diseñadores.
- Diámetro de la cañería.
- Tolerancia en el diámetro de corrosión dependiendo del material.
- Factor de junta dependiendo del material, encontrado en las normas de diseño.
- Factor de calidad encontrado en las normas de diseño.

Además, el espesor de pared de una cañería sometida a una presión externa es una función de la longitud de la cañería, pues esta incluye la resistencia al colapso de dicha cañería.

2.3. PERDIDAS DE CARGA

En la conducción de fluidos existen dos tipos de conducciones, por las cuales este es transportado, dichas son mediantes conductos cerrados tales como tuberías o cañerías, en donde dicho fluido se encuentra bajo presión; mientras que el otro tipo es de conductos abiertos o canales, en donde el fluido se encuentra a presión atmosférica y cuentan con una superficie al aire libre.

En todo parrón de cañerías se encuentran perdidas de carga, las cuales son dividías en pérdidas primarias y secundarias:

- Perdidas Primarias: Son las que se producen por el contacto del fluido con la superficie de la cañeria, entre sus capas y por rozamiento de sus partículas, en otras palabras son las pérdidas en los tramos rectos de la cañeria.
- Perdidas Secundarias: Son las pérdidas originadas producto de los cambios de dirección o de la forma de la cañeria, en ellas se pueden mencionar codos, transiciones, tees, ampliaciones, reducciones o bien uniones.

2.3.1. Pérdidas primarias

Para realizar el cálculo de pérdidas de carga tanto en tuberías como en cañerías, existen dos factores que juegan un papel determinante:

2.3.1.1. Definir el tipo de tubería: lisa o rugosa

a) Lisa: Plástica o de cobre.
b) Rugosa: Acero, hierro fundido, cemento.

2.3.1.2. Numero de Reynolds

El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante de si el fluido es laminar o turbulento debido a que el fluido intermedio se considerara despreciable puesto que solo se dará en ciertas condiciones especiales, debido a ello es ideal, el poseer medios para predecir el tipo de flujo sin la necesidad de observarlo, y a pesar que la observación directa es imposible para los fluidos que transitan en ductos opacos, se puede demostrar experimentalmente y

verificar analíticamente el carácter del flujo en un conducto redondo depende de cuatro variables: la densidad de un fluido (ρ), la viscosidad del fluido (μ), el diámetro del conducto (D), y la velocidad promedio de flujo(v). Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que un flujo laminar o turbulento puede ser predicho si se conoce la magnitud de un numero adimensional, conocido ahora como número de Reynolds (N_R).

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu}$$

Ecuación 3 Numero de Reynolds.

Estas dos formas de la ecuación son equivalentes, puesto que $\nu = \mu/\rho$, el número de Reynolds es adimensional, sin embargo es imprescindible que todos los términos de la ecuación estén en unidades congruentes, con el fin de obtener un valor numérico correcto para N_R. En unidades del sistema británico, v debe estar en pies por segundo, D en pies, ρ en slug/pies^3, μ en libras por segundo por pie cuadrado (lb*s/pies^2), y ν en pies cuadrados por segundo (pies^2/s).

El número de Reynolds es el cociente de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido, entre la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se deriva de la segunda ley de newton del movimiento, $F=ma$. Mientras que la fuerza viscosa está relacionada con el producto de la tensión de corte por el área.

Los flujos que poseen un numero de Reynolds grande, típicamente es debido a una alta velocidad o a una baja viscosidad, o simplemente producto de ambas, tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos que poseen una alta viscosidad o que se mueven a bajas velocidades tendrán un numero de Reynolds pequeño y tendrán que ser laminares.

Para aplicaciones prácticas en flujos de conductos, tenemos que si el número de Reynolds posee un flujo menos a 2000 como bien se dijo antes este será laminar y si el Reynolds fuese mayor a 4000 el flujo seria turbulento, existe un intermedio entre el 2000 y el 4000 aunque es imposible de predecir por ende este es conocido como región critica. Las aplicaciones típicas involucran flujos que se encuentran bien colocados en el intervalo de los flujos laminares o en el intervalo de flujos turbulentos, de modo que la existencia de esta región de incertidumbre no ocasiona gran dificultad.

Si se encuentra el flujo en la denominada región crítica, la práctica normal consiste en cambiar la rapidez de flujo o el diámetro del conducto para hacer que el flujo sea claramente laminar o turbulento. Entonces se hace posible un análisis más preciso.

2.3.1.3. Seleccionar el tipo de régimen al que el fluido será sometido.

Mediante una cuidadosa minimización de las perturbaciones externas, es posible mantener un flujo laminar para números de Reynolds hasta de 50.000. Sin embargo, cuando N_R que aproximadamente 4000, una perturbación menor de la corriente de flujo ocasionaría un cambio súbito en el flujo de laminar a turbulento.

c) Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar.
d) Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

2.3.1.4. Perfiles de velocidad.

Si no se indica una velocidad propia, se debe asumir que el termino velocidad promedio del flujo se podrá determinar a partir de la ecuación de continuidad.

$$A = \pi * D^2/4$$

Ecuación 4 Area de un Cilindro.

Una vez obtenida nuestra área se procederá a calcular la velocidad:

$$v = Q/A$$

Ecuación 5 Perfil de velocidad.

Sin embargo, en algunos casos debemos determinar la velocidad del fluido en un punto dentro de la corriente del flujo.

La magnitud de la velocidad no es en modo alguno, uniforme a través de una sección particular del conducto, y, como se podrá ver en la figura a continuación, la forma en que la velocidad varia con respecto a la posición dependerá del tipo de flujo que exista, por ejemplo, si es laminar:

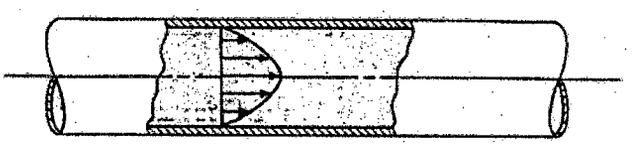


Figura 2.8 Perfil de Velocidad Flujo Laminar.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

O bien en caso contrario, se puede apreciar, la cañeria con un fluido turbulento:

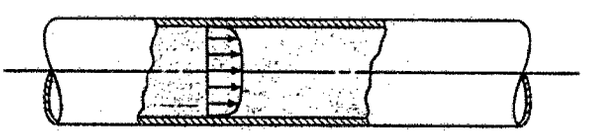


Figura 2.9 Perfil de Velocidad Flujo Turbulento.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

Tal y como se puede observar en la figura 2.9, del perfil de velocidad del flujo turbulento, se aprecia una capa delgada de fluido cerca de la pared del conducto en donde la velocidad es bastante pequeña y en la cual el flujo es realmente laminar. A esta se le conoce como capa frontera.

Debido a la regularidad del perfil de velocidad en un flujo laminar, podemos definir una ecuación para la velocidad local en cualquier punto dentro de la trayectoria de flujo. Si llamamos a la velocidad local (U), a un radio (r), al radio máximo (r_o) y a la velocidad promedio (v), entonces

$$U = 2v[1 - (r/r_o)^2]$$

Ecuación 6 Velocidad Promedio Flujo Laminar.

2.3.1.5. Ecuación de Darcy

En la ecuación general de la energía:

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{\rho_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

Ecuación 7 Ecuación general de la Energia.

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

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

Ecuación 8 Ley de Darcy.

En la que:

- h_L: perdida 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 la perdida de energía en secciones largas y rectas de cañerías y tubos 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.

2.3.1.6. Perdidas de fricción en flujo laminar

El fluido en el flujo laminar parece desplazarse en forma de varias capaz, una sobre otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea una tensión de corte entre las capas del fluido. La energía se pierde del fluido mediante la acción de vencer a las fuerzas de fricción producidas por la tensión de corte. Puesto que el flujo laminar es tan regular y ordenado, podemos derivar una relación entre la pérdida de energía y los parámetros medibles del sistema de flujo.

Esta relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille.

$$h_L = \frac{32\mu L v}{\gamma D^2}$$

Ecuación 9 Ecuación de Hagen Poiseuille.

Para parámetros implicados son las propiedades del fluido correspondientes a las viscosidades y al peso específico, las características geométricas correspondientes a longitud y diámetro del conducto, y la dinámica del flujo, caracterizada por la velocidad promedio. Las pérdidas por fricción viscosa dentro del fluido determinan la magnitud de la perdida de energía.

La ecuación de Hagen-Poiseuille solamente es válida para los fluidos laminares ($N_R < 2000$). Sin embargo, Darcy también podría usarse para calcular la perdida por fricción en un flujo laminar. Si se igualan las dos relaciones para h_L. Se logra despejar valor del factor de fricción de la siguiente forma:

$$f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = \frac{32\mu L v}{\gamma D^2}$$

Ecuación 10 Metodo uno, Factor de Fricción Flujo laminar.

O bien, dependiendo de los valores obtenidos se puede usar también:

$$f = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} * \frac{D2g}{Lv^2} = \frac{64\mu g}{vD\gamma}$$

Ecuación 11 Metodo dos, Factor de Fricción Flujo Laminar.

Como $\rho = \gamma/g$, obtenemos:

$$f = \frac{64\mu}{vD\rho}$$

Ecuación 12 Despeje del Metodo dos Factor de Fricción Flujo Laminar.

El número de Reynolds se define como $N_R = vD\rho/\mu$; entonces tenemos:

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

Ecuación 13 Forma Simplificada del Factor de Fricción Flujo Laminar.

2.3.1.7. Pérdidas de fricción en flujo turbulento

Para flujos turbulentos de fluidos en conductos circulares resulta más conveniente utilizar la ecuación de Darcy para poder calcular la perdida de energía debido a la fricción.

No es posible determina el factor de fricción, f mediante un simple cálculo, como se realiza para el flujo laminar, pues el flujo turbulento no se conforma de movimientos regulares y predecibles.

Es bastante caótico y está cambiando constantemente. Por ello es de vital importancia confiar en los datos experimentales para determinar el valor de f.

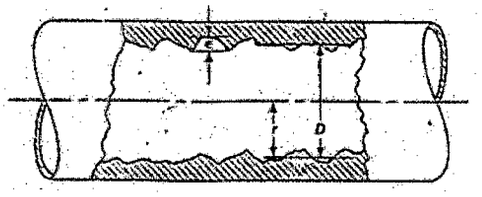


Figura 2.10 Perdidas Por Fricción Flujo Turbulento.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

Las pruebas han demostrado que el número adimensional f depende de otros dos números, también adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto. Esta última es el cociente del diámetro,D del conducto entre la rugosidad promedio, ε (letra griega de épsilon), de la pared del conducto.

En la figura anterior se aprecia la rugosidad de la pared de un conducto (exagerada) como la altura de los picos de las irregularidades superficiales. La condición de superficie del conducto depende bastante del material con que está hecho el conducto y el método de fabricación.

Para cañerías (conductos) y tuberías disponibles comercialmente, el valor de diseño de la rugosidad de pared, ε, ha sido determinada mediante una tabla que muestra las rugosidades de diversos materiales:

MATERIAL	Rugosidad absoluta, e (m)
Vidrio plástico	Suavidad
Cobre , latón, plomo, (tubería)	$1,5 \times 10^{-6}$
Hierro fundido sin revestir	$2,4 \times 10^{-4}$
Hierro fundido: revestido de asfalto	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero comercial o acero soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro forjado	$4,6 \times 10^{-5}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$

Tabla 2.4 Rugosidad de Conducto: Valores de Diseño.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott

Adicional a ello también podemos mencionar:

- PVC/PFRP: $1,5*10^{-3}$ (m)
- Titanio: $1,5*10^{-3}$ (m)
- Concreto: $1,2*10^{-3}$(m)

El coeficiente de rugosidad utilizado para obtener el factor de fricción, en conjunto con el número de Reynolds se calculara de la siguiente forma:

$$\varepsilon_r = \frac{N_R}{\varepsilon}$$

Ecuación 14 Coeficiente de Rugosidad.

Uno de los métodos más exigentes empleados para evaluar el factor de fricción hace uso del diagrama de Moody; Vea anexo 5. El factor de fricción, f graficado contra el número de Reynolds, N_R. Con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa, D/ε.

Tanto f como N_R están graficados en escalas logarítmicas, debido al amplio intervalo de valores encontrados. En el extremo izquierdo del diagrama para números de Reynolds menores que 2000, la línea recta muestra la relación $f= 64/N_R$ para el flujo laminar. Para $2000 < N_R < 4000$, no se trazan curvas, pues se trata de la zona critica entre un flujo laminar y turbulento y no es posible predecir el tipo de flujo.

Más arriba de $N_R = 4000$, se grafica la familia de curvas para diferentes valores de D/ε. A partir de estas curvas se pueden hacer varias observaciones importantes:

1. Para un número de Reynolds dado un flujo, conforme la rugosidad relativa, D/ε aumenta, el factor de fricción disminuye.

2. Para una cierta rugosidad relativa dada, D/ε, el factor de fricción disminuye al aumentar el número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.

3. Dentro de la zona de completa turbulencia, el número de Reynolds no tiene efecto alguno sobre el factor de fricción.

4. Conforme aumenta la rugosidad relativa, D/ε, el valor del número de Reynolds en el cual se inicia la zona de completa turbulencia empieza a aumentar.

En la figura que se presenta a continuación se aprecia un diagrama más simplificado de Moody en el cual se identifican las diferentes zonas.

La zona laminar en la parte izquierda ya ha sido analizada. Mientras que en la parte derecha de la línea punteada que cruza el diagrama se encuentra la zona de completa turbulencia. El factor de fricción más pequeño posible para un flujo turbulento es indicado por la línea correspondiente a conductos lisos.

Entre la línea de conductos lisos y la pequeña línea que señala el inicio de la zona de completa turbulencia se encuentra la zona de transición. En esta, las diferentes líneas D/ε están curvada, y se debe tener cuidado de evaluar el factor de fricción de forma adecuada.

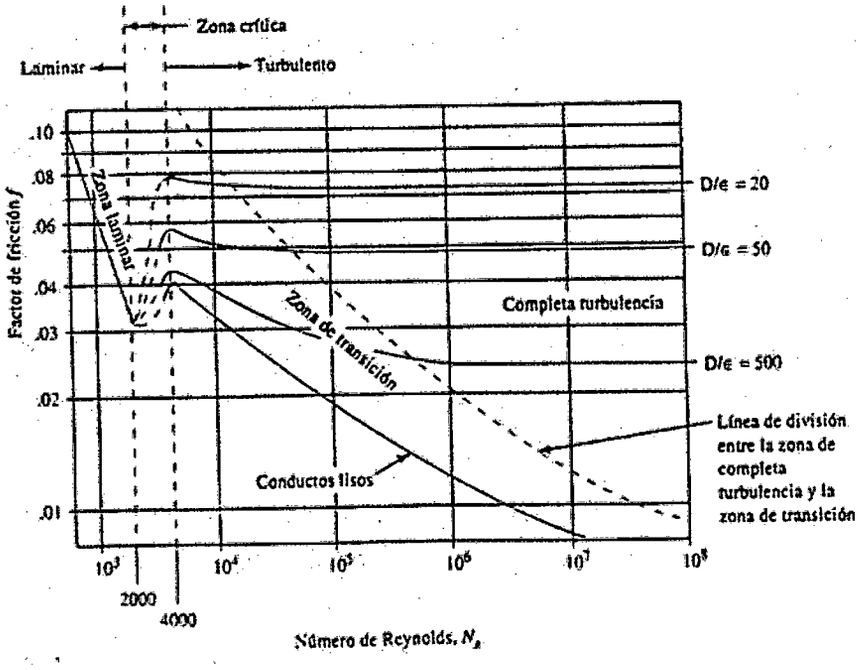


Figura 2.11 Diagrama de Moody.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

Las curvas punteadas muestran como el factor de fricción podría cambiar de acuerdo con el valor de la rugosidad relativa. Para valores bajos de D/ε (lo cual indica una rugosidad de pared del conducto alta), el aumento en el factor de fricción es mayor conforme el flujo cambia de laminar a turbulento. La pérdida de energía es proporcional al factor de fricción, los cambios en dicha magnitud son significativos.

Debido a que la rugosidad relativa se define como D/ε, una alta rugosidad relativa indica un valor bajo de ε, es decir, un conducto liso, de hecho en la curva etiquetada como conductos lisos se utilizan para materiales, como el vidrio, ya que poseen una rugosidad relativa tan pequeña que D/ε sería un número extremadamente grande.

2.3.1.8. Uso del diagrama de Moody

Ver anexo 5. El diagrama de Moody se utiliza como una ayuda para determinar el valor del factor de fricción f, para el flujo turbulento. Deben conocerse los valores del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. Por consiguiente, los datos básicos requeridos son el diámetro interior del conducto, el material con el que el conducto está hecho, la velocidad de flujo, el tipo de fluido y su temperatura, con los cuales se puede encontrar la viscosidad.

2.3.1.9. Ecuaciones del factor de fricción

El diagrama de Moody; Ver anexo 5. Es un medio conveniente y lo suficientemente preciso para determinar el factor de fricción cuando se resuelven problemas mediante cálculos manuales y para este trabajo será el método seleccionado, sin embargo en ocasiones los cálculos deben ser automáticos a fin de obtener una solución inmediata en un computador o alguna calculadora programable, para ello es necesario poseer ecuaciones que nos ayuden a llegar al valor del factor de fricción.

La ecuación que se utiliza para trabajos con diagrama de Moody cubre tres diferentes zonas del diagrama. En la zona de flujo laminar, para valores del número de Reynolds por debajo de 2000, f puede encontrarse con la ecuación 13.

Esta relación, esta graficada en el diagrama de Moody como una línea recta en el lado izquierdo del diagrama. Para los números de Reynolds desde 2000 hasta 4000, el flujo se encuentra en la región crítica y es imposible predecir el valor de f.

Por encima del número de Reynolds de 4000, por lo general el flujo se conoce como turbulento. Sin embargo, en esencia existen dos zonas de interés en este punto. Hacia el lado derecho del diagrama, el flujo está en la zona de completa turbulencia. Se puede observar que el valor de f no depende del número de Reynolds, sino solo de la rugosidad relativa D/ε. En este intervalo, se aplica la siguiente formula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2log_{10}(3.7\,D/\varepsilon)$$

Ecuación 15 Intervalo de Rugosidad Zona Derecha Diagrama de Moody.

La frontera de esta zona es la línea punteada que corre, por lo general, de la parte superior izquierda a la parte inferior derecha del diagrama de Moody. La ecuación de esta línea es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{N_R}{200(D/\varepsilon)}$$

Ecuación 16 Intervalo de Rugosidad Zona Izquierda Diagrama de Moody.

La tercera zona del diagrama de Moody, que se conoce como zona de transición, se encuentra entre la zona de completa turbulencia y la línea que se identifica como conductos lisos. La línea de conductos lisos tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2log_{10}\left(\frac{N_R\sqrt{f}}{2.51}\right)$$

Ecuación 17 Intervalo de Rugosidad Zona Transición Diagrama de Moody.

Siendo lisos, estos conductos no presentan irregularidades superficiales al flujo, de modo que el factor de fricción solo es función del número de Reynolds. Los conductos hechos de vidrio o de cobre tienen un valor de rugosidad relativa que los acerca a la línea de conductos lisos.

En la zona de transición, el factor de fricción es función tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa. C.F. Colebrook desarrollo la relación para el factor de fricción en esta zona:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2log_{10}\left(\frac{1}{3.7\ D/\varepsilon} + \frac{2.51}{N_R\sqrt{f}}\right)$$

Ecuación 18 Rugosidad Realativa Metodo Coleebrook.

A pesar de que es una forma confiable de obtener el valor del factor de fricción para cañerías o tuberías lisas en terreno no es muy util, debido a que su exactitud dependerá en gran medida de los equipos que haya disponibles en el momento y lugar del cálculo.

2.3.1.10. Diferencias de carga en la cañería o tubería

Cuando ya se encuentra determinado el número de Reynolds, la rugosidad relativa del material de la cañería o tubería, así como también identificado el valor del factor de fricción, se suele proceder con la diferencia de carga en la cañería a fin de saber cuánta es la presión que se pierde del punto uno al punto dos de una sección o tramo de cañería, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta P_1 = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho V^2}{2}$$

Ecuación 19 Diferencias de Carga en la Cañería.

2.3.1.11. Energía necesaria para transportar el fluido

Una vez determinados los puntos que representan las pérdidas de carga mayores o primarias es necesario calcular la energía necesaria para llevar dicho fluido de un punto a otro y para ello se utilizara la siguiente ecuación:

$$\dot{W} = Q * \Delta P_1$$

Ecuación 20 Energia Necesaria Para Transportar el Fluido.

2.3.2. Pérdidas Secundarias

2.3.2.1. Fuentes de perdidas menores

En la mayor parte de los sistemas de flujo, la pérdida de energía primaria se debe a la fricción de conducto, no obstante existen otros tipos de perdida pero al ser demasiado pequeños en comparación al ya mencionado, se les da el nombre de perdidas menores. Las perdidas 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. La energía se pierde bajo estas condiciones debido a fenómenos físicos bastante complejos. La predicción teórica de la magnitud de estas pérdidas también es compleja, y por tanto normalmente se usan los datos experimentales.

Las pérdidas de energía son proporcionales a la cabeza de velocidad del fluido, al fluir este alrededor de un codo, a través de una dilatación (ensanchamiento) o contracción (reducción) de la sección de la cañeria o tubería respectivamente, o a través de una válvula. Los valores experimentales de pérdidas de energía generalmente se reportan en términos de un coeficiente de resistencia, K, de la siguiente forma:

$$h_L = K(v^2/2g)$$

Ecuación 21 Ecuacion General de Perdidas de Energia Menores.

En la ecuación 21, h_L es la pérdida menor, K es el coeficiente de resistencia y v es la velocidad de flujo promedio en el conducto en la localidad donde se presenta la perdida menor. En algunos casos, puede haber más de una velocidad de flujo, como en las dilataciones o en las contracciones. Es de vital importancia el saber qué velocidad se debe utilizar con cada coeficiente de resistencia.

Si la cabeza o zona superior de velocidad $v^2/2g$ de la ecuación recién vista, se expresa en las unidades de metros, entonces la pérdida de energía h_L también estará en metros o Nm/N de flujo de fluido. El coeficiente de resistencia no tiene unidades, pues representa una constante de proporcionalidad entre la perdida de energía y la cabeza de velocidad. La magnitud de coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la perdida y algunas veces depende de la velocidad de flujo.

2.3.2.2. Dilatación súbita

Al fluir un fluido de un conducto menor a uno mayor a través de una dilatación súbita, su velocidad disminuye abruptamente, ocasionando una turbulencia que genera una pérdida de energía. La cantidad de turbulencia, y por consiguiente, la cantidad de perdida de energía dependen del cociente de los tamaños de las cañerías.

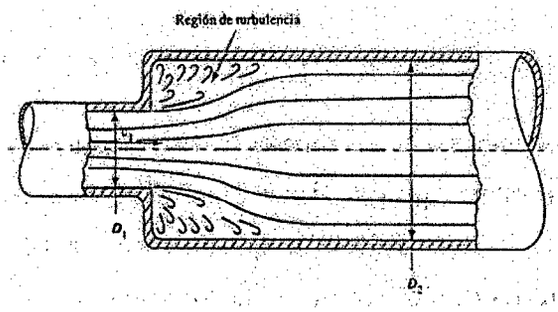


Figura 2.12 Dilatación Súbita.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott

La pérdida menor se calcula de la ecuación:

$$h_L = K(v1^2/2g)$$

Ecuación 22 Perdida Menor en Dilataciones Subitas.

Donde $v1$ es la velocidad de flujo promedio en el conducto menor que está delante de la dilatación. Las pruebas han demostrado que el valor del coeficiente de perdida K depende tanto de la proporción de los tamaños de las dos cañerías como de la magnitud de la velocidad de flujo.

Esto se puede apreciar en la gráfica del anexo 6 o bien en la forma tabular en la tabla de a continuación.

Al hacer ciertas suposiciones de simplificación respecto del carácter de la corriente de flujo, al expandirse a través de una simplificación, respecto del carácter de la corriente de flujo al expandirse a través de una dilatación súbita, es posible predecir analíticamente el valor de K a partir de la siguiente ecuación:

$$K = [1 - (A_1/A_2)]^2 = [1 - (D_1/D_2)^2]^2$$

Ecuación 23 Coeficiente de Perdida Menor en Dilataciones Subitas.

Los subíndices uno y dos se refieren a las secciones menores y mayores, respectivamente. Los valores para K de esta ecuación concuerdan con los datos experimentales cuando la velocidad $v1$ es aproximadamente 1.2 m/s. a velocidades mayores, los valores reales de K son menores que los valores teóricos. Es recomendable usar valores experimentales, si es que se conoce la velocidad de flujo:

	Velocidad, v_1						
D_2/D_1	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.95	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
∞	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

Tabla 2.5 Velocidades Convertidas a Unidades S.I.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott

2.3.2.3. Pérdidas de salida

Durante el flujo de un fluido de un conducto hacia un gran depósito o tanque, como se puede apreciar en la figura de a continuación, se observa que su velocidad disminuye hasta casi cero.

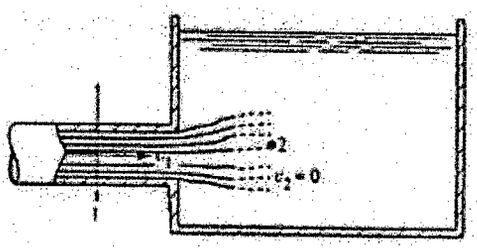


Figura 2.13 Perdida de Salida al Fluir de un Conducto Hacia un Depósito Estático.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

En el proceso, la energía cinética que el fluido poseía en el conducto, indicada por la cabeza de velocidad $v1^2/2g$. Se disipa. Por lo tanto, la perdida de energía para esta condición es:

$$h_L = 1.0(v1^2/2g)$$

Ecuación 24 Perdida Menor en Salida..

Esta se denomina perdida de salida. El valor para $K = 1.0$ se utiliza sin importar la forma de salida donde el conducto se conecta con la pared del tanque.

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA
CONCEPCION

2.3.2.4. Dilatación gradual

La transición de un conducto menor a uno mayor puede hacerse menos abrupta que la dilatación súbita de bordes cuadrados, la perdida de energía se reduce. Esto normalmente se hace colocando una sección cónica entre los dos conductos, como se puede apreciar en la figura de a continuación, en la que las paredes en pendiente del cono tienden a guiar el fluido durante la desaceleración y expansión de la corriente de flujo.

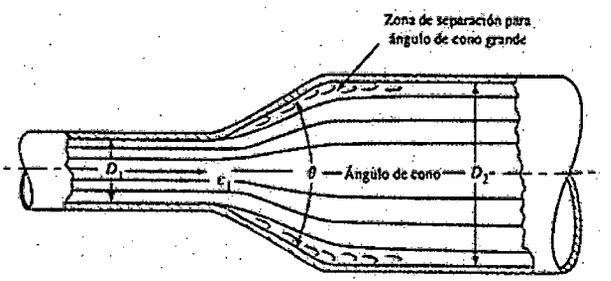


Figura 2.14 Dilatación Gradual.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

La pérdida de energía por una dilatación gradual se calcula a partir de la ecuación 21:

$$h_L = K(v1^2/2g)$$

Donde $v1$ es la velocidad del conducto menor que esta delante de la dilatación. La magnitud de K depende tanto de la proporción del diámetro D_2/D_1 como del ángulo de cono, Θ. Para visualizar o bien para efectos de cálculo, acerca de la gráfica del coeficiente de resistencia de la dilatación gradual, vea anexo 7.

La pérdida de energía calculada de la ecuación anterior no incluye la perdida debido a la fricción en las paredes de la transición. Para ángulos de cono relativamente empinados, la longitud de la transición es corta y por lo tanto, la perdida de fricción de la pared es despreciable. Sin embargo, al disminuir el ángulo del cono, la longitud de la transición se incrementa y la fricción de la pared se hace significativa.

Tomando en cuenta tanto la perdida de fricción de la pared como la perdida debido a la dilatación, podemos obtener la perdida de energía mínima con un ángulo de cono de aproximadamente siete grados.

	Ángulo del cono, θ											
D_2/D_1	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

Tabla 2.6 Tabla del Coeficiente de Resistencia de la Dilatación Gradual.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

2.3.2.5. Contracción súbita

La pérdida de energía debido a una contracción súbita, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$h_L = K(\upsilon 2^2/2g)$$

Ecuación 25 Perdida Menor en Contracciones Subitas.

Donde $\upsilon 2$ es la velocidad en la corriente hacia abajo del conducto menor a partir de la contracción.

El coeficiente de resistencia K depende de la proporción de los tamaños de los conductos y de la velocidad de flujo, como se puede apreciar en la figura que se muestra a continuación, así como su tabla explicativa.

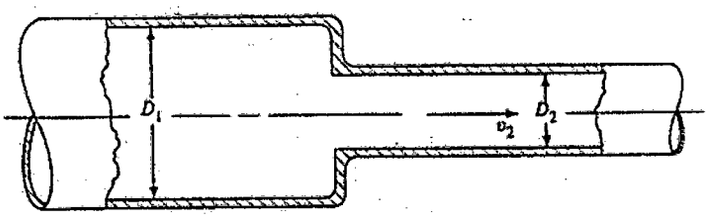


Figura 2.15 Contracción Súbita.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

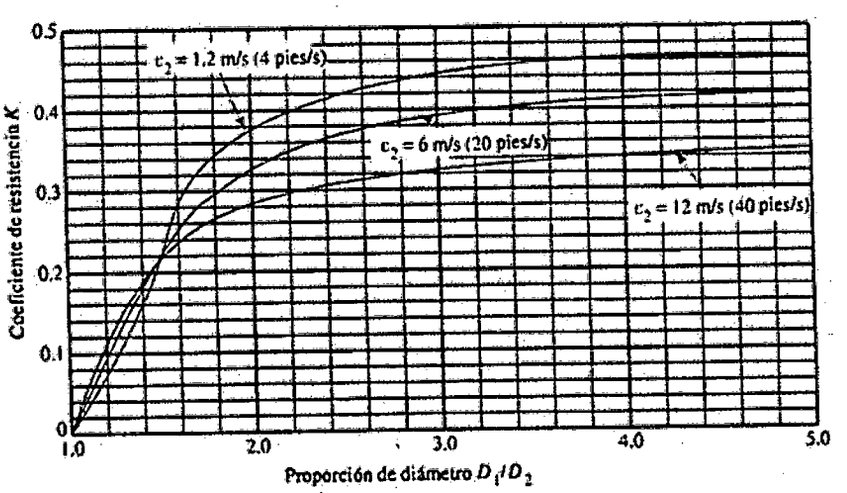


Figura 2.16 Coeficiente de resistencia de una contracción súbita

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott

	Velocidad, v_1								
D_2/D_1	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Tabla 2.7 Tabla de Coeficiente de Resistencia Contracción Súbita.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

El mecanismo mediante el cual se pierde energía debido a una contracción súbita es bastante complejo. En la figura que se muestra a continuación se logra apreciar lo que sucede al converger la corriente de flujo.

Las líneas de la figura representan las trayectorias de las de las diversas partes de la corriente de flujo. Las líneas de la figura son llamadas líneas de trayectoria.

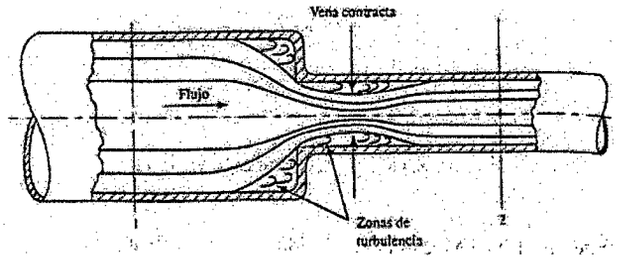


Figura 2.17 Vena Contracta Formada por una Contracción Súbita.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

Al aproximar las líneas de trayectoria a la contracción, asumen una trayectoria curva y la corriente total continua estrechándose durante cierta distancia más allá de la contracción. Por lo tanto, la sección de cruce mínimo de flujo es menor que la del conducto menor.

La sección donde ocurre esta área de flujo mínimo se denomina vena contracta. Más allá de la contracta, la corriente de flujo debe desacelerar y dilatarse nuevamente para llenar el conducto. La turbulencia ocasionada por la contracción y la posterior dilatación genera la perdida de energía.

2.3.2.6. Contracción gradual

Las pérdidas de energía en una contracción puedes disminuirse sustancialmente haciendo la contracción más gradual, en la figura que aparece a continuación se muestra una contracción de este tipo, formada mediante una sección cónica entre los dos diámetros con cambios abruptos en las juntas.

El ángulo Θ, se denomina ángulo del cono.

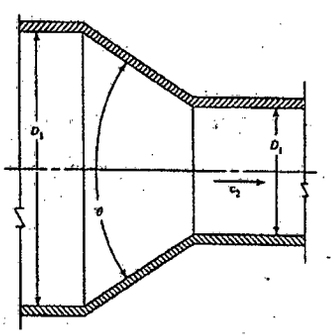


Figura 2.18 Contracción Gradual.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

La tabla que aparece a continuación se muestra los datos para el coeficiente de resistencia contra la proporción de diámetro para varios valores del ángulo del cono.

La pérdida de energía se calcula a partir de la ecuación ya vista anteriormente en donde el coeficiente de resistencia se basa en la cabeza de velocidad en el conducto menor después de la contracción.

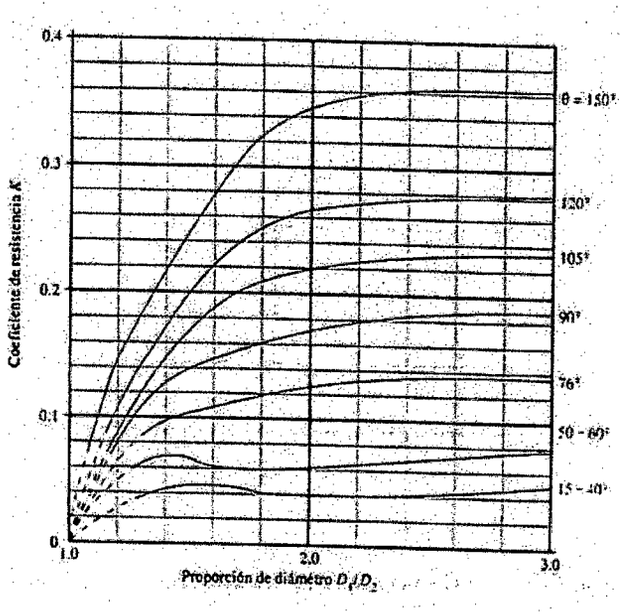


Figura 2.19 Grafico Coeficiente de Resistencia Contracción Gradual.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

Estos dos datos son para números de Reynolds mayores que $1.0*10^5$. Para ángulos sobre un intervalo amplio entre quince o cuarenta grados, $K = 0.05$ o menos, un valor muy bajo. Para ángulos hasta sesenta grados el K es menor que 0.08.

Al disminuir el ángulo del cono de la contracción por debajo de quince grados, el coeficiente de resistencia se incrementa, como se puede apreciar en la siguiente gráfica:

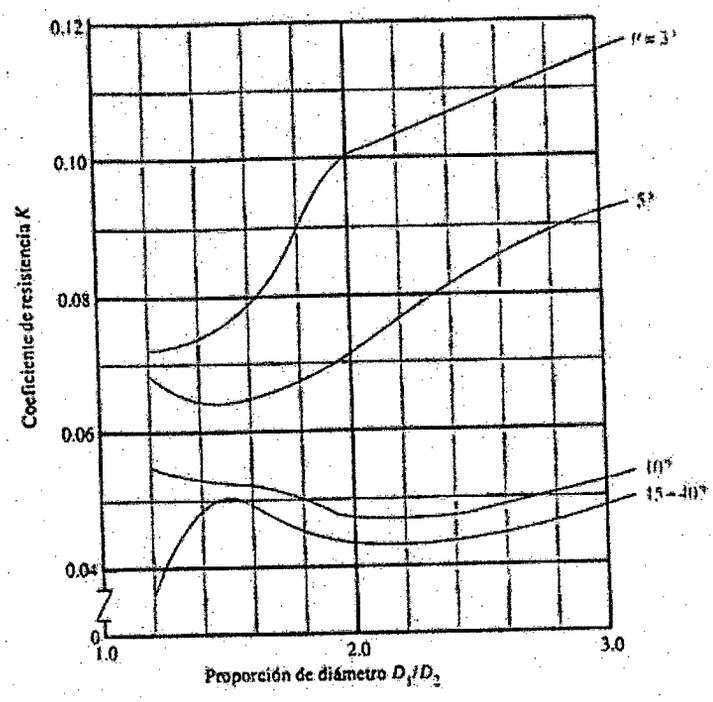


Figura 2.20 Coeficiente de Resistencia Contracción Gradual.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

Esto ocurre debido a que los datos incluyen los efectos tanto de la turbulencia local ocasionada por la separación del flujo como la de la fricción del conducto. Para los ángulos de cono menor, la transición entre los dos diámetros es muy larga, lo que incrementa la perdida de fricción.

El redondeo del extremo de la transición cónica para juntarla con el conducto menor puede disminuir el coeficiente de resistencia por debajo de los valores mostrados anteriormente, sin embargo en la figura de a continuación se aprecia una contracción con un ángulo incluido de ciento veinte grados, el valor de K disminuye aproximadamente de 0.7 a 0.10 con un radio de solo 0.05 (D_2), donde D_2 está en el diámetro interno del conducto menor.

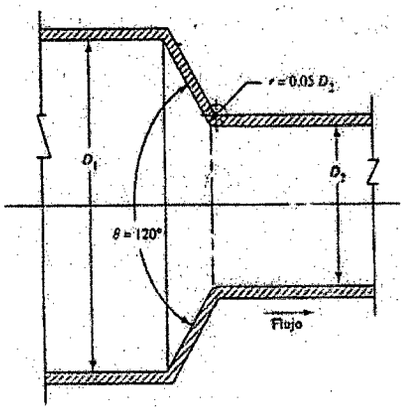


Figura 2.21 Contracción Gradual Extremo Redondeado en Diámetro Pequeño.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

2.3.2.7. Pérdida de entrada

En una contracción ocurre de vez en cuando un caso especial, cuando un fluido fluye desde un depósito o tanque relativamente grande va hacia un conducto. El fluido debe acelerar desde una velocidad relativamente despreciable a la velocidad de flujo del conducto. La facilidad con la que se realiza la aceleración determina la cantidad de perdida de energía y por lo tanto, el valor del coeficiente de resistencia de entrada depende de la geometría de la entrada en la figura que se mostrara a continuación se pueden apreciar cuatro configuraciones diferentes y el valor sugerido de K para cada una.

Las líneas de corriente ilustran el flujo del fluido hacia el conducto y muestran que la turbulencia asociada con la formación de una vena contracta es una causa importante de pérdida de energía.

Esta condición es más severa para la entrada de proyección hacia adentro, para lo que se recomienda un valor conservador de K = 1.0, la segunda un valor de K = 0.78, no obstante se puede dar una referencia más exacta a fin de agilizar el cálculo del coeficiente de resistencia para una entrada de proyección hacia adentro. Para una entrada bien redondeada con $r/D_2 > 0.15$, no se forma ninguna vena contracta, la perdida de energía es bastante pequeña, y usaremos un K = 0.04.

En otras palabras después de seleccionar un valor para el coeficiente de resistencia, se puede calcular la perdida de energía a partir de ecuación 25:

$$h_L = K(v2^2/2g)$$

Donde $v2$ es la velocidad del flujo en el conducto.

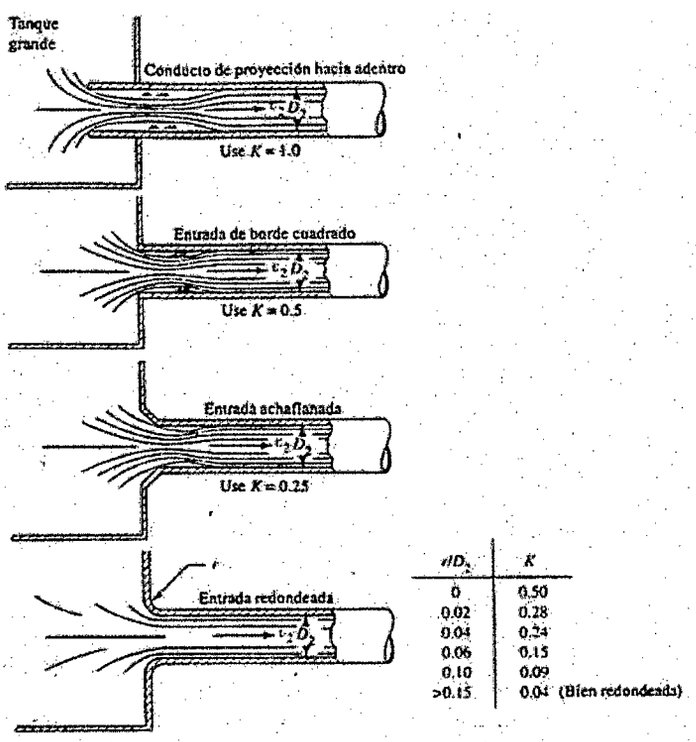


Figura 2.22 Coeficientes de Resistencia de Entrada.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

2.3.2.8. Coeficientes de resistencia para válvulas y junturas

Existen diversos tipos de válvulas y junturas en el comercio, especificados todos según el fabricante para un trabajo en específico e instalaciones en sistemas de flujos de fluidos. Las válvulas se utilizan para controlar la cantidad de flujo y pueden ser válvulas de globo, de ángulo de mariposa o bien de muchos otros tipos.

Las junturas dirigen la trayectoria de un flujo o bien ocasionan un cambio en el tamaño de la trayectoria de flujo. Se incluyen los codos de varios diseños, tes, reductores boquillas y orificios.

Es importante determinar los datos de resistencia para el tipo y tamaño particular elegido porque la resistencia depende de la geometría de la válvula para su ajuste.

El método para determinar el coeficiente de resistencia K, se calcula de la siguiente manera:

$$K = (L_e/D)f_t$$

Ecuación 26 Coeficiente de Resistencia Para Valvulas y Junturas.

El valor de L_e/D, llamado la proporción de longitud equivalente se obtiene mediante la tabla que se aprecia a continuación y se considera que es una constante para un tipo dado de válvula o juntura. 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 esta. El termino D es el diámetro interno real del conducto.

El término f_t es el factor de fricción en el conducto al cual está conectada la válvula o juntura, tomando en la zona de turbulencia completa.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros 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 2.8 Tabla de Resistencia en Válvulas y Junturas Expresada Como Longitud Equivalente en Diámetros de Conducto L_e/D.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

El diagrama de Moody, en que la zona de turbulencia completa cae en el área derecha más lejana, donde el factor de fricción es independiente del número de Reynolds. La línea punteada que corre generalmente en forma diagonal a través del diagrama divide la zona de turbulencia completa de la zona de transición a la izquierda.

Los valores de f_t varían con el tamaño del conducto y de la válvula, ocasionando que el valor del coeficiente de resistencia K también varié.

En la tabla que se muestra a continuación se enumeran los valores de f_t para tamaños estándar de conductos.

Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, f_t	Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, f_t
½	0.027	4	0.017
¾	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1¼	0.022	8–10	0.014
1½	0.021	12–16	0.013
2	0.019	18–24	0.012
2½ - 3	0.018		

Tabla 2.9 Tabla Para Determinar el Factor de Fricción en la Zona de Turbulencia Completa Para Conductos.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

No obstante también se puede calcular la longitud equivalente del conducto para una válvula y combinar ese valor con la longitud real del conducto, la ecuación puede resolverse para L_e:

$$L_e = K * D/f_t$$

Ecuación 27 Longitud Equivalente del Conducto.

Sin embargo esto solo podría ser válido si el flujo en el conducto está en la zona de turbulencia completa. La magnitud de la proporción de longitud equivalente L_e/D y por lo tanto la perdida de energía, dependen de la complejidad de la trayectoria de fluido a través del dispositivo.

La construcción interna de la válvula de ángulo es similar a la válvula de globo, excepto que el fluido fluye directamente a través del asiento y luego voltea noventa grados al dejar la válvula. En la válvula de compuerta, la compuerta se saca de la corriente de flujo al abrirse. Cuando está completamente abierta, existe una obstrucción muy secundaria. La función de la válvula de verificación es permitir el flujo en una sola dirección.

2.3.2.9. Resistencia al flujo en codos

A menudo es conveniente curvar un conducto, que instalar un codo comercial en la línea. La resistencia al flujo de un codo depende de la proporción del radio r del codo, con el conducto dentro del diámetro D. la gráfica que se aprecia a continuación muestra que la resistencia mínima ocurre cuando r/D es aproximadamente tres. La resistencia se da en términos de la proporción de longitud equivalente L_e/D, y por lo tanto debe utilizarse la ecuación 26:

$$K = (L_e/D)f_t$$

Tal y como se realizó en uno de los casos anteriores para calcular el coeficiente de resistencia. La resistencia que se muestra en la siguiente gráfica, incluye tanto la resistencia del codo como la resistencia debido a la longitud del conducto en el codo.

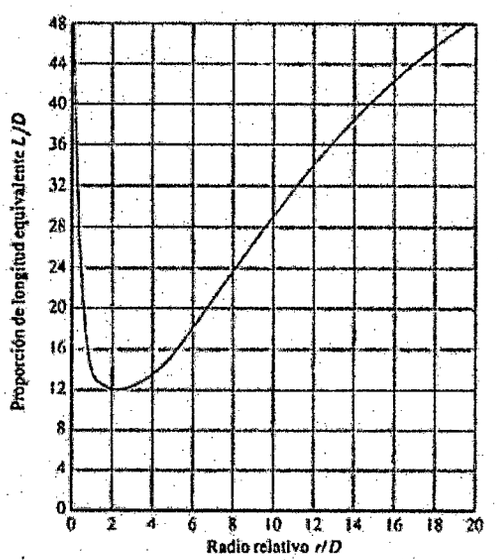


Figura 2.23 Grafica de resistencia debido a los codos de 90°

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott

Cuando se calcula la proporción *r/D, r* se define como el radio a la línea del centro del conducto, denominado el radio medio.

Esto es, si R_o es el diámetro externo del conducto, no obstante existen tres formas para determinar un radio, como lo describe la figura anterior:

$$r = Ri + Do/2$$

Ecuación 28 Radio Medio Metodo Uno.

$$r = Ro - Do/2$$

Ecuación 29 Radio Medio Metodo Dos.

$$r = (Ro + Ri)/2$$

Ecuación 30 Radio Medio Metodo Tres.

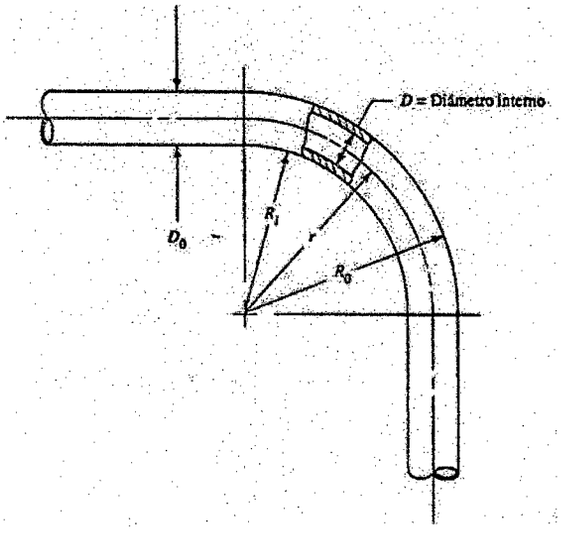


Figura 2.24 Codo de una Cañeria a 90°.

Fuente: Libro Mecánica de Fluidos Aplicada, Robert L. Mott.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

3.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO

3.1.1. Compresor de anillo liquido

Los compresores son máquinas diseñadas para impulsar fluidos gaseosos y vapores, y son utilizados en aquellos campos en que se requieran diversos procesos de succión y la descarga de fluidos. La presión de aspiración en estos equipos debe ser menor que la presión atmosférica, mientras que en la descarga esta presión, sufrirá una tendencia a ser mayor que la atmosférica.

Según la norma DIN 28400, el vacío se divide en los siguientes rangos de presión (valores indicados en mbar):

- Vacío aproximado : 1 a $1x10^{3}$
- Medio vacío : 1 a $1x10^{-3}$
- Alto vacío : 1x10-3 a $1x10^{-7}$
- Ultra- alto vacío : < $1x10^{-7}$

La mayor parte de las operaciones de estos equipos, se llevan a cabo con presiones de succión bajas, y rara vez, es necesario en ocasiones variaciones de este estándar de vacío.

3.1.1.1. Características de los equipos de compresión de anillo liquido:

Los equipos compresores de anillo líquido, poseen características bastante diversas en comparación con otro tipo de compresores o bombas de vacío, esto ocurre a debido a que:

- El anillo, el cual está formado por el líquido de servicio, que en este caso será de agua, nos será de utilidad a fin de transmitir la presión al fluido, sin que ocurran perdidas asociadas a la rugosidad de pared, esto ocurre debido a que son capaces de transmitir cualquier tipo de gas o vapor, sin el contacto de fricción entre el fluido y las paredes.
- Los materiales de construcción de estos equipos, serán escogidos según su tipo de funcionamiento o bien debido a alguna amenaza, a la que se encuentren expuestos, ya sea, según el lugar de operación o bien según las condiciones del fluido que se requiera movilizar.

- Su proceso de compresión es de carácter isotérmico, por ende, este mantiene una temperatura constante, todo esto ocurre debido a que el líquido de servicio del anillo, regula dicha temperatura manteniéndola siempre en un nivel igualitario en todo el proceso.
- Si el fluido bombeado, tiene condensado como constituyente, la tasa volumétrica de entrada puede aumentar.
- La operación de este equipo se caracteriza por su bajo nivel de emisiones de ruido y un bajo nivel de vibraciones.
- El líquido de servicio puede ser bombeado junto con el gas.

3.1.1.2. Características de los compresores de anillo líquido

- Principio de funcionamiento y tipos de diseño: Al comprimir gases que no deban condensarse en la cámara de entrada, ni durante el proceso de compresión, el compresor de anillo líquido funcionara como un compresor de desplazamiento y es precisamente para lo que será utilizado en el proceso. Con un aumento en el volumen, el medio se aspira, y con una reducción de volumen, se comprime.

En general los compresores de anillo liquido son de simple efecto.

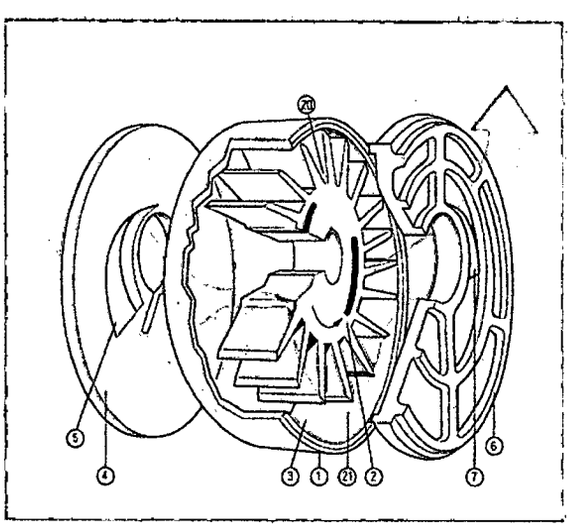


Figura 3.25 Principio de Funcionamiento compresor de Anillo Liquido Simple Efecto.

Fuente: Catalogo de Bombas y Compresores Sihi.

Como se puede apreciar en la figura, se muestra el principio de funcionamiento de un compresor de anillo liquido de simple efecto. A continuación se detallaran cada una de sus partes:

1. El impulsor de múltiples paletas (2) está montado excéntricamente en una carcasa circular (1).

2. Cuando la carcasa está parcialmente llena de líquido, el impulsor entra en movimiento, rotando y provocando la generación del anillo de líquido (3) que se forma como resultado de fuerza centrífuga.

3. Debido a la excentricidad, en el interior del contorno de los contactos de anillo líquido del impulsor en puntos (20) y (21), el líquido creara una acción de pistón, dentro de cada conjunto de las paletas o alabes del impulsor, lo que provocara el flujo dentro y fuera de las paletas con las celdas.

4. Este flujo se produce con cada revolución del impulsor y los resultados provocan una expansión volumétrica en la sección que fluye hacia fuera del anillo líquido, generando así el fluido, que se elabora a través de la entrada (5) en la placa guía (4) conectado a la boquilla de aspiración.

5. En el área del anillo líquido entrante, el volumen es reducido, generándose así, el fluido para ser comprimido.

6. Al término de la compresión, el fluido se descarga a través de la salida (7) en la placa guía (6) que está conectado a la descarga de la boquilla.

7. El diseño de doble efecto se utiliza para aplicaciones especiales, en particular en los compresores, empleando una alta presión diferencial. Aquí, la carcasa está diseñada de manera que el anillo líquido fluye dentro y fuera de las celdas del impulsor, dos veces durante cada revolución del rotor.

La figura descrita a continuación muestra una sección de un simple efecto, Y la figura que la acompaña es la de un compresor de gas de doble efecto de anillo líquido.

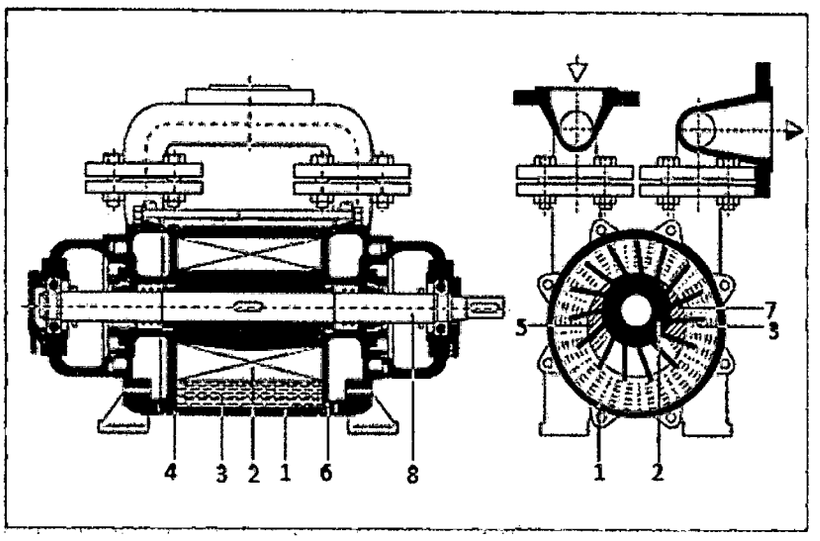


Figura 3.26 Descripción de las Partes Principales del Compresor de Anillo Liquido Simple Efecto.

Fuente: Catalogo de Bombas y Compresores Sihi.

1. Carcasa
2. Impulsor
3. Anillo líquido
4. Placa guía
5. Entrada
6. Placa guía
7. Salida
8. Eje

3.1.1.3. Rangos de trabajo

Los compresores de gas de anillo líquido, construyen al ingreso de tasas volumétricas de flujo que van desde aproximadamente 1 m^3/h, a más de 20.000 m^3/h.

Las propiedades físicas del líquido de servicio, son particularmente críticas con respecto a lo que pueden lograr las bombas de presión de succión de vacío. Si el líquido de servicio es agua a 15 °, C, las presiones de aspiración serán más o menos hasta 33 mbar, debido a ello en cuanto a las velocidades del flujo volumétrico, tendrán una buena succión, volviéndolos factibles, para este proyecto.

Los rangos de trabajo de este tipo de este tipo de equipos, se muestra en la siguiente figura:

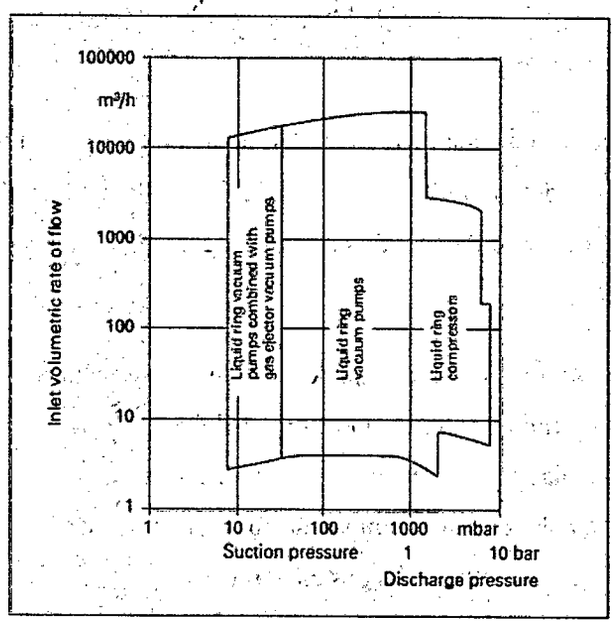


Figura 3.27 Grafica de los Rangos de Trabajo del Compresor de Anillo Liquido.

Fuente: Catalogo de Bombas y Compresores Sihi.

Como se aprecia en la figura anterior la gráfica nos muestra los rangos de trabajo a los que puede llegar el equipo, la empresa determino que la presión de entrada seria despreciable puesto que solo les interesa que el quipo sea capaz de entregarles de 3 a 5 bar en su descarga a fin que este pueda lograr impulsar el fluido hacia la zona de calderería, sin la dependencia del eyector ya retirado.

Los factores determinantes sobre las características y el comportamiento operativo del compresor de anillo líquido son, el método de transferencia de energía del anillo líquido al ser fluido bombeado, y el hecho de, si el medio entra en contacto con el líquido de servicio.

Ver anexo 8 y sus subíndices. En resumen un impulsor multi-paletas está montado excéntricamente en una carcasa circular, cuando la envoltura está parcialmente llena con el líquido, el impulsor entrara en rotación, esto hace que el anillo líquido se forme como resultado de la fuerza centrífuga. Debido a la excentricidad, el anillo líquido crea una acción de pistón, dentro de cada conjunto de álabes del impulsor, ya sea dentro y fuera de las celdas de paletas del impulsor.

Este flujo ocurre con cada revolución del impulsor y resulta en una expansión volumétrica en la sección del anillo líquido de salida, haciendo así que el fluido pueda ser aspirado a través del orificio de entrada en la placa guía, conectado a la boquilla de succión.

En el área de entrada del anillo líquido, el volumen se reduce, haciendo que el fluido se comprima. Al término de la compresión, el fluido es descargado a través del orificio de salida en la placa guía, la cual está conectado a la descarga. Durante el funcionamiento, la bomba debe estar suministrada con líquido de servicio y este líquido servirá para eliminar el calor resultante del gas en el proceso.

3.1.1.4. Equipo seleccionado para reemplazar el eyector de vapor:

Compresor de anillo líquido KPH-80540 de simple efecto, Ver anexo 8 y sus subíndices:

- Con pruebas de presión de 5 bares (solo se requieren 3 bares).
- Presión nominal de 10 bares.
- Diámetro nominal de 200 mm (diámetro de línea idóneo).
- Normado por la DIN 2501 (Aplicado solo a su tipo de conexión enflangeada).
- Con velocidades aceptables entre 1226 rpm (13,26 m/s para una cañeria de 200 mm).
- Caudal 1500-2000 M3/h (solo se requieren 1500 m3/h).
- Energía necesaria 100 KW (energizado de forma independiente a la línea).

Ahora bien, el compresor de anillo liquido de la marca Sihi, no puede actuar en el proceso solo, debido a que requiere algunos componentes para realizar su operación, a continuación se nombraran los equipos asociados al compresor, a fin de poseer una visión más amplia de la situación, es por ello que llamaremos a estos componentes como el skid del compresor, los cuales serán detallados uno a uno, en el capítulo siguiente a fin de validar su implementación de forma técnica:

- Base estructural.
- Estanque separador de líquido (separador 300): Manto y cabezales elipsoidales, Manhole de 26", Boquillas, dos desagües estanque.
- Manifold succión.
- Manifold descarga (compresor a estanque separador).
- Línea recirculación (by- pass).
- Línea by pass estanque a línea líquido servicio.
- Línea de líquido de servicio.
- Descarga líquido de servicio (estanque separador).
- Un grupo de motobomba vertical.
- Un manómetro tipo bourdon.
- Un sensor de nivel.

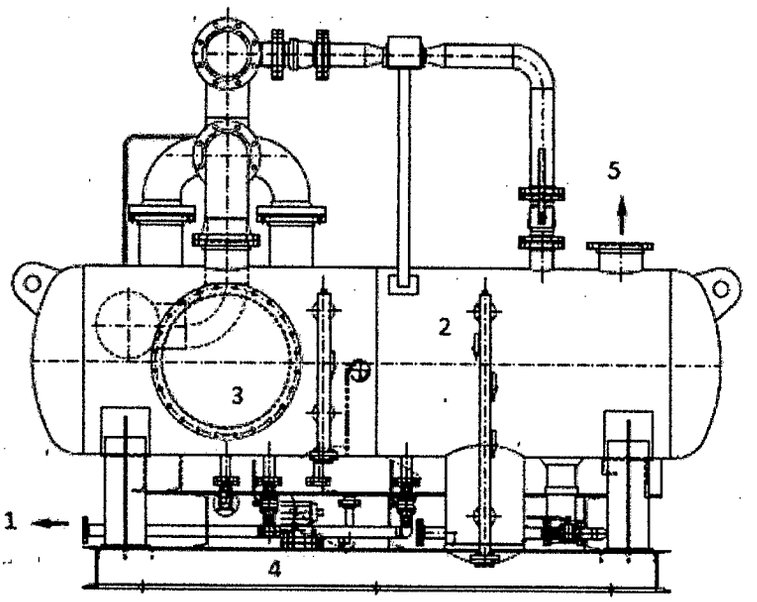


Figura 3.28 Vista Lateral Derecha del Skid del Compresor de Anillo Liquido.

Fuente: Catalogo de Bombas y Compresores Sihi.

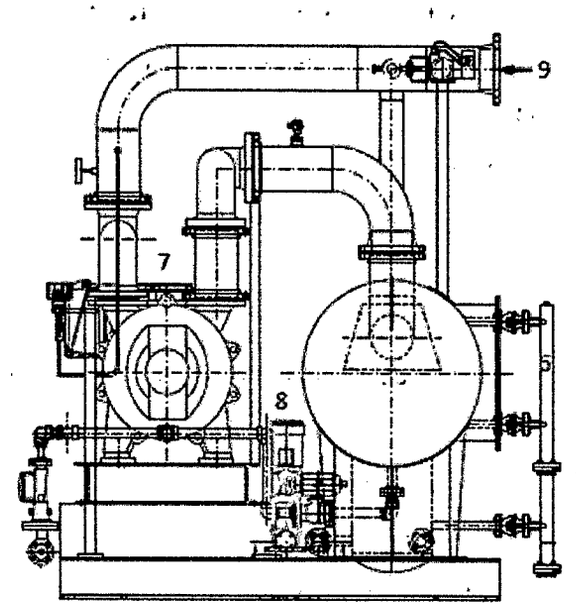


Figura 3.29 Vista Frontal del Skid del Compresor de Anillo Liquido.

Fuente: Catalogo de Bombas y Compresores Sihi.

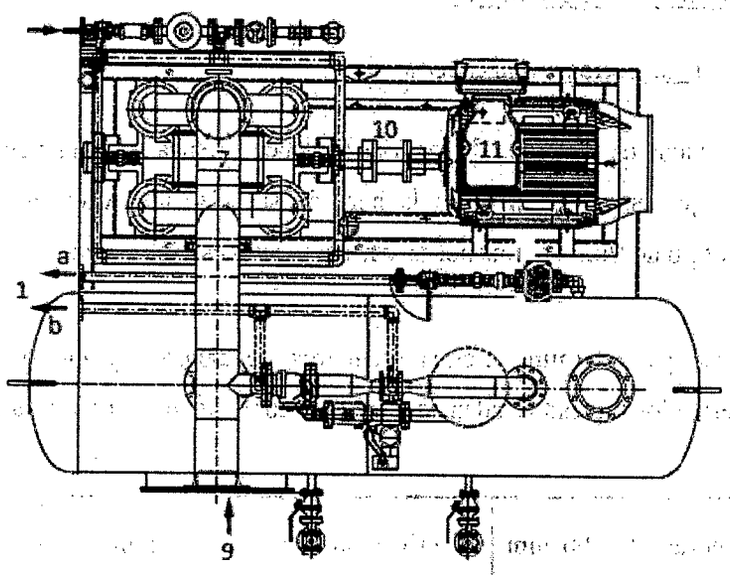


Figura 3.30 Vista Superior del Skid del Compresor de Anillo Liquido.

Fuente: Catalogo de Bombas y Compresores Sihi.

Se muestra de manera más comprensiva en las tres últimas figuras, el skid del compresor de anillo líquido, señalizado con una numerología, cuyo fin será darle un mejor enfoque a lo que se refiere en el inicio de este punto, tenemos entonces:

1. a) Conexión a torre de enfriamiento.
   b) Conexión a drenaje.
2. Estanque del compresor.
3. Manhole.
4. Base estructural.
5. Salida del gas.
6. Pilar o barra de soporte.
7. Compresor de anillo líquido, simple efecto.
8. Grupo motobomba.
9. Entrada del gas.
10. Acople compresor-motor.
11. Motor trifásico 380 (V).

3.2. SELECCIÓN DE CAÑERIAS

3.2.1. Como seleccionar una cañería

Cuando se habla de selección de cañerías se debe comenzar por entender que hay diversos factores que entran en juego a la hora de su selección, y en este caso en particular seria el tipo de fluido a transportar y las condiciones del sistema.

La empresa ya determino ciertos diámetros de cañerías y ciertos tipos de materiales que serían los indicados, además de proporcionar ya una marca para ellas.

Cañerías de 200 mm de titanio.	Se utilizaran en mayor parte para el plano número dos, debido a que por metodología el compresor las requiere.
Cañerías de 250 mm de PVC/FRP	Serán renovadas debido al constante paso del tiempo, más allá de ello los equipos y líneas involucradas con este diámetro se mantendrán como estaban.
Cañerías de 150 mm de acero al carbono.	Serán añadidas, no obstante no tendrán gran influencia debido a que el estanque del compresor viene con ellas

Tabla 3.10 Tabla de resistencia en válvulas y junturas expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto L_e/D

Fuente: Cellchem S.A.

3.2.1.1. Tipo de fluido

El proceso en si involucra el transporte del gas hidrogeno desde la batería de la planta hasta su zona de calderería. Si bien es cierto es un área que no presenta mayores riesgos ambientales, ni se alto nivel de peligrosidad en su operación, como ya se mencionó en capítulos anteriores el hidrogeno es altamente explosivo, si bien es cierto en el área de purificación no existe presencia del compuesto que ahí se fabrica, no se debe olvidar que es altamente inflamable.

3.2.1.2. Condiciones de trabajo del sistema

Cuando se habla de las condiciones del sistema se entenderá que es todo lo involucrado con las presiones de trabajo, la temperatura del fluido la resistencia a la corrosión, entre muchos otros.

Como bien se dijo anteriormente debemos considerar la velocidad del fluido la cual se determinara mediante el caudal que transitara y el área de la cañeria, pata ello se usara la ecuación 4, de área para un cilindro:

$$A = \frac{\pi * 0{,}25^2}{4} = 0{,}049\ [m^2]$$

Ahora que ya se posee en la sección del área en $[m^2]$, se debe determinar la velocidad a la cual dicho fluido circulara por esa sección de cañeria, para ello se usara la ecuación de velocidad utilizando el caudal proporcionado por la empresa y se utilizara el valor del área ya calculada previamente, mediante la ecuación 5:

$$V = \frac{1500\ \left[Nm^3/_h\right]}{0{,}049\ [m^2]} = \frac{30.577{,}74907}{3600} = 8{,}48\ [m/_s]$$

Debido a que en muy pocas ocasiones la velocidad y diámetros de cañeria son las mismas para todo el proceso, y en esta ocasión existe un cambio en la velocidad luego de la primera torre de absorción, por ende, cada vez que existe un cambio de sección en la línea también lo habrá en la velocidad del fluido, por ejemplo ahora se tomaran en cuenta valores con un diámetro de 200 mm, debido a que la cañeria sufrirá en ciertas áreas modificaciones de este tipo también variara la velocidad como bien se mencionó,

pero no obstante el caudal será el mismo para todo el proceso, esto ocurre debido a que se tomó como un estimado el caudal:

Rango del caudal fluctúa entre 1000 y 2000 respectivamente, pero se comenzó a entregar más desde la salida de batería, por el hecho de que el nuevo compresor utilizara uno caudal de 1500 $\dot{N}m^3/_h$ en condiciones de operación normales.

Ahora bien veamos cómo sería el cálculo para un diámetro de 200 mm, para ello se utilizara la ecuación 4:

$$A = \frac{\pi * 0{,}2^2}{4} = 0{,}0314\ [m^2]$$

Mientras que el cálculo de velocidad será mediante la ecuación 5:

$$V = \frac{1500\ \left[\dot{N}m^3/_h\right]}{0{,}0314\ [m^2]} = \frac{47.770{,}70064}{3600} = 13{,}26\ [^m/_s]$$

Además de la velocidad del fluido, también se deben conocer otros valores que serán de importancia para el cálculo posterior de la línea, estos son:

- La temperatura con la que el fluido trabaja en las diferentes zonas del proceso, todo esto debido a que la temperatura con la que viene el fluido se encuentra a aproximadamente 70°C, pero a medida que supera la primera torre de lavado la temperatura desciende significativamente quedando en aproximadamente unos 30° y manteniéndose así hasta el final del proceso

- Dependiendo el tipo de fluido, se deben obtener la densidad y la viscosidad del fluido, en función de su temperatura.

A continuación se mostrara una tabla que definirá los parámetros solicitados a fin de poder comenzar con los cálculos pertinentes de la perdida de carga:

Para una temperatura de 70°C desde batería hasta antes de la primera torre de lavado	$\rho = 0{,}0716\ [Kg/m^3]$
	$\mu = 9{,}4*10^{-6}[Pa*s]$

Tabla 3.11 Tabla Temperatura del Hidrogeno en la Línea y Datos Asociados, Antes de la Primera Torre de Lavado

Fuente: Chlorate Technology.

Para una temperatura de 30°C después de la primera torre de lavado hasta su etapa final en la zona hacia calderas	$\rho = 0{,}0810\ [Kg/m^3]$
	$\mu = 8{,}7*10^{-6}[Pa*s]$

Tabla 3.12 Tabla Temperatura del Hidrogeno en la Línea y Datos Asociados, Después de la Primera Torre de Lavado

Fuente: Chlorate Technology.

Una vez que ya conocemos estos datos podemos proceder con la selección del tramo de cañeria a calcular, para su mejor identificación serán designados con cuatro siglas, con el fin de lograr reconocerlas en el plano anexado.

Como bien se mencionó al inicio de este punto se deberá analizar la resistencia a la corrosión de estos materiales con la finalidad de ver su funcionalidad y su duración en el tiempo a fin de no presentar ningún problema cuando el proceso esté en plena operación.

- Titanio: En el caso del titanio que es el material que utilizaremos, al igual que en la mayoría de los metales, se encuentra protegido ante un ambiente corrosivo por una película delgada en su superficie. Esta se forma cuando el metal reacciona con el oxígeno y forma una capa de dióxido de titanio, proporcionando una barrera física entre el titanio y el ambiente corrosivo. Debido a que es tan reactivo, la película es extremadamente fuerte, lo que con lleva que la resistencia a la corrosión de este sea muy alta.

  Ahora bien si la corrosión fuese localizada en la cual se concentra en un área en particular puede ocurrir debido a una falla localizada de la película pasiva, o debido a un defecto en la superficie, como un rasguño, o en casos extremos, incluso el polvo. El titanio posee una película fuerte capaz de evitar la corrosión, a altas temperaturas más o menos por encima de los 70°C puede llegar a ser vulnerable en zonas específicas y localizadas como grietas o fisuras, por ello se toman las medidas del caso respectivamente evitando seleccionar una cañeria de titanio en zonas donde el calor de la línea pudiese traer problemas, es por esto que será añadido en un área donde la temperatura decreció significativamente digamos más o menos a unos 30°C aproximadamente.

- PVC/FRP: Las excelentes propiedades y resistencia química presentes en los grupos de poliolefina lo han transformado en uno de los materiales favoritos para industrias químicas, a pesar de ser un 35 o 40% más pesado que otras estructuras rígidas, ofrece una mayor resistencia a la temperatura que el PVC normal, y al estar reforzados en resinas de fibra de vidrio proporcionan fuerza para las secciones más delgadas, brindando además una resistencia a la tracción de hasta 40.000 psi, y las resistencias en la compresión pueden llegar hasta 32.000 psi.
  Otra característica adicional es que las cañerías de PVC/FRP son relativamente sencillas de reparar, la temperatura hasta la que pueden llegar las líneas abarca un máximo de 204°C e incluso hasta los 315°C, es por ello que se utilizaran en la zona inicial del proceso en donde se

requerirá una mayor temperatura de trabajo, además que posee una conductividad térmica de solo 1/187 en comparación al acero al carbono y 1/900 en comparación al aluminio, además de poseer una elevada resistencia a la corrosión.

- Acero al carbono: De todos los materiales ya seleccionados anteriormente este es sin duda, el menos favorable, no obstante a ello debió ser considerado por el simple hecho de abaratar costos, debido a que el equipo de compresión lo traía incluido, a pesar de ello se estima que en un futuro este ducto de cañeria deberá ser reemplazado producto de la corrosión.

  Entre la línea de materiales expuestos a la corrosión se encuentra este acero, debido a los agentes externos del lugar no se presenta ningún riesgo para los 2 materiales ya mencionados, pero no se debe olvidar que la empresa está cerca de una zona marina y que existe una presencia de sal en el aire debido a su utilización como materia prima.

Es por ello que se verá un punto más en este listado:

- Acero inoxidable: a pesar de poseer un costo algo más elevado que el acero al carbono regular, se optara por la durabilidad en el tiempo más que por el abaratar costos en el momento, su elevado nivel de cromo lo hará lo suficientemente resistente para enfrentar las condiciones del lugar. Además de sus niveles de níquel que reforzaran más su resistencia, no obstante los planos serán diseñados mediante acero al carbono en la zona del compresor debido a requerimientos de la empresa, sin embargo la recomendación quedara a libre interpretación.

  Se debe aclarar que los aceros inoxidables también sufren oxidación, pero esto es debido a fuertes condiciones o agentes oxidantes del ambiente, es ahí donde se debe seleccionar según la familia de aceros inoxidables, pero en este caso el seleccionado de la marca Cellchem presenta un 17% de cromo, entre un 10 a un 13% de níquel, un 2,7% de molibdeno, un 2% de manganeso y un 1% de silicio, lo cual equivaldrá a un AISI 316 L. lo cual lo vuelve ideal para las condiciones de operación.

3.2.2. Selección de cañeria mediante catálogo de fabricante

En cuanto a la selección de cañerías, como marca se utilizaran las Cellchem, y debido al ambiente tan agresivo en cuanto a la corrosión fue necesario definir los siguientes materiales; por un tema de durabilidad y resistencia, no obstante esto solo aplicara para los dos primeros de la tabla que se aprecia a continuación:

TI10	Titanium, ISO, PN 10
UG10	Pvc/frp-vinylester, hightemp, ID, PN 10
CA150	Carbon Steel, ANSI, STD, class 150

Tabla 3.13 Tabla de Cañerías Seleccionadas Para Línea.

Fuente: Cellchem S.A.

El tercer material de la tabla anterior fue escogido por la empresa, por un tema de abaratar costos, debido a que el compresor incluye su set de cañerías de acero al carbono, debido a ello no sé, hará mayor hincapié en la selección de las CA150.

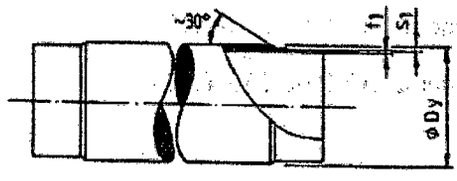
Para la selección de las cañerías de este proceso, solo se tomara en cuenta la línea principal de hidrogeno designada con la sigla GH, para una mayor compresión de ello ver planos del bolsillo porta planos.

3.2.2.1. Paso 1; Selección de cañerías PVC/FRP de 250 mm.

Se comenzara el proceso de selección de cañerías definiendo, los tramos de la cañeria, que llevaran 250 mm de diámetro y de material PVC/FRP. Dicho material fue escogido debido a su gran resistencia a las altas temperaturas y a su gran durabilidad, junto con la facilidad de poder hacer mantenciones rápidas en la línea.

- Tramo 1: Cañeria GH-4600-250-UG10
- Tramo 2: Cañeria GH-4600-250-UG10
- Tramo 3: Cañeria GH-4601-250-UG10
- Tramo 4: Cañeria GH-4601-250-UG10
- Tramo 5: Cañeria GH-4602-250-UG10
- Tramo 6: Cañeria GH-4602-250-UG10

Como se puede apreciar desde el tramo 1, es decir al inicio del proceso previo al ingreso de la torre de licor madre, hasta el tramo número 6 que sería el ingreso a la torre de soda número dos, se utilizara una cañeria Cellchem UG10, de 250 [***mm***].



DN	Dy	t_1	S_1	WEIGHT (kg/m)
25	38	3.6	2.9	1.0
(32)	46	4.5	2.9	1.4
40	56	3.7	2.9	1.6
50	69	4.7	2.9	2.3
(65)	81	3.6	2.9	2.4
80	96	4.3	2.9	3.1
100	116	5.3	2.9	4.2
(125)	131	3.7	2.9	4.1
150	166	4.7	2.9	5.9
200	206	4.0	2.9	7.7
250	256	4.9	3.1	10.9

Tabla 3.14 Tabla de Selección de Cañeria PVC/FRP de 250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

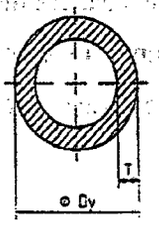
Ahora bien, si nos fijamos en la tabla anterior de los datos de ella solo nos centraremos en el DN (diámetro nominal), debido a que los demás datos son despreciables para nuestra selección, esto ocurre porque la línea no presenta ninguna restricción ni complejidad en estos puntos.

3.2.3. Paso 2, Selección de cañerías de titanio de 250 mm.

Se seleccionaran cañerías de titanio, debido más que nada a una estrategia de abaratar costos al máximo posible, debido a que las de PVC/FRP, son de un valor más elevado y a pesar de que su versatilidad y características lo vuelven la mejor opción, para este punto del proceso en que solo existen temperaturas cercanas a los 30°C, no será necesario una de mayor residencia a altas temperaturas.

- Tramo 7: Cañeria GH-4603-250-TI10
- Tramo 8: Cañeria GH-4603-250-TI10
- Tramo 9: Cañeria GH-4603-250-TI10
- Tramo 10: Cañeria GH-4605-250-TI10
- Tramo 11: Cañeria GH-4605-250-TI10
- Tramo 12: Cañeria GH-4605-250-TI10
- Tramo 13: Cañeria GH-4606-250-TI10

Desde el tramo número 7 el cual sería desde la salida de la torre de soda número dos, hasta el tramo número 13 los cuales son el ingreso a los filtros de carbón activado, la cañeria seleccionada será una Cellchem TI10, de 250 [mm].



DN	D_y	T	WEIGHT kg/m	MAX. PRESS MPa[1]
15	21.3	1.65	0.5	17.2
20	26.9	1.65	0.6	13.4
25	33.7	1.65	0.7	10.6
32	42.4	1.65	0.9	8.4
40	48.3	1.65	1.0	7.3
50	60.3	2.0	1.69	5.0
(65)	76.1	2.0	2.15	4.2
80	88.9	2.0	2.51	3.4
100	114.3	2.0	3.25	2.6
(125)	139.7	2.0	3.99	2.1
150	168.3	2.0	4.82	1.8
200	219.1	2.0	6.20	1.3
250	273	2.0	7.86	1.0

Tabla 3.15 Tabla de Selección de Cañeria Titanio de 250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

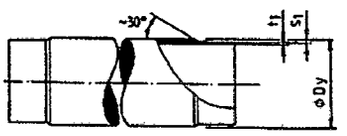
Nos centraremos en la tabla en tres puntos, el diámetro nominal de 250 mm, y su Dy (diámetro externo), junto con su T (espesor de pared), los últimos dos ayudaran a determinar el área por la cual transita el fluido.

3.2.3.1. Paso 3, Selección de cañerías de PVC/FRP de 200 mm.

Debido a las condiciones descritas en el paso 1, se optara por utilizar este tipo de cañeria en estos tramos, pero utilizándose DN de 200 mm debido a que la entrada y la salida del compresor de anillo liquido utilizaran estas dimensiones según el fabricante.

- Tramo 14: Cañeria GH-4606-200-UG10
- Tramo 15: Cañeria GH-4606-200-UG10
- Tramo 16: Cañeria GH-4607-200-UG10
- Tramo 17: Cañeria GH-4607-200-UG10
- Tramo 18: Cañeria GH-4607-200-UG10

Para los tramos del 14 el cual se encontrara ubicado a la salida de los filtros de carbón activado y culminara con el tramo 18 el cual estará previo al ingreso del compresor de anillo líquido, para ellos se seleccionara una cañeria UG10, de diámetro 200 [mm].



DN	Dy	t_1	S_1	WEIGHT (kg/m)
25	38	3.6	2.9	1.0
(32)	46	4.5	2.9	1.4
40	56	3.7	2.9	1.6
50	69	4.7	2.9	2.3
(65)	81	3.6	2.9	2.4
80	96	4.3	2.9	3.1
100	116	5.3	2.9	4.2
(125)	131	3.7	2.9	4.1
150	166	4.7	2.9	5.9
200	206	4.0	2.9	7.7

Tabla 3.16 Tabla de Selección de Cañeria PVC/FRP de 200 mm.

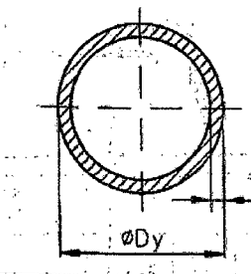
Fuente: Cellchem S.A.

3.2.3.2. Paso 4, Selección de cañerías de acero al carbono.

Material no apto para las condiciones y el entorno del sistema, no califica como aprobado para funcionar en esta área, sin embargo se realizó la selección mediante el catálogo de Cellchem, a fin de cumplir los requerimientos solicitados.

- Tramo 19: Cañeria GH-4658-200-CA150
- Tramo 20: Cañeria GH-4658-200-CA150
- Tramo 21: Cañeria GH-4658-200-CA150
- Tramo 22: Cañeria GH-4658-200-CA150
- Tramo 23: Cañeria GH-4608-200-CA150
- Tramo 24: Cañeria GH-4608-200-CA150

Desde el tramo 19 es decir desde la salida del compresor de anillo líquido, hasta la salida del skid del compresor en donde ocurre un cambio de material en el tramo 24, se utilizara una cañeria Cellchem CA150, de 200 [mm].



NOM Bore	DN	Dy mm	SCH *) T	WEIGHT kg/m	WATERFILLED kg/m
5"	125	141.3	6.6	21.8	34.7
6"	150	168.3	7.1	30.2	48.9
8"	200	219.1	8.2	42.5	74.8

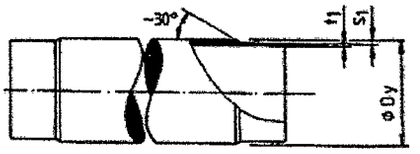
Tabla 3.17 Tabla de Selección de Cañeria de Acero al Carbono de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.2.3.3. Paso 5, Selección de cañerías de PVC/FRP de 200 mm.

- Tramo 25: Cañeria GH-4608-200-UG10
- Tramo 26. Cañeria GH-4661-200-UG10
- Tramo 27: Cañeria GH-4661-200-UG10
- Tramo 28: Cañeria GH-4661-200-UG10
- Tramo 29: Cañeria GH-4608-200-UG10
- Tramo 30: Cañeria GH-4609-200-UG10
- Tramo 31: Cañeria GH-4609-200-UG10
- Tramo 32: Cañeria GH-4609-200-UG10
- Tramo 33: Cañeria GH-4609-200-UG10

Desde el tramo 25 es decir desde el cambio del material en plena unión T, hasta la entrada a las uniones de sello y posterior ingreso a calderería, en el tramo 33, se utilizara una cañeria Cellchem UG10 de 200 [mm].



DN	Dy	t_1	S_1	WEIGHT (kg/m)
25	38	3.6	2.9	1.0
(32)	46	4.5	2.9	1.4
40	56	3.7	2.9	1.6
50	69	4.7	2.9	2.3
(65)	81	3.6	2.9	2.4
80	96	4.3	2.9	3.1
100	116	5.3	2.9	4.2
(125)	131	3.7	2.9	4.1
150	166	4.7	2.9	5.9
200	206	4.0	2.9	7.7

Tabla 3.18 Tabla de Selección de Cañeria PVC/FRP de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

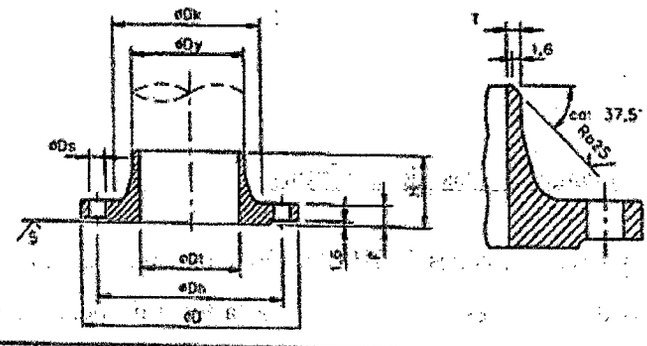
3.3. SELECCIÓN DE FITTINGS

3.3.1. Selección de flanges

3.3.1.1. Flanges (bridas) de 200 [*mm*]

- Comenzaremos la selección de los flanges mediante el catálogo de accesorios de Cellchem, en el cual se utilizara un total de 3 flanges de acero al carbono, es decir, CA150, los cuales irán ubicados en la salida del compresor de anillo líquido, mientras que los otros 2 serán ubicados en el ingreso y salida del estanque de dicho compresor.

  Debido a que la línea es de 200 mm, se seleccionara:



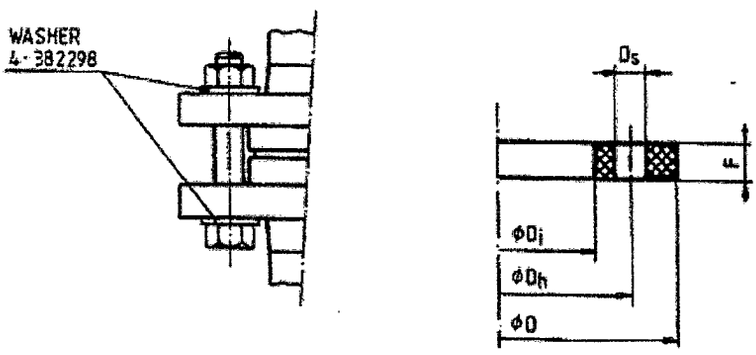
ROM Bore	DR	Pipe Dy	Dk	Dt	Db	D	S	F	T	Dd	Ko	BOLTS	WEIGHT kg
5"	125	141.2	163.5	185.7	215.9	254.0	88.9	23.8	6.5	22.2	8	3/4	9.2
6"	150	168.3	192.1	215.9	241.3	279.4	101.6	25.4	6.5	22.2	8	3/4	11.0
8"	200	219.2	246.1	269.9	298.4	342.9	101.6	28.6	6.2	22.2	8	3/4	18.3

Tabla 3.19 Tabla de Selección Flanges de Acero al Carbono de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

- Adicional a ello también se seleccionaran 6 flanges UG10, de PVC/FRP para las líneas de 200 mm, los cuales irán posicionados en: el ingreso y salida del sello de emergencia, en el ingreso al compresor de anillo líquido, en el ingreso al estanque de sello de emergencia y también en el ingreso y salida del estanque de sello de emergencia número dos.

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA
CONCEPCION



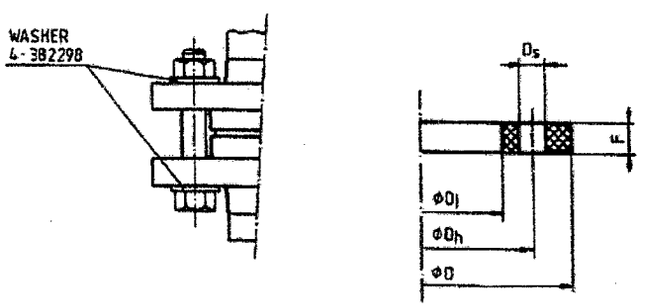
DN	D mm	D_h mm	D_1 mm	F mm	Qty	D_s	Max press MPa
150	285	240	188.5	30	8	23	1.0
200	340	295	238	32	8	23	0.6

Tabla 3.20 Tabla de Selección Flanges de PVC/FRP de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.1.2. Flanges (bridas) de 250 [*mm*]

- Se requieren 5 flanges UG10 de 250 mm, ubicados en los ingresos y salidas de las torres, refiérase esto, a la torre de licor madre y la torre número uno de soda caustica, mientras que la torre número dos de soda caustica solo, se requerirá un flange de 250 mm en su ingreso.

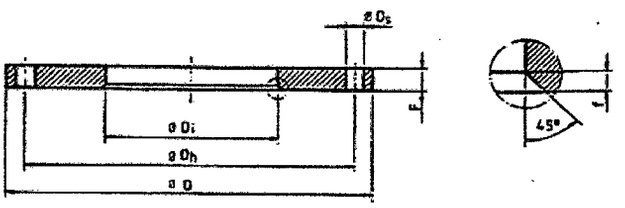


DN	D mm	D_h mm	D_1 mm	F mm	Qty	D_s	Max press MPa
250	395	350	294	34	12	23	0.6

Tabla 3.21 Tabla de Selección Flanges de PVC/FRP de 250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

- Finalmente 6 flanges TI10, es decir, de titanio para la línea de 250 mm, ubicados específicamente en la salida de la torre número dos de soda caustica, en el ingreso al estanque de emergencia, y en el ingreso y salidas de los filtros de carbono activado.



DN	D	Dh	Di	P	t	BOLTS Db	BOLTS QNTY	BOLTS DIM	WEIGHT kg
250	395	350	279	22	5	22	12	M 20	9.4

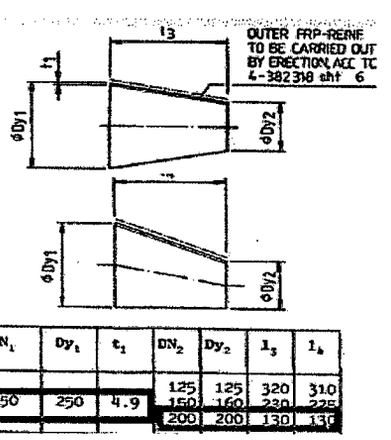
Tabla 3.22 Tabla de Selección Flanges de Titanio de 250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.2. Selección de dilataciones graduales (ampliación)

3.3.2.1. Dilatación gradual de 200x250

- En cuanto a las ampliaciones de 200x250, se requerirán 2 dilataciones, de UG10, PVC/FRP, ubicadas en: las entradas de los estanques de sellos de emergencia uno y dos.



DN_1	Dy_1	t_1	DN_2	Dy_2	l_3	l_4
250	250	4.9	125	125	320	310
			150	160	230	225
			200	200	130	130

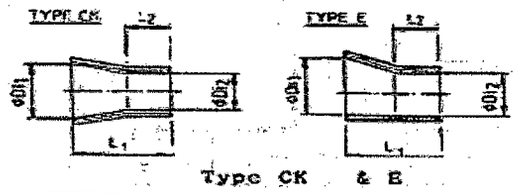
Tabla 3.23 Tabla de Selección Dilataciones Graduales de PVC/FRP de 200x250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.3. Contracción gradual (reducción)

3.3.3.1. Contracción gradual de 300x250

- Se requerirá solo una reducción de 300x250 a la salida de la torre de licor madre, y será de material UG10, por ende se hablara que será de un PVC/FRP.



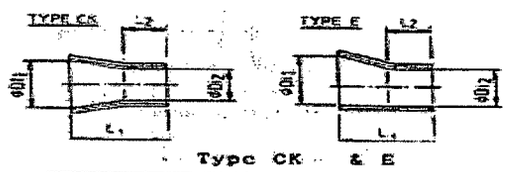
$D_{1,1}$ = DN_1	$D_{1,2}$ = DN_2	L_1 mm	L_2 mm
300	250	225	100

Tabla 3.24 Tabla de Selección Contracción gradual PVC/FRP de 300x250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.3.2. Contracción gradual de 250x200

- Se requerirán tres reducciones de 250x200, UG10, es decir, de PVC/FRP, y serán montadas en el cambio de sección entre la salida de los filtros de carbón activado y el sello de emergencia; también ira una de ellas en el ingreso al skid del compresor de anillo liquido; y también una en la salida del estanque de sello numero dos previo a la zona de las uniones de sello y calderería.



$D_{1,1}$ = DN_1	$D_{1,2}$ = DN_2	L_1 mm	L_2 mm
250	200	225	100

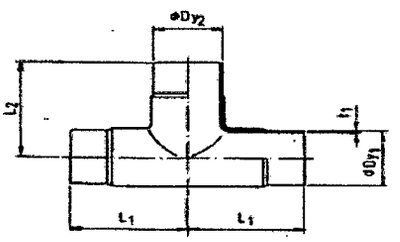
Tabla 3.25 Tabla de Selección Contracción Gradual de PVC/FRP de 250x200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.4. Unión T

3.3.4.1. Unión T de 200[*mm*]

Se seleccionara una unión T, de 200 mm para la línea de material UG10 PVC/FRP, la cual será montada en la intersección de los dos estanques de sello de emergencia y la salida del estanque del compresor de anillo líquido.



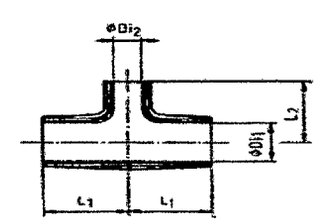
DN	Dy_1	t_1	DN_2	Dy_2	t_2	L_1	L_2
			100	110	5.3		195
			125	125	3.7		195
200	200	4.0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	250	[illegible]
			200	200	4.0		250

Tabla 3.26 Tabla de Selección Uniones tipo T, PVC/FRP de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.4.2. Unión T de 250 [*mm*]

Se seleccionara una unión T, de 250 mm de material titanio TI10, en la intersección de la entrada y salida de los filtros de carbono activado, y entre la intersección del estanque de emergencia con la línea principal que viene desde la torre de soda numero dos hacia la unión de sello.



D_{N1} = DN_1	D_{N2} = DN_2	L_1 mm	L_2 mm
	150		240
250	[illegible]	310	275
	250		310

Tabla 3.27 Tabla de Selección Uniones tipo T de Titanio de 200 mm.

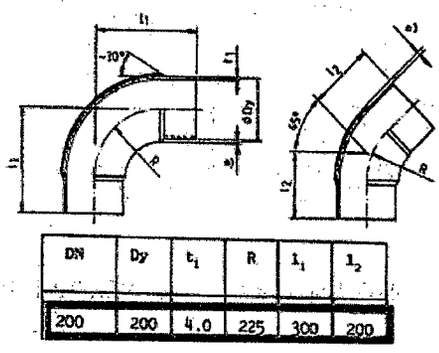
Fuente: Cellchem S.A.

3.3.5. Codos

3.3.5.1. Codos de 200 [*mm*]

Se utilizaran codos de 200 mm según se requiera realizar algún cambio de dirección en alguna línea del mismo diámetro, se escogerán en particular con un radio mas pronunciado a fin de reducir el cambio brusco de dirección y disminuir la perdida al mínimo posible.

- En este caso tendremos codos de 200 mm, UG10 PVC/FRP:

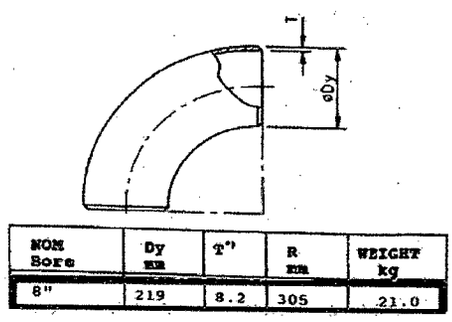


DN	Dy	t_1	R	l_1	l_2
200	200	4.0	225	300	200

Tabla 3.28 Tabla de Selección Codos de PVC/FRP de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

- Se determinara que se utilizaran de 8" = 200 mm, para los codos de acero al carbono, CA150, pertenecientes al conjunto del compresor de anillo líquido.



NOM Bore	Dy mm	T"	R mm	WEIGHT kg
8"	219	8.2	305	21.0

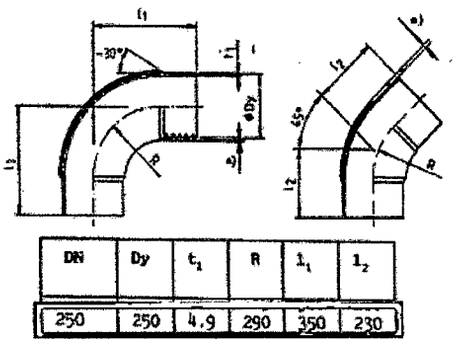
Tabla 3.29 Tabla de Selección Codos de Acero Al carbono de 200 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.3.5.2. Codos de 250 [*mm*]

Se escogerán al igual que en los casos anteriores codos de 250 mm en cada línea de la misma medida, en este caso se utilizaran mayoritariamente en las áreas de equipos de mayor envergadura tales como torres o estanques de mayor tamaño.

- Se seleccionaran codos de 250 mm, UG10 PVC/FRP.

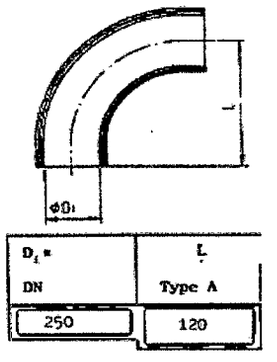


DN	Dy	t_1	R	l_1	l_2
250	250	4.9	290	350	230

Tabla 3.30 Tabla de Selección Codos de PVC/FRP de 250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

- Se seleccionaran finalmente codos de titanio para casi todo el proceso de después de la segunda torre de soda hasta llegar a los filtros de carbono activado.



D_1 * DN	L Type A
250	120

Tabla 3.31 Tabla de Selección Codos de Titanio de 250 mm.

Fuente: Cellchem S.A.

3.4. CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN LA LINEA

3.4.1. Calculo de pérdidas de carga mayores

El cálculo de pérdidas de carga se realizara en dos partes, cuyo primer objetivo tendrá el determinar las pérdidas mayores en la línea principal, para ello se comenzara tomando los tramos más significativos de esta línea:

3.4.1.1. Tramo 1: Cañeria GH-4600-250-UG10

- GH: identificación que la empresa le brinda.
- 4600: número de la cañeria.
- 250: calibre o diámetro nominal de la cañeria.
- UG10: material del que está constituido, en este caso UPVC/FRP.

Pues bien en el primer tramo, calcularemos el número de Reynolds a fin de saber si nuestro flujo es laminar o turbulento, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0716}{9{,}4 * 10^{-6}} = 1{,}6 * 10^{4}$$

Por el valor obtenido, vemos que el fluido es turbulento debido a que es mayor a 4000.

Posterior a ello seleccionamos según el tipo de material, la rugosidad relativa y la dividimos con el diámetro del tramo de cañeria seleccionada según ecuación 14, Vea anexo 5:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Una vez que tenemos el valor del número de Reynolds y el valor del coeficiente de rugosidad, procedemos a intersectar en el diagrama de moody, ver anexo 5, a fin de obtener el factor de fricción del fluido en dicho conducto.

$$f = 0{,}037$$

Ya poseemos el valor de la fricción el cual nos será de utilidad para los cálculos futuros de esta etapa.

El paso siguiente es calcular la diferencia de presión en la cañeria, esto quiere decir, la diferencia entre el punto inicial al punto final, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}037 * \frac{0{,}2734}{0{,}25} * \frac{0{,}0716 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}1041\ [Kgf/m^2]$$

Como se aprecia en el cálculo anterior el resultado de la perdida en 0,2734 metros es $0{,}1041\ [Kgf/m^2]$

El penúltimo paso será calcular finalmente las pérdidas de carga mediante la ley de Darcy, utilizando los valores ya obtenidos en todo este proceso, según ecuación 8.

$$h_L = \frac{0{,}1041}{0{,}0716 * 9{,}8} = 0{,}037 * \frac{0{,}2734}{0{,}25} * \frac{(8{,}48)^2}{2(9{,}8)}$$

$$h_L = 0{,}148\ [m] = 0{,}148\ [m]$$

Como se puede apreciar ambos métodos dan exactamente lo mismo por ello, para facilitar los cálculos se utilizara el método de la izquierda.

Y finalmente se calculara la energía necesaria para mover el fluido del punto inicial al final de esta sección de cañeria, para ello usaremos el caudal ya conocido, y lo multiplicaremos por el ΔP_1, según ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}1041 = 156{,}15\ [W] = 0{,}15[KW]$$

Ahora que ya conocemos las pérdidas en esta primera tramo se procederá a calcular de la misma forma los tramos que siguen dentro del proceso.

3.4.1.2. Tramo 2: Cañeria GH-4600-250-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0716}{9{,}4 * 10^{-6}} = 1{,}6 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}037$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}037 * \frac{0{,}737}{0{,}25} * \frac{0{,}0716 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}2808\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}2808}{0{,}0716 * 9{,}8} = 0{,}4\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}2808 = 421{,}2\ [W] = 0{,}42[KW]$$

3.4.1.3. Tramo 3: Cañeria GH-4601-250-UG10

En el tramo número tres de la cañeria es en donde cambian algunos datos como la densidad y la viscosidad de fluido en este caso hidrogeno, y todo ello es debido a que la temperatura de este gas sufre una baja significativa quedando en aproximadamente 30°C.

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{0{,}7797}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}3269\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}3269}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}4119\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{W} = 1500 * 0{,}3269 = 490{,}35\ [W] = 0{,}49[KW]$$

3.4.1.4. Tramo 4: Cañeria GH-4601-250-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{3{,}5}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 1{,}4678\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}4678}{0{,}0810 * 9{,}8} = 1{,}8491\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}4678 = 2201{,}7\ [W] = 2{,}21[KW]$$

3.4.1.5. Tramo 5: Cañeria GH-4602-250-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{1{,}3362}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}5603\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}5603}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}7059\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}5603 = 840{,}45\ [W] = 0{,}8404[KW]$$

3.4.1.6. Tramo 6: Cañeria GH-4602-250-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{7}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 2{,}9356\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{2{,}9356}{0{,}0810 * 9{,}8} = 3{,}6982\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 2{,}9356 = 4403{,}4\ [W] = 4{,}4034[KW]$$

3.4.1.7. Tramo 7: Cañeria GH-4603-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{0{,}364}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}1526\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}1526}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}1923\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}1526 = 228{,}9\ [W] = 0{,}2289[KW]$$

3.4.1.8. Tramo 8: Cañeria GH-4603-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{2{,}3143}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}9705\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}9705}{0{,}0810 * 9{,}8} = 1{,}2226\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}9705 = 1455{,}75\ [W] = 1{,}45575 [KW]$$

3.4.1.9. Tramo 9: Cañeria GH-4603-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{0{,}6059}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}2541\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}2541}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}3201\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}2541 = 381{,}15\ [W] = 0{,}38115[KW]$$

3.4.1.10. Tramo 10: Cañeria GH-4605-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{4{,}8694}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 2{,}0421\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{2{,}0421}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}5726\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 2{,}0421 = 3063{,}15\ [W] = 3{,}06315[KW]$$

3.4.1.11. Tramo 11: Cañeria GH-4605-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{2{,}6981}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 1{,}1315\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}1315}{0{,}0810 * 9{,}8} = 1{,}4254\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}1315 = 1697{,}25\ [W] = 1{,}69725[KW]$$

3.4.1.12. Tramo 12: Cañeria GH-4605-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{1{,}5669}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}6571\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}6571}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}8278\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}6571 = 985{,}65\ [W] = 0{,}98565[KW]$$

3.4.1.13. Tramo 13: Cañeria GH-4606-250-TI10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}25 * 8{,}48 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 1{,}9 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}25} = 0{,}006$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}036$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}036 * \frac{1{,}5669}{0{,}25} * \frac{0{,}0810 * (8{,}48)^2}{2} = 0{,}6571\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}6571}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}8278\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{W} = 1500 * 0{,}6571 = 985{,}65\ [W] = 0{,}98565[KW]$$

Como se pudo apreciar el tramo 12 y 13 son exactamente iguales debido a que uno es el ingreso a un estanque mientras que el otro es la salida y ambos son idénticas en tamaños y en materiales.

3.4.1.14. Tramo 14: Cañeria GH-4606-200-UG10

En este punto del proceso se presenta un cambio en las dimensiones de la cañeria y es por ello que muchos de los valores expuestos anteriormente cambiaran de forma notoria.

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}689}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 2{,}0747\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{2{,}0747}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}6136\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 2{,}0747 = 3112{,}05\ [W] = 3{,}11205[KW]$$

3.4.1.15. Tramo 15: Cañeria GH-4606-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}5856}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 1{,}9477\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}9477}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}4536\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}9477 = 2921{,}55\ [W] = 2{,}92155[KW]$$

3.4.1.16. Tramo 16: Cañeria GH-4607-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}6283}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 2\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{2}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}5197\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 2 = 3000\ [W] = 3[KW]$$

3.4.1.17. Tramo 17: Cañeria GH-4607-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{2{,}6217}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 3{,}2204\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{3{,}2204}{0{,}0810 * 9{,}8} = 4{,}0569\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{W} = 1500 * 3{,}2204 = 4830{,}6\ [W] = 4{,}8306[KW]$$

3.4.1.18. Tramo 18: Cañeria GH-4607-200-UG10

En esta zona del proceso se ubica el ingreso al compresor de anillo liquido debido a ello utilizaremos el plano numero dos para realizar estos cálculos respectivamente.

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}2947}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 1{,}5903\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}5903}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}0034\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}5903 = 2385{,}45\ [W] = 2{,}38545[KW]$$

3.4.1.19. Tramo 19: Cañeria GH-4658-200-CA150

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0024}{0{,}2} = 0{,}012$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}02$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}02 * \frac{0{,}2309}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}1644\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}1644}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}2071\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{W} = 1500 * 0{,}1644 = 246{,}6\ [W] = 0{,}2466[KW]$$

3.4.1.20. Tramo 20: Cañeria GH-4658-200-CA150

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0024}{0{,}2} = 0{,}012$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}02$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}02 * \frac{0{,}4437}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}3159\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}3159}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}3980\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}3159 = 473{,}85\ [W] = 0{,}47385 [KW]$$

3.4.1.21. Tramo 21: Cañeria GH-4658-200-CA150

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0024}{0{,}2} = 0{,}012$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}02$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}02 * \frac{0{,}7025}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}5002\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}5002}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}6301\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{W} = 1500 * 0{,}5002 = 750\ [W] = 0{,}7503[KW]$$

3.4.1.22. Tramo 22: Cañeria GH-4658-200-CA150

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^4$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0024}{0{,}2} = 0{,}012$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}02$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}02 * \frac{0{,}252}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}1794\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}1794}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}2260\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}1794 = 269{,}1\ [W] = 0{,}2691 [KW]$$

3.4.1.23. Tramo 23: Cañeria GH-4608-200-CA150

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0024}{0{,}2} = 0{,}012$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}02$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}02 * \frac{0{,}2692}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}1916\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}1916}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}2414\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}1916 = 287{,}4\ [W] = 0{,}2874[KW]$$

3.4.1.24. Tramo 24: Cañeria GH-4608-200-CA150

Salida del compresor de anillo líquido.

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0024}{0{,}2} = 0{,}012$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}02$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}02 * \frac{0{,}9898}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}7048\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}7048}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}8878\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}7048 = 1057{,}2\ [W] = 1{,}0572[KW]$$

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA
CONCEPCION

3.4.1.25. Tramo 25: Cañeria GH-4608-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{0{,}7746}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}9514\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}9514}{0{,}0810 * 9{,}8} = 1{,}1985\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}9514 = 1427{,}1\ [W] = 1{,}4271[KW]$$

3.4.1.26. Tramo 26. Cañeria GH-4661-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^4$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{0{,}2238}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}2702\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}2702}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}3404\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}2702 = 405{,}3\ [W] = 0{,}4053[KW]$$

3.4.1.27. Tramo 27: Cañeria GH-4661-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}2578}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 1{,}5450\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}5450}{0{,}0810 * 9{,}8} = 1{,}9463\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}5450 = 2317{,}5\ [W] = 2{,}3175[KW]$$

3.4.1.28. Tramo 28: Cañeria GH-4661-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{0{,}1557}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}1912\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}1912}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}2409\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}1912 = 286{,}8\ [W] = 0{,}2868[KW]$$

3.4.1.29. Tramo 29: Cañeria GH-4608-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^4$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{0{,}8757}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 1{,}0756\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}0756}{0{,}0810 * 9{,}8} = 1{,}3551\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}0756 = 1613{,}4\ [W] = 1{,}6134[KW]$$

3.4.1.30. Tramo 30: Cañeria GH-4609-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^4$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{0{,}138}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 0{,}1695\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{0{,}1695}{0{,}0810 * 9{,}8} = 0{,}2135\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 0{,}1695 = 254{,}25\ [W] = 0{,}25425[KW]$$

3.4.1.31. Tramo 31: Cañeria GH-4609-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^{4}$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}6846}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 2{,}0693\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{2{,}0693}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}6068\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 2{,}0693 = 3103{,}95\ [W] = 3{,}10395[KW]$$

3.4.1.32. Tramo 32: Cañeria GH-4609-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^4$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}7027}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 2{,}0915\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{2{,}0915}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}6348\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 2{,}0915 = 3137{,}25\ [W] = 3{,}13725[KW]$$

3.4.1.33. Tramo 33: Cañeria GH-4609-200-UG10

Calculamos el número de Reynolds, según ecuación 3:

$$Re = \frac{0{,}2 * 13{,}26 * 0{,}0810}{8{,}7 * 10^{-6}} = 2{,}4 * 10^4$$

Ahora se procederá a calcular el coeficiente de rugosidad, según ecuación 14:

$$\varepsilon_r = \frac{0{,}0015}{0{,}2} = 0{,}0075$$

Con los datos obtenidos del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad, se procederá a intersectar los valores y nos posicionaremos en la curva más cercana a fin de obtener nuestro valor del factor de fricción, ver anexo 5:

$$f = 0{,}0345$$

Calculamos la diferencia de presión en la línea, según ecuación 19:

$$\Delta P_1 = 0{,}0345 * \frac{1{,}4434}{0{,}2} * \frac{0{,}0810 * (13{,}26)^2}{2} = 1{,}7730\ [Kgf/m^2]$$

Se calculara mediante Darcy la perdida de carga en el tramo, según ecuación 8:

$$h_L = \frac{1{,}7730}{0{,}0810 * 9{,}8} = 2{,}2336\ [m]$$

Finalmente, se calculara la energía necesaria para impulsar el fluido en ese tramo de cañeria, mediante la ecuación 20:

$$\dot{w} = 1500 * 1{,}7730 = 2659{,}5\ [W] = 2{,}6595[KW]$$

TRAMO	DIFERENCIAS DE PRESION $[Kgf/m^2]$	PERDIDA DE CARGA $[m]$	ENERGIA NECESARIA $[KW]$
TRAMO 1	0,1041	0,148	0,15
TRAMO 2	0,2808	0,4	0,42
TRAMO 3	0,3269	0,4119	0,49
TRAMO 4	1,4678	1,8491	2,21
TRAMO 5	0,5603	0,7059	0,8404
TRAMO 6	2,9356	3,6982	4,4034
TRAMO 7	0,1526	0,1923	0,2289
TRAMO 8	0,9705	1,2226	1,4455
TRAMO 9	0,2541	0,3201	0,3811
TRAMO 10	2,0421	2,5726	3,0631
TRAMO 11	1,1315	1,4254	1,6972
TRAMO 12	0,6571	0,8278	0,9856

TRAMO 13	0,6571	0,8278	0,9856
TRAMO 14	2,0747	2,6136	3,1120
TRAMO 15	1,9477	2,4536	2,9215
TRAMO 16	2	2,5197	3
TRAMO 17	3,2204	4,0569	4,8306
TRAMO 18	1,5903	2,0034	2,3854
TRAMO 19	0,1644	0,2071	0,2466
TRAMO 20	0,3159	0,3980	0,4738
TRAMO 21	0,5002	0,6301	0,7503
TRAMO 22	0,1794	0,2260	0,2691
TRAMO 23	0,1916	0,2414	0,2874
TRAMO 24	0,7048	0,8878	1,0572
TRAMO 25	0,9514	1,1985	1,4271
TRAMO 26	0,2702	0,3404	0,4053

TRAMO 27	1,5450	1,9463	2,3175
TRAMO 28	0,1912	0,2409	0,2868
TRAMO 29	1,0756	1,3551	1,6134
TRAMO 30	0,1695	0,2135	0,2542
TRAMO 31	2,0693	2,6068	3,1039
TRAMO 32	2,0915	2,6348	3,1372
TRAMO 33	1,7730	2,2336	2,6595
TOTAL	34,5666	43,6092	51,8396

Tabla 3.32 Tabla de Resultados de Perdidas Mayores en la Línea Principal.

Fuente: Eka Chile S.A.

3.4.2. Calculo de pérdidas de carga menores

3.4.2.1. Contracción gradual (Reducción): 250x200 mm

Se comenzara el cálculo de perdida de carga seleccionando los datos iniciales del fitting, al ser considerada como una reducción se entenderá por tanto que el diámetro se irá reduciendo a medida que avanza en el accesorio, encontrando los siguientes datos:

Datos:

- D_2: 200 mm (Diámetro de salida).
- D_1: 250 mm (Diámetro de entrada).
- θ: 30° (Angulo del cono).
- v_2: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

En los datos a tomar se aprecian dos diámetros los cuales indicaran la trayectoria de la dilatación, como la flecha de la figura superior lo indica esta es de forma gradual es decir va de menos a más, y por ello presenta un ángulo de 30° en su cono. La velocidad utilizada será la presente en el diámetro menor.

Para el cálculo se requiere encontrar el valor del coeficiente de resistencia K, el cual se obtiene mediante la gráfica que relaciona D_1/D_2, y el ángulo θ. Se realizaran los cálculos mediante la ecuación descrita en el extremo inferior del anexo 7.

$D_1/D_2 = 250/200 = 1{,}25$

$\theta = 30°$

Con los valores obtenidos nos dirigimos a la gráfica del anexo 7 en la cual en la parte inferior ubicamos el valor de 1,25, el cual lo intersectaremos con la curva de los 30°, entregándonos el valor del coeficiente de resistencia K= 0,025 y con el cual ya podemos proceder a calcular la pérdida de carga, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}025\left(13{,}26^2/(2 * 9{,}8)\right) = 0{,}224\,[m]$$

$$h_L = 0{,}224\ [m]$$

3.4.2.2. Dilatación gradual (Ampliación): 200x250 mm

Por ser considerada como una ampliación, se entenderá por tanto que el diámetro se irá aumentando a medida que avanza en el accesorio, encontrando los siguientes datos:

Datos:

- D_2: 250 mm (Diámetro de salida).
- D_1: 200 mm (Diámetro de entrada).
- θ: 30° (Angulo del cono).
- v_1: 13,26 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

La aplicación de esta dilatación gradual es exactamente igual a la del punto uno, recientemente vista, por ende procederemos a calcular el coeficiente de resistencia K, a fin de poder obtener el valor de nuestro h_L.

$D_2/D_1 = 250/200 = 1{,}25$

$\theta = 30°$

Con los valores obtenidos nos dirigimos nuevamente a la gráfica del anexo 7 en la cual en la parte inferior ubicamos el valor de 1,25, el cual lo intersectaremos con la

curva de los 30°, entregándonos el valor del coeficiente de resistencia K= 0,283 y con el cual ya podemos proceder a calcular la pérdida de carga mediante la ecuación 21:

$$h_L = 0{,}283\left(13{,}26^2/(2 * 9{,}8)\right) = 2{,}53\ [m]$$

$$h_L = 2{,}53\ [m]$$

3.4.2.3. Contracción gradual (Reducción): 300x250 mm

Al igual que el caso número uno al inicio de este punto, por tratarse de una reducción, el diámetro del accesorio ira disminuyendo significativamente a medida que se avanza por él, encontrando los siguientes datos:

Datos:

- D_2: 250 mm (Diámetro de salida).
- D_1: 300 mm (Diámetro de entrada).
- θ: 30° (Angulo del cono).
- v_2: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

Para la aplicación de la contracción gradual procederemos a calcular el coeficiente de resistencia K, mediante el valor obtenido en D_1/D_2, junto con el ángulo de 30°, con ellos procedemos a intersectar los valores y seleccionamos la curva más cercana. Una vez que ya se conoce el valor de K, ver anexo 7.

$D_1/D_2 = 300/250 = 1{,}2$

$\theta = 30°$

En el caso de las contracciones se utilizara el valor de v_2, que es la velocidad de salida por la cual transita el fluido, mediante la ecuación 25.

$$h_L = 0{,}023\left(8{,}48^2/(2 * 9{,}8)\right) = 0{,}084\ [m]$$

$$h_L = 0{,}084\ [m]$$

3.4.2.4. Salida de estanques y torres hacia cañerías:

Se ha definido un tipo de entrada bien redondeada tanto para el ingreso como para la salida de los estanques y torres de absorción, esto sucede debido a que se requiere la mayor curvatura posible a fin de reducir las pérdidas al mínimo, para ello se comenzara calculando r/D_2, con este valor se podrá determinar el coeficiente de resistencia K para finalmente poder estimar cuanto será nuestra perdida por equipo.

1. Torre de licor madre:

Se comenzara por estimar la forma de la proyección desde la torre a la cañeria a fin de saber qué tipo de entrada que se tendrá, como datos iniciales:

Datos:

- r: 30 mm (Angulo formado por la cañeria y la torre).
- D: 250 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior a la torre).
- $v2$: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

Para ello se comenzara calculando mediante la ecuación descrita en la figura de coeficientes de resistencia de entrada.

$$30/250 = 0{,}12$$

Cuando ya se estima el valor de 0,12 nos dirigiremos a la tabla de los coeficientes de resistencia de entrada, como se puede apreciar el valor obtenido no se ajusta a ninguno de ellos, por ende se recomienda seleccionar el valor superior de la tabla al obtenido.

Sabiendo esto nuestro valor quedaría: > 0,15.

$$K = 0{,}04$$

Obteniendo así una entrada bien redondeada.

Una vez que ya se obtiene el valor de K, se procederá a calcular la perdida de carga, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(8{,}48^2/2 * 9{,}8) = 0{,}146\ [m]$$

2. Torre de soda 1:

Para todas las torres de la empresa los datos iniciales serán los mismos en cuanto al radio de aproximadamente 30 mm y el diámetro de 250 mm, esto es debido a que se ubican en la misma área en donde no existe modificación alguna en la línea.

Datos:

- r: 30 mm (Angulo formado por la cañeria y la torre).
- D: 250 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior a la torre).
- $v2$: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

De igual manera se utilizara la formula r/D, y se aproximara el valor debido a que también, entrego un número que no se encuentra en la tabla

$$30/250 = 0{,}12$$

$$K = 0{,}04$$

Y una vez que ya poseemos el valor del coeficiente de resistencia, calcularemos las pérdidas, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(8{,}48^2/2 * 9{,}8) = 0{,}146\ [m]$$

3. Torre de soda 2:

Para finalizar el cálculo de torres, se calculara la última perdida de carga de ellas de igual modo como se realizaron las dos primeras, esto ocurre por el hecho de que las tres, poseen una conformación estructural similar tanto en sus entradas como salidas, y debido a ello los número no sufren modificaciones.

Datos:

- r: 30 mm (Angulo formado por la cañeria y la torre).
- D: 250 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior a la torre).
- $v2$: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

Procederemos a calcular el valor r/D, y al igual que en casos anteriores al no ser exacto se aproximara al siguiente valor en tabla:

$$30/250 = 0{,}12$$

$$K = 0{,}04$$

Calcularemos la perdida de carga con los datos recién obtenidos, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(8{,}48^2/2 * 9{,}8) = 0{,}146\ [m]$$

4. Estanque de emergencia:

A pesar que directamente no se ve involucrado en el proceso más que en casos especiales, se calculara de todas formas para tener un control de los equipos del proceso, pues bien para ello se comenzara por determinar el coeficiente K.

Datos:

- r: 40 mm (Angulo formado por la cañeria y el estanque).
- D: 250 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior al estanque).
- $v2$: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

$$40/250 = 0{,}16$$

Según la tabla de los coeficientes de resistencia de entrada se puede apreciar que el valor obtenido es superior a 15 por ende se tomara como coeficiente de resistencia 0,04.

$$K = 0{,}04$$

Ahora se procederá a calcular la perdida de carga en este estanque de emergencia, mediante ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(8{,}48^2/2 * 9{,}8) = 0{,}146\ [m]$$

5. Filtros de carbón activado:

Debido a que los filtros de carbón activado son dos y exactamente iguales, el valor obtenido por la pérdida de carga deberá ser el mismo en ambos.

Datos:

- r: 30 mm (Angulo formado por la cañeria y el estanque).
- D: 250 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior al estanque).
- $v2$: 8,48 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

Se procederá con el cálculo del valor de r/D a fin de ver en la tabla cual será nuestro valor para K

$$30/250 = 0{,}12$$

Al resultar un valor de 0,12 podemos apreciar que nuestro coeficiente de resistencia K será:

$$K = 0{,}04$$

Ahora procederemos con el cálculo de nuestra perdida de carga, mediante la ecuación 25

$$h_L = 0{,}04(8{,}48^2/2 * 9{,}8) = 0{,}146\ [m]$$

6. Sello de emergencia:

El sello de emergencia cumple los mismos requisitos que cualquier otro equipo de esta envergadura, debido a ello también se requerirán los mismo datos iniciales salvo que en este caso los sellos de emergencia poseerán todos un radio de unos 35 mm aproximadamente.

Datos:

- r: 35 mm (Angulo formado por la cañeria y el estanque).
- D: 200 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior al estanque).
- $v2$: 13,26 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

Pues bien procederemos a calcular, para obtener nuestro coeficiente de resistencia K:

$$35/200 = 0{,}175$$

Al igual que en casos anteriores el valor de K, será aproximado:

$$K = 0{,}04$$

Ahora simplemente se procederá con el cálculo de perdida de carga en este equipo, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(13{,}26^2/2 * 9{,}8) = 0{,}358\ [m]$$

7. Estanque del compresor:

Para este punto del cálculo pasamos al segundo plano, en donde apreciaremos un skid el cual involucra a todo el compresor, llamaremos skid al conjunto de estanque, entradas, salidas, bombas y motor del compresor, en este cálculo solo abarcaremos el estanque de este, y se comenzara por determinar nuestro valor de r/D para poder ver en la tabla cuánto vale nuestro coeficiente de resistencia K.

Datos:

- r: 40 mm (Angulo formado por la cañeria y el estanque).
- D: 200 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior al estanque).
- $v2$: 13,26 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

$$40/200 = 0{,}2$$

Como bien se ha dicho en algunos puntos anteriores de estos cálculos al ser nuestro resultado de r/D mayor a 0,15, se optara por utilizar un coeficiente de resistencia, K de 0,04.

$$K = 0{,}04$$

Ahora se procederá a calcula la pérdida de carga de la salida del estanque del compresor hacia la cañeria, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(13{,}26^2/2 * 9{,}8) = 0{,}358\ [m]$$

8. Estanques de sello de emergencia:

Al igual que lo sucedido con los filtros de carbón activado, los estanques de sello de emergencia también son 2 exactamente iguales, por ende solo se realizara el cálculo para uno de ellos mientras se replica el valor de su pérdida de carga.

Pues bien comenzaremos calculando nuestro r/D.

Datos:

- r: 35 mm (Angulo formado por la cañeria y el estanque).
- D: 200 mm (Cañeria de ingreso, esto quiere decir, que será la cañeria de entrada a la línea, posterior al estanque).
- $v2$: 13,26 m/s (Velocidad con la que circula el fluido por el accesorio).

$$\frac{r}{D} = 35/200 = 0{,}175$$

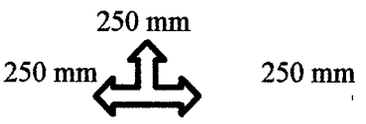
Como se menciona en puntos anteriores al ser > 0,15 se deberá utilizar según la tabla de los coeficientes de resistencia de entrada, un valor de 0,04.

$$K = 0{,}04$$

Y ahora simplemente se procederá a calcula la pérdida en la entrada de la cañeria, posterior a la salida del estanque, mediante la ecuación 25:

$$h_L = 0{,}04(13{,}26^2/2 * 9{,}8) = 0{,}358\ [m]$$

3.4.2.5. Unión T de 250 mm:



Datos:

- D: 250 mm (Diámetro de las 3 vías de la unión tipo T).
- v : 8,48 m/s (Velocidad con la que el fluido transitara por las diferentes direcciones de la unión tipo T).

Para poder analizar las pérdidas en las uniones T, debemos saber si dicha unión posee o no todos los diámetros iguales, debido a que si no fuese así, se deberá realizar un cálculo de perdida para cada medida y luego estimar un promedio.

En este caso particular todas las uniones T del piping o red de cañerías de esta área poseen medidas iguales, en sus 3 extremos.

Para comenzar, se debe encontrar el coeficiente de resistencia K, el cual nos ayudara al igual que en ocasiones anteriores a determinar la perdida de esa singularidad.

Como se observa se necesita el valor de L_e/D el cual se obtendrá de la tabla de resistencia en válvulas y junturas la cual esta expresada como longitud equivalente en diámetros de conducto. Dicha tabla nos entrega que para una unión T, estándar con flujo a través de una rama su valor será 60.

Mientras que el valor de f_t , es decir, el factor de fricción será dado por la tabla del factor de fricción en la zona de turbulencia completa para conductos, para ello se debe convertir los 250 mm en pulgadas:

$$250\ mm(1\ in/25{,}4\ mm) = 9{,}842\ [in]$$

$$10\ [in]\ aprox.$$

Como se aprecia se obtiene un valor de 10 $[in]$ aproximadamente y al buscar el valor en la tabla en la zona del tamaño del conducto nominal en pulgadas aparece que de 8-10 el factor de fricción será 0,014:

- L_e/D : 60 (Longitud equivalente en diámetros de conducto).
- f_t : 0,014 (Factor de fricción).

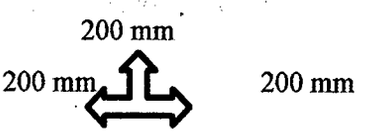
Con estos resultados ya se puede determinar el coeficiente de fricción K, mediante la ecuación 26:

$$K = (60)0{,}014 = 0{,}84$$

Y una vez que obtenemos el K, podemos calcular la perdida de carga mediante la ecuación 21:

$$h_L = 0{,}84(8{,}48^2/2 * 9{,}8) = 3{,}081[m]$$

3.4.2.6. Unión T de 200 mm:



Datos:

- D: 200 mm (Diámetro de las 3 vías de la unión tipo T).
- v : 13,26 m/s (Velocidad con la que el fluido transitara por las diferentes direcciones de la unión tipo T).
- L_e/D : 60 (Longitud equivalente en diámetros de conducto).

Como se apreció en el punto cinco recién visto, los pasos son los mismo para las uniones T, por ende procedemos a calcular las pulgadas para definir en nuestra tabla nuestro factor f_t.

$$200\ mm(1\ in/25{,}4\ mm) = 7{,}874\ [in]$$

$$8\ [in]\ aprox.$$

Como se aprecia se obtiene un valor de $8[in]$ aproximadamente y al buscar el valor en la tabla en la zona del tamaño del conducto nominal en pulgadas aparece que de 8-10 el factor de fricción será también 0,014:

- f_t : 0,014 (Factor de fricción).

Con este resultado ya se puede determinar el coeficiente de fricción K, mediante la ecuación 26:

$$K = (60)0{,}014 = 0{,}84$$

Ahora procedemos a calcular nuestro h_L mediante ecuación 21:

$$h_L = 0{,}84(13{,}26^2/2 * 9{,}8) = 7{,}535[m]$$

3.4.2.7. Codo 200 mm:

Datos:

- D_o : 200 mm (Diámetro nominal del codo).
- R_i: 305 mm (Radio, según fabricante).
- e : 2,0 mm (Espesor, según fabricante).
- v : 13,26 m/s (Velocidad con la que el fluido transitara por el codo).

El primer paso es calcular el radio medio del codo de 200 mm, y para distinguir entre radio medio y el radio entregado por el fabricante diremos que Ri será para el radio del fabricante, mientras que el radio medio se mantendrá como r, y se calculara mediante la ecuación 28:

$$r = 305 + \frac{200}{2} = 405\ [m]$$

Ahora bien para obtener el valor de L_e/D en la gráfica debemos determinar cuánto vale r/D

$$r/D = 405/200 = 2{,}025$$

Una vez ya determinado r/D proderemos a ubicarlo en nuestra Grafica de resistencia debido a los codos de 90°. La grafica nos entrega que el valor de proporción de longitud equivalente L_e/D será aproximadamente 12.

- L_e/D = 12. (Longitud equivalente en diámetros de conducto).

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA
CONCEPCION

Ahora nos ubicaremos en la tabla para determinar el factor de fricción en la zona de turbulencia completa para conductos, por ende procedemos a calcular las pulgadas para definir en nuestra tabla nuestro factor f_t.

$$200\ mm(1\ in/25{,}4\ mm) = 7{,}874\ [in]$$

$$8\ [in]\ aprox.$$

Como se aprecia se obtiene un valor de $8[in]$ aproximadamente y al buscar el valor en la tabla en la zona del tamaño del conducto nominal en pulgadas aparece que de 8-10 el factor de fricción será también 0,014:

- f_t : 0,014 (factor de fricción).

Finalmente se podrá calcular el valor h_L, mediante la ecuación 8:

$$h_L = 0{,}014 * 12 * \frac{13{,}26^2}{2 * 9{,}8} = 1{,}507[m]$$

3.4.2.8. Codo 250 mm:

Datos:

- D_o: 250 mm (Diámetro nominal del codo).
- R_i: 290 mm (Radio, según fabricante).
- e: 2,0 mm (Espesor, según fabricante).
- v: 8,48 m/s (Velocidad con la que el fluido transitara por el codo).

El primer paso es calcular el radio medio del codo de 250 mm, mediante la ecuación 28:

$$r = 290 + \frac{250}{2} = 415\ [m]$$

Ahora bien para obtener el valor de L_e/D en la gráfica debemos determinar cuánto vale r/D

$$r/D = 415/250 = 1{,}66$$

Ya determinado r/D proderemos se ubicara en la gráfica de resistencia debido a los codos de 90°. La grafica entrega el valor de proporción de longitud equivalente L_e/D será aproximadamente 14.

- L_e/D = 14 (Longitud equivalente en diámetros de conducto).

Ahora nos ubicaremos en la tabla para determinar el factor de fricción en la zona de turbulencia completa para conductos, por ende procedemos a calcular las pulgadas para definir en nuestra tabla nuestro factor f_t.

$$250\ mm(1\ in/25{,}4\ mm) = 9{,}842\ [in]$$

$$10\ [in]\ aprox.$$

Como se aprecia se obtiene un valor de $10[in]$ aproximadamente y al buscar el valor en la tabla en la zona del tamaño del conducto nominal en pulgadas aparece que de 8-10 el factor de fricción será también 0,014:

- f_t : 0,014 (factor de fricción).

Finalmente se podrá calcular el valor h_L, mediante la ecuación 8:

$$h_L = 0{,}014 * 14 * \frac{8{,}48^2}{2 * 9{,}8} = 0{,}719[m]$$

FITTING	CANTIDAD	PERDIDA DE CARGA DE CADA FITTING $[m]$	TOTAL $[m]$
CONTRACCION GRADUAL 250X200	5	0,224	1,12
CONTRACCION GRADUAL 300X250	1	0,084	0,084
TORRE DE LICOR MADRE	1	0,146	0,146
TORRE DE SODA 1	1	0,146	0,146
TORRE DE SODA 2	1	0,146	0,146
ESTANQUE DE EMERGENCIA	1	0,146	0,146
FILTROS DE CARBONO ACTIVADO	2	0,146	0,292
SELLO DE EMERGENCIA	1	0,358	0,358
ESTANQUE DEL COMPRESOR	1	0,358	0,358

ESTANQUES DE SELLO DE EMERGENCIA	2	0,358	0,716
UNION DE TIPO T, 250 mm	1	3,081	3,081
UNION DE TIPO T, 200 mm	1	7,535	7,535
CODO 200 mm	10	1,507	15,07
CODO 250 mm	16	0,719	11,504
TOTAL	44	14,954	40,702

Tabla 3.33 Tabla de Resultados de Perdidas Menores en la Línea Principal.

Fuente: Eka Chile S.A.

Una vez obtenido los valores obtenidos de las perdidas mayores y menores se procederá a tabularlas a fin de sacar las pérdidas totales del sistema:

PERDIDAS	TOTAL [m]
PERDIDAS MAYORES	51,8396
PERDIDAS MENORES	40,702
PERDIDAS TOTALES	92,5416

Tabla 3.34 Tabla de Resultados de Pérdidas Totales de la Línea Principal.

Fuente: Eka Chile S.A.

CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN TECNICO ECONOMICA

4.1. EVALUACIÓN TÉCNICA

4.1.1. Capacidades de producción.

La empresa opera continuamente las 24 horas del día y los 365 días del año, generando aproximadamente, producciones que van, desde los 3,5 hasta las 10 toneladas por hora, con un gasto energético de su proceso que puede llegar hasta los 56 MW.

No obstante se pueden modular periodos de baja producción de 2,2 toneladas por hora con un consumo aproximado de 12 MW, esto se aplica por la sencilla razón, de que la planta debe mantener un balance térmico a fin de que esta no colapse que sería en el peor de los casos.

Con la mejora del área de purificación, mediante la implementación del compresor de anillo líquido, que entraría en lugar del actual eyector de vapor, no se lograría un ahorro energético ni mucho menos monetario en esta área, de hecho la inversión es bastante elevada, si se analiza desde el punto de vista económico. Pero a pesar de ello, esta propuesta toma fuerza a la hora de pensar en que beneficios le traerá a la empresa.

Si bien es cierto el sector de purificación más allá de modernizar su proceso, generaría la eliminación de la línea principal de vapor que es utilizada para la impulsión del hidrogeno en la línea proveniente desde baterías. La eliminación del vapor en la línea traerá consigo tres grandes beneficios:

1. Ahorro energético importante, esto va enfocado al tema, de la producción de vapor en la empresa, a fin de poder utilizarlo en este proceso.
2. Ahorro económico, es una inversión importante, pero se estima que la inversión se recuperaría en 5 años.
3. Facultad de poder implementar el vapor generado en caldera para otros procesos, tales como, el cristalizador Oslo y el evaporador de efluente para generar el vacío necesario para su proceso. Además se utilizara para secar la mezcla de cloruro en el filtro de mesa, luego que este es transporte el producto por las duchas de lavado.

4.1.2. Localización de la mejora y tamaño de equipos involucrados.

Ver anexo 9. Se aprecia el diagrama del proceso productivo de la empresa, en el cual se detalla específicamente el área que abarca este proyecto, como se observa el área de purificación es una ramificación de batería 2, por ello es que la ubicación de esta esta aledaña al de batería. No obstante purificación no es un área de gran tamaño, sin embargo, es más que suficiente para mantener los equipos que involucran este proceso, Ver anexo 10.

La mejora no involucra cambio alguno en las dimensiones del área, debido a que se obtendrá espacio adicional debido al retiro de algunos equipos en la línea puesto que no serán utilizados, debido a que el compresor cuenta con todo lo necesario dentro de su skid, y el resto de la mejora se realizara en aire, puesto que serán referentes a cambios de cañerías, y sus accesorios.

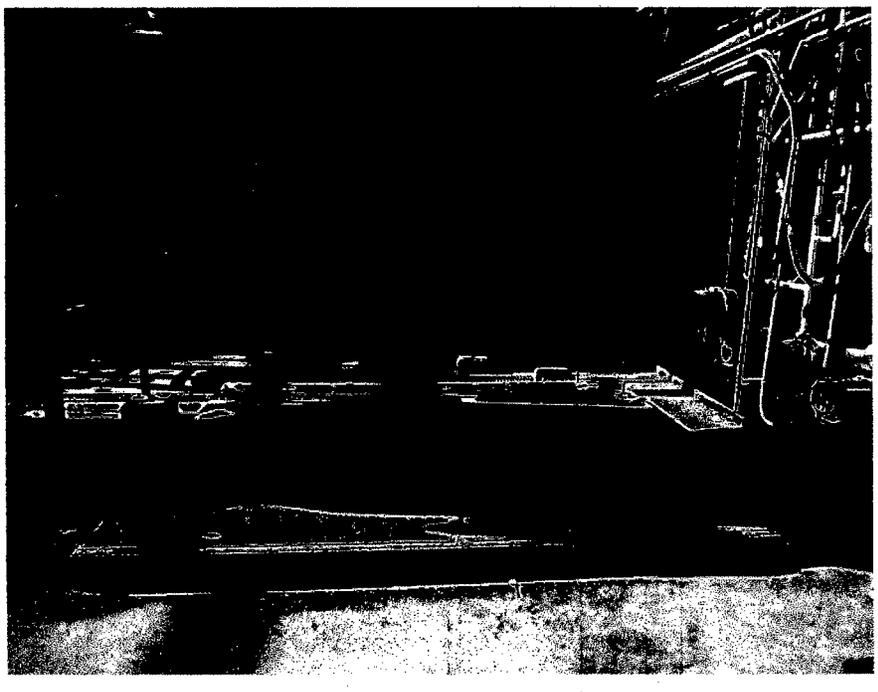


Figura 4.31 Base Estructural Donde Ira Montado el Skid del Compresor.

Fuente: Eka Chile S.A.

En la figura anterior se puede apreciar la base estructural donde el compresor ira montado, y será de 3,2 x 2,45 m^2.

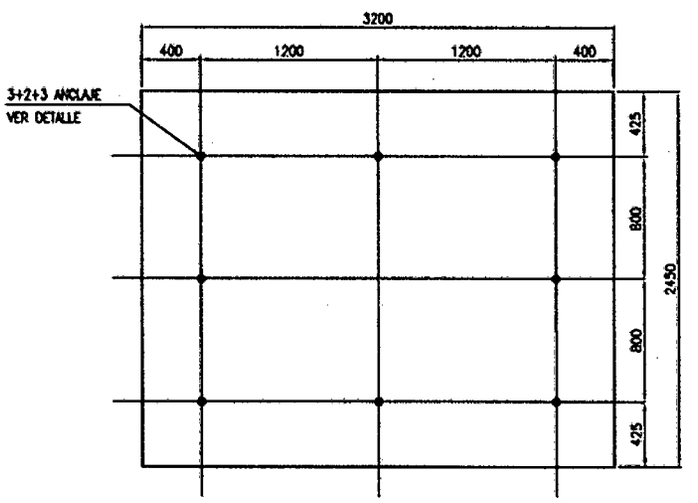


Figura 4.32 Detalle Base Estructural Skid del Compresor.

Fuente: Eka Chile S.A.

La estructural deberá ir fijada con pernos de anclaje Hilti HSL-3 M10/40 galvanizado.

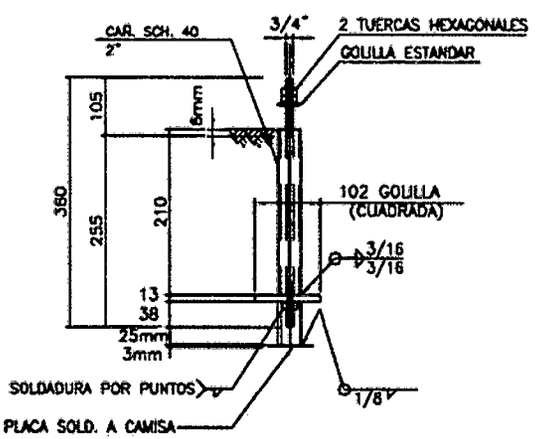


Figura 4.33 Detalle Perno de Anclaje Base Estructural Skid del Compresor.

Fuente: Eka Chile S.A.

Como composición la base donde ira montado el compresor debe cumplir con ciertas especificaciones solicitadas por la empresa.

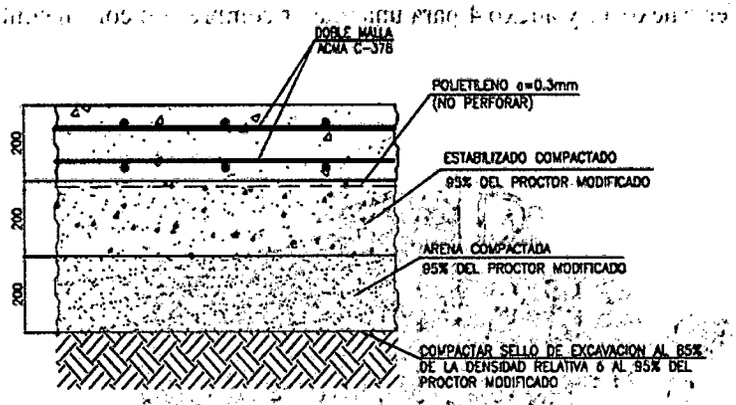


Figura 4.34 Detalle Composición Base Estructural Skid del Compresor.

Fuente: Eka Chile S.A.

El área de purificación no abarca más allá de 15,937 x 11,546 m^2, ver anexo 12. En el anexo anterior se muestra una vista superior de la mejora en donde el compresor ya estaría montado sobre su base estructural.

En la figura que se mostrara a continuación se aprecia el isométrico de la mejora en su etapa final, puesto que posee tanto el compresor como las cañerías montadas.

La figura de color dorado será nuestro equipo ya montado, se aprecia tanto las cañerías amarillas las cuales son las de titanio y acero al carbono, como las de tono morado las cuáles serán las de PVC/FRP. Las cuales no utilizaran mayor espacio físico debido a que estarán en su mayoría ubicadas por sobre los equipos, tal y como se detalla y explica en el capítulo 3 cuando se calcularon sus pérdidas.

Adicional a todo ello se ha generado un plano tanto de la primera parte del proyecto la cual abarcara el inicio del proceso desde su salida de batería hasta el ingreso hacia el compresor, y una segunda parte que abarcara desde el compresor hasta el área de calderería. Ver Anexo 12 y anexo 4 para una mayor compresión con su simbología.

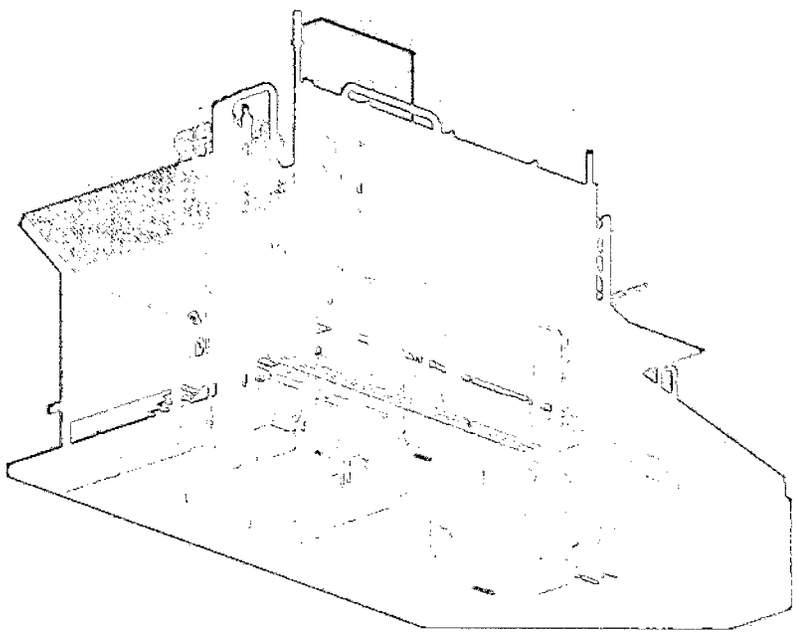


Figura 4.35 Área de Purificación de Hidrogeno con la Mejora Implementada.

Fuente: Eka Chile S.A.

4.1.3. Verificación de la capacidad técnica.

Al referirnos a la capacidad técnica, se hablara acerca de que si su personal tiene o no las habilidades para poder operar y realizarle mantenciones a esta mejora, por ello surge lo siguiente:

En cuanto al montaje e implementación del equipo, la empresa cuenta con personal calificado para realizar las tareas de soldadura de cañerías, no obstante se solicitara apoyo a la empresa contratista Serema por un tema de seguridad.

En cuanto a la operación se capacitara al personal acerca del equipo instalado, esto sucede debido al hecho de que jamás, se ha manipulado en la empresa un equipo de este tipo, y debido a que se debe poseer un nivel relativamente avanzado sobre el manejo y riesgos del hidrogeno, no se encuentran apropiadamente calificados.

Por la parte de mantención de él no habría problema alguno en ello sin embargo se añadirán algunas recomendaciones importantes a la hora de su mantención como dato adicional que conviene tener encuentra a la ora de intervenir el equipo.

En cuanto a la empresa en general se deberá realizar una charla general para que se conozca el uso operación y cuidados que se deben tener en cuanto al equipo y a las mejoras realizadas a la línea principal de hidrogeno.

4.2. EVALUACIÓN ECONOMICA

4.2.1. Costos involucrados relacionados a equipos y accesorios.

Se debe realizar un listado de los equipos y accesorios que serán utilizados en el proyecto, para ello se han realizado una serie de cotizaciones a fin de poseer una estimación puntual de los costos involucrados:

Veremos entonces las cañerías de acero al carbono, titanio y PVC/FRP. Junto con ello los fittings de cada uno de ellos con la cantidad y tipo exacto que se requerirán para el proyecto, y se cotizara el equipo compresor adecuado para el área, en conjunto con sus accesorios y equipos involucrados en su proceso.

Comenzamos con la cotización de las cañerías y fittings de titanio, ver anexo 11 secciones A; los valores de los accesorios y cañerías de acero inoxidable solo se cotizaron vía correo y no existe una cotización puntual, más allá de la respuesta verbal de la empresa.

En cuanto a las cañerías y accesorios de PCV/FRP, ver anexo 11, sección B; las cuales son el punto fuerte en cuanto a impacto económico, se procedió por medio de la empresa Vinilit la cual funciono como un intermediario como el principal exportador de la marca Cellchem, debido a que dicha marca, posee una alianza estratégica con la empresa.

Por otro lado el skid del compresor de anillo líquido se formuló como una oferta completa, es decir gracias a que se optó por la elección de los aditamentos de él, de su misma marca la institución género un importante descuento en el valor total. Ver anexo 11, sección C.

Finalmente se aprecia la cotización realizada al compresor de anillo líquido de la marca Sihi. Ver anexo 11, sección D. en la cual se muestran los aspectos claves del porque se seleccionó, demostrando de manera concreta que fue la decisión más acertada.

Finalmente se realizara una tabla con la cantidad y los valores totales que saldrá el proyecto, solo referente a la parte de materiales y equipos.

Equipo/Material	Cantidad	Precio Unitario
Cañeria PVC/FRP 250 mm	10,72 m	$ 6.827.111,2
Cañeria PVC/FRP 200 mm	17,93 m	$ 11.595.774,78
Cañeria Titanio 250 mm	14,68 m	$ 4.631.230
Cañeria Acero al carbono 200 mm	3,0325 m	$ 1.939.600
Flange Welding neck, clase 150, acero al carbono, ANSI de 200 mm	3	$ 576.200
Flange Loose, PVC/FRP, 250 mm	5	$ 65.731
Flange Loose, PVC/FRP, 200 mm	6	$ 60.387
Flange Loose, Titanio, ISO, 250 mm	6	$ 520.200
Reducción ,PVC/FRP 250x200 mm	5	$ 70.567
Reducción PVC/FRP 300x250 mm	1	$ 98.569
Union T, 90° PVC/FRP 200 mm	1	$ 45.857
Union T, 90° Titanio 250 mm	1	$ 425.320
Codo PVC/FRP 200 mm	6	$ 34.044
Codo PVC/FRP 250 mm	6	$ 65.569
Codo acero al carbón, ISO, 200 mm	4	$ 515.900
Codo Titanio 250 mm	10	$ 375.200
Skid de compresor de anillo liquido (incluye compresor y sus accesorios)	1	$ 39.945.600
		$ 67.792.859,98

4.2.2. Costos involucrados relacionados a mano de obra.

Para el proyecto se requerirá personal de apoyo en las labores de soldadura de las cañerías, es por ello que se incluirá en los gastos adicionales, la mano de obra de la empresa Serema, la cual designo a 2 de sus trabajadores para el apoyo de la obra, cada trabajador cobrara por las 2 semanas de trabajo $300.000, y los costos de los materiales, fueron definidos en $50.000 por términos de soldadura y arriendo de una maquina adicional.

Empresa	Valor mano de obra por trabajador de apoyo.	Valor materiales	Valor total
Serema	$300.000	$150.000	$750.000

Como valor adicional se contó con la presencia por 2 meses de la empresa contratista Ingepro, la cual brindo servicios en cuanto al cimiento que actualmente es la base donde ira montada la base estructural del compresor de anillo líquido, la empresa cobro por día llegando a un total de 15 días de trabajo, y enviando a 4 trabajadores por día.

Empresa	Mano de obra por trabajador	Materiales	Valor total
Ingepro obras civiles	$20.000	$952.040	$2.152.040

4.2.3. Costos totales de la obra

Empresa	Valor total
Equipos y accesorios	$67.792.859,98
Mano de obra	$2.902.040
	$70.694.899,98

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Conclusiones

La empresa solicito ayuda referente al proyecto, debido a que no se poseía ningún plano de las instalaciones, ni tampoco de cuantas eran las pérdidas producidas en ella, es por ello que se realizaron los cálculos respectivos dando una respuesta positiva y demostrando la valides del proyecto.

La mejora se torna viable debido al hecho que la inversión se estima que se recuperaría en 5 años aproximadamente y como la empresa solicito se escogieron accesorios y cañerías de la marca Cellchem, a fin de cumplir con la alianza estratégica que ella tiene con la marca.

El proceso se centra en la implementación de la mejora de su línea principal, por ende las demás ramificaciones no fueron, tomadas en cuenta en este proyecto, no obstante se a abierto la posibilidad a realizar el cálculo a fin de tener el valor total del proceso.

La implementación del compresor de anillo liquido en reemplazo para su actual equipo de impulsión de hidrogeno, comenzaría a inicios del próximo año, y es por ello que al menos dentro del ámbito de la empresa, se consiguió una aprobación rotunda con el trabajo realizado. Todo esto debido a que el compresor, cañerías y accesorios seleccionados se encontraron dentro de los valores y parámetros acertados, y gracias a ello se lograra una disminución importante en lo referente a costos de operación.

El costo de implementación de este proyecto es alto, no obstante se cumplió en todo lo solicitado por la empresa dando un balance positivo económicamente hablando, debido a que se utilizó el presupuesto asignado, optimizando recursos y reduciendo costos.

5.1.2. Recomendaciones

En cuanto al proyecto, se debe tomar en cuenta la ubicación del compresor de anillo liquido debido a que si bien es cierto este es de acero inoxidable, toda su pernería, y accesorios no lo son, además no se debe olvidar que la empresa lo mantiene ubicado en un ambiente agresivo y hostil, debido a que se encuentra inverso en un área donde existe presencia de sal en el aire, lo cual lo vuelve vulnerable a la corrosión.

Se deberá tener especial cuidado debido a que, por especificación de la empresa y como una medida para reducción de costos se optó por utilizar las cañerías de acero al carbono que venían junto con el skid del compresor de anillo líquido, y como en el párrafo anterior ya se explicó, el área presenta un ambiente agresivo es por ello que la corrosión lo afectara en un corto plazo, se recomienda modificar las cañerías por acero inoxidable, como se hizo énfasis en el diseño del proyecto cuando se seleccionaron las cañerías.

Se recomienda además en los meses que quedan para su montaje escoger un lugar seco y alejado de los peligros del sol y la sal del ambiente, debido a que las cañerías son almacenadas en un rincón junto al compresor.

Además del hecho que los trabajadores tanto el área de mantención y los operadores de terreno deben conocer el equipo a fondo, por ende se recomienda una capacitación más a minuciosa dirigida al personal que utilizara este equipo a diario.

BIBLIOGRAFIA

MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ª ed. Madrid: Ediciones Pearson, 1996. 678p.; il.; 17 x 24 cm. ISBN: 968-880-542-4.

CENGEL, Yunus A. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. 1ª ed. 2006 México: Ediciones Pearson. ISBN: 923-850-142-6. Departamento de Ingeniería mecánica UNIVERSIDAD NEVADA, RENO.

SHAMES, Irving H. Mecánica de Fluidos. 3ª ed. 1995 Colombia, Bogotá: Ediciones McGraw-Hill. ISBN: 958-600-246-2. Facultad de Ingeniería y Ciencia Aplicada UNIVERSIDAD NEW YORK, BUFFALO.

GILES, Ranald V; EVETT, Jack B. y LIU Cheng. Mecánica de Fluidos Fundamentos e Hidráulica. 3ª ed. 2003 España: Ediciones McGraw-Hill. ISBN: 84-481-1898-7. DREXELL INSTITUTO DE TECNOLOGIA y UNIVERSIDAD CAROLINA DEL NORTE.

LINKOGRAFIA

NAVARRETE Contreras Miguel. Perdidas de carga: Perdidas de cargas localizadas o accidentales. [en línea]. <http://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF> [consulta: 25 Agosto 2016].

SANTOS Sabrás Fernando. Perdidas de carga: Perdidas de carga en los componentes de instalaciones hidráulicas. [en línea]. <http://Downloads/GPL_4_Spanish_07_08.pdf> [consulta: 27 Agosto 2016].

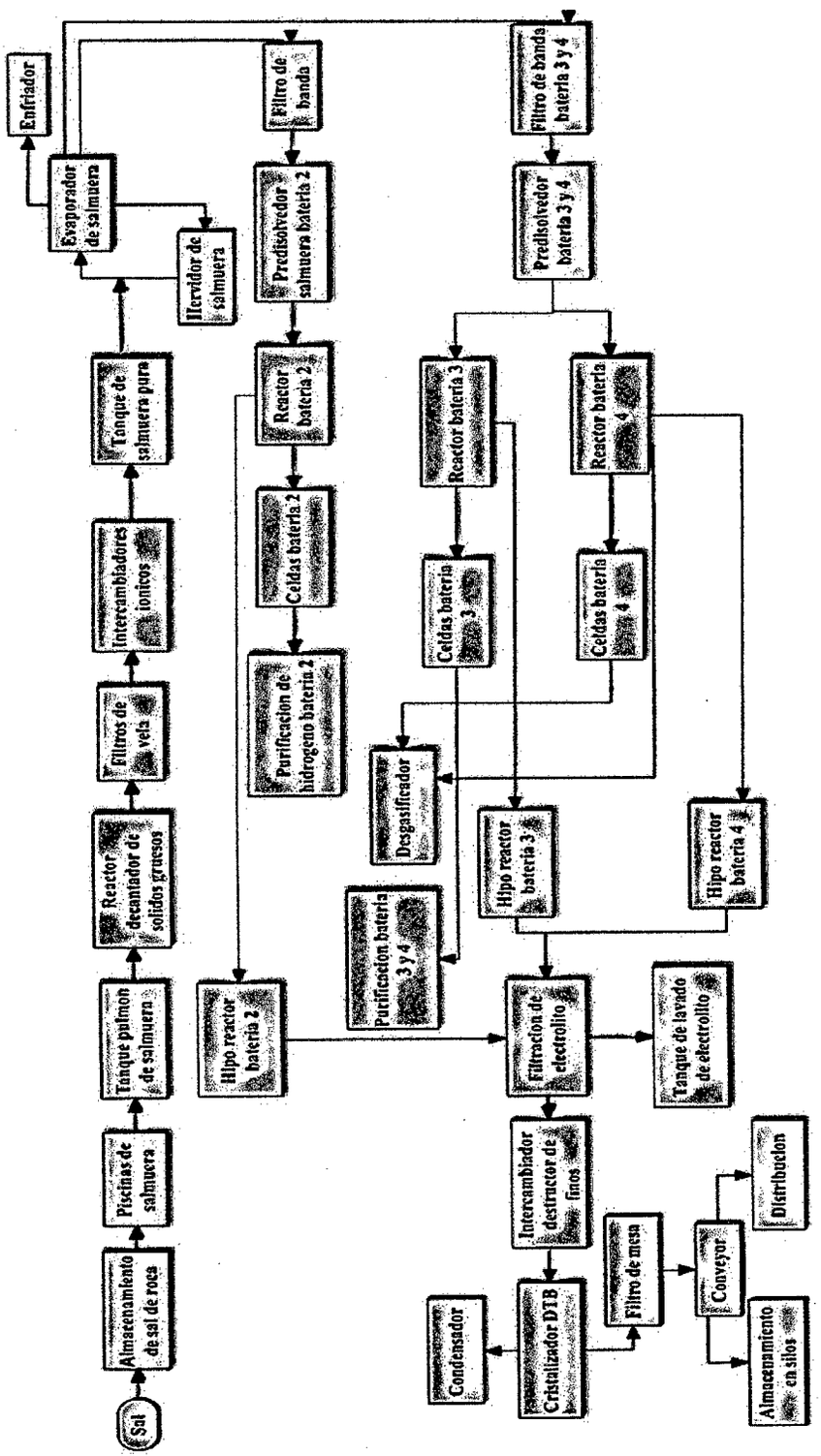
SABALETA Urrutia Mario. Selección de componentes: Manual Para la Identificación y Selección de Fittings. [en línea]. <http://www.calderasyenergia.cl/wp-content/uploads/2015/09/Fittings.pdf> [consulta: 29 Agosto 2016].

MELLADO Beltrán Juan. Identificación de un P&id: Diagramas de Procesos e Identificación de los Componentes Básicos. [en línea]. <http://www.instrumentacionhoy.blogspot.cl/2015/04/interpretar-un-p.html> [consulta: 3 Noviembre 2016].

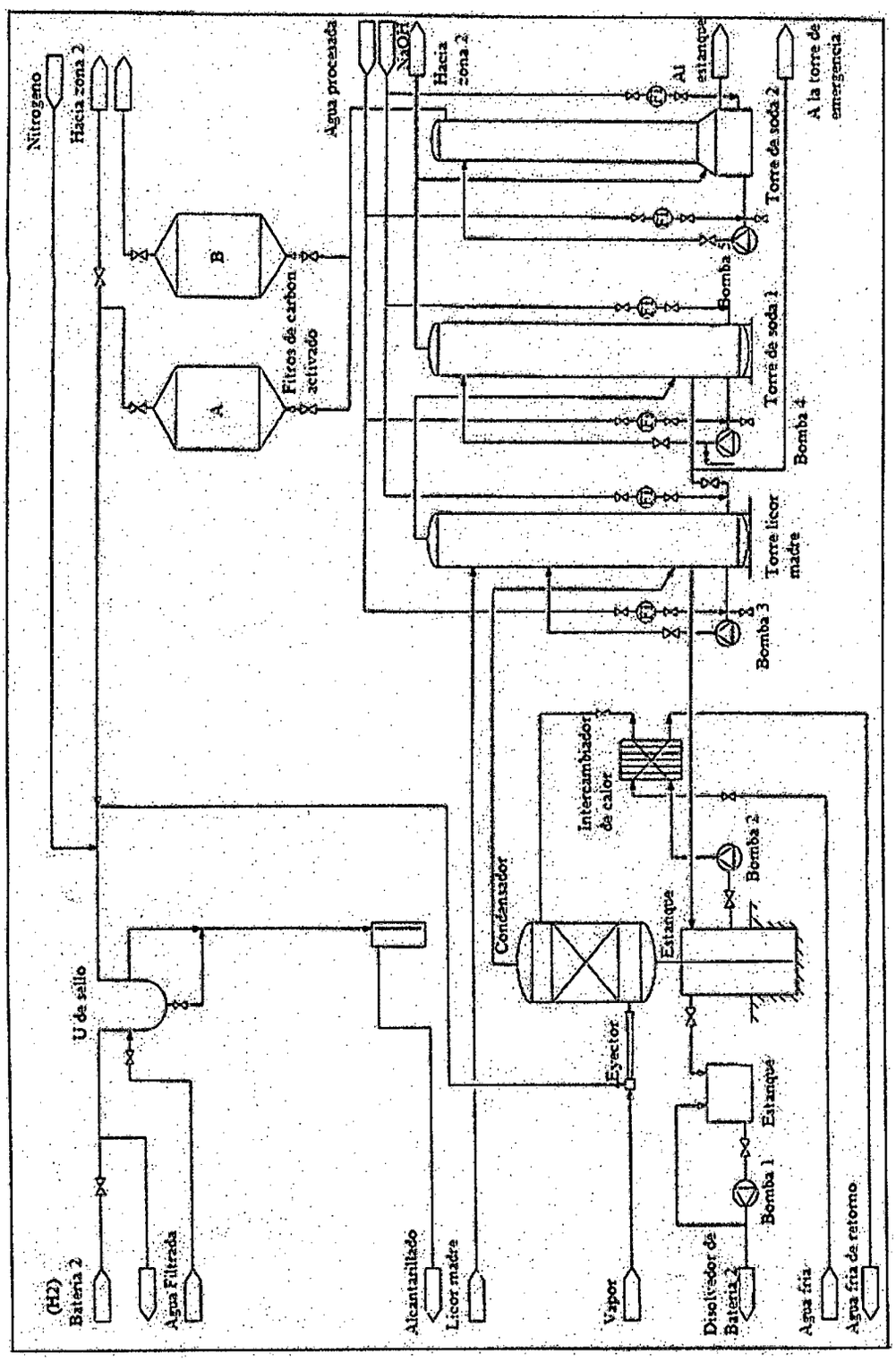
SAN MARTIN Toledo Luis. Gestión de Operaciones: Calculo de Costo de Mano de Obra por Unidad de Producto. [en línea]. <http://www.gestiondeoperaciones.net/procesos/calculo-del-costo-de-mano-de-obra-por-unidad-de-producto/> [consulta: 20 Noviembre 2016].

ANEXOS

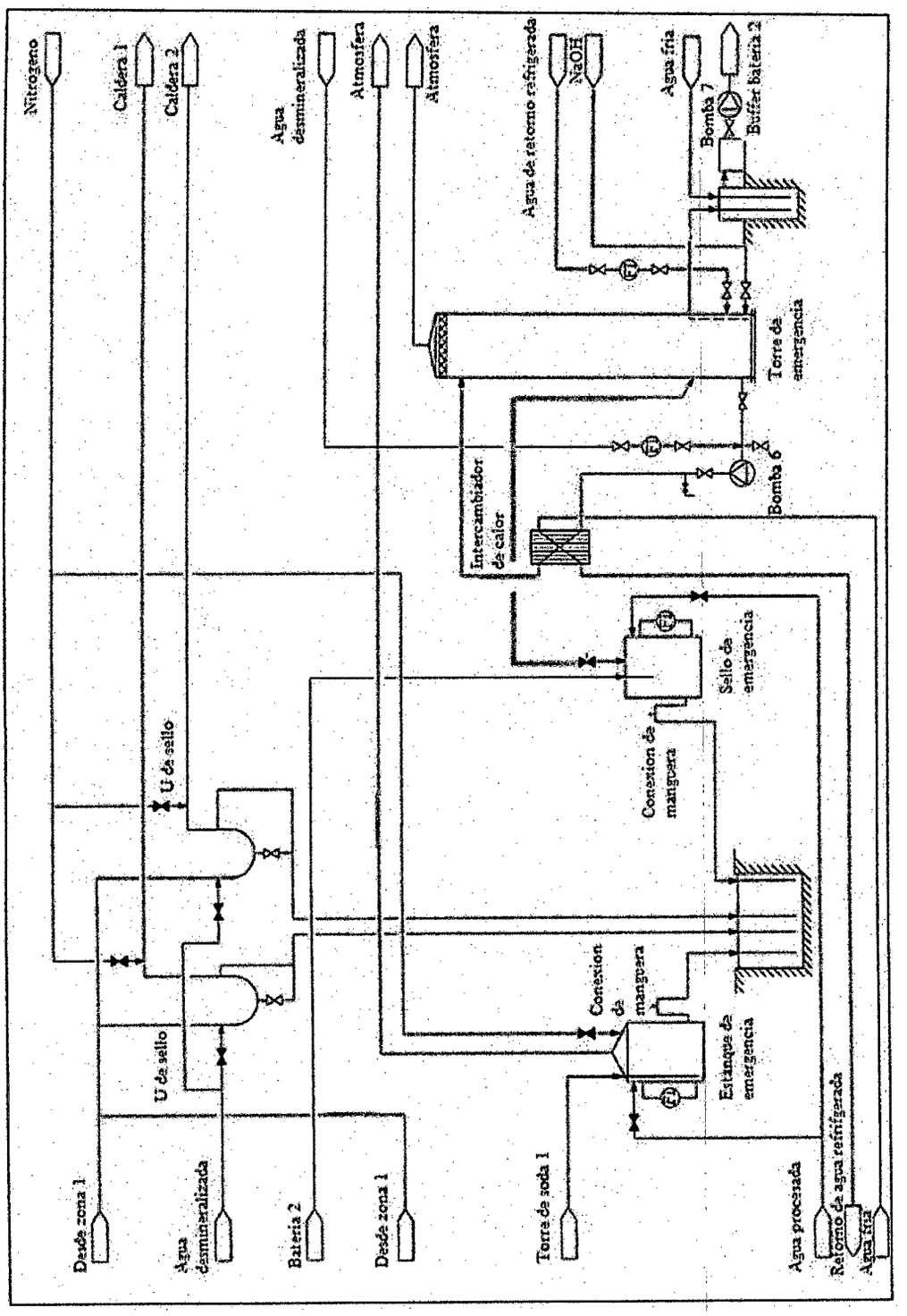
ANEXO 1: DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA



ANEXO 2: PLANO ACTUAL DEL AREA DE PURIFICACION PARTE 1

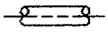


ANEXO 3: PLANO ACTUAL DEL AREA DE PURIFICACION PARTE 2

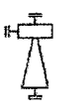
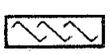
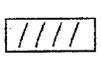
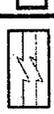
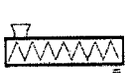
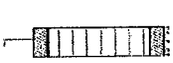


ANEXO 4: SIMBOLOGIA Y P&ID

Simbología general del Piping	
	Válvula normalmente abierta
	Válvula normalmente cerrada
	Válvula check (retención)
	Válvula de aguja
	Válvula de 3 vías
	Válvula de seguridad
	Reductor concéntrico
	Reductor excéntrico
	Colador
	Disco de ruptura
	Placa orificio
	Punto de muestra
	Flange ciego abierto
	Flange ciego cerrado
	Mirilla
	Fuelle de expansión

	Trampa de vapor
	Membrana
	Conexión de manguera
	Tapa del final de línea
	Aislamiento
	Flange
	Totalizador local
	Ducha de emergencia
	Aspersor
	Energía de emergencia

Simbología de bombas/ventiladores	
	Bomba
	Bomba centrifuga
	Bomba de pistón
	Bomba de diafragma
	Bomba de tornillo excéntrico
	Bomba magnética
	Bomba aspiradora
	Ventilador

Simbología del equipamiento	
	Agitador
	Boquilla
	Mezclador estático
	Silenciador
	Centrifuga
	Filtro
	Enfriador
	Tornillo transportador o conveyor
	Filtro de prensa

- Código estándar para válvulas:

I. Primer carácter, tipo de válvula

A	Valvula de guillotina	P	Tapón
B	Valvula de mariposa	Q	Disco de retención
D	Valvula de diafragma	R	Valvula check
G	Valvula de globo	S	Valvula de seguridad
H	Valvula de aguja	W	Valvula de compuerta
K	Valvula de bola 2/3	X	Valvula de tipo especial
M	Valvulas de multiples salidas	Z	Trampa de vapor
N	Valvula de bola completamente soldada	.	.

II. Segundo carácter, tipo de material

A	STAINLESS, STEEL	N	TANTAL
B	BRONZE	O	PP (PROPYLENE)
C	CARBON STEEL	P	PFA-LINED
D	PVDF	Q	PP-C
E	PTFE	R	FRP
F	FEP (FLOUR ETEN PROPYLENE)	S	STELLITE
G	CAST IRON	T	TITANIUM
H	HASTELLOY C	X	SPECIAL METERIAL
I	PLATINA	Y	GLASS
K	KYNAR (EPDM)	Z	CAST STEEL
L	NICKEL		
M	MONEL		

III. Tercer carácter

0	EPDM	5	NON-FERROUS METAL
1	NITRILE, PERBUNAN	6	STELLITE
2	NEOPREN	7	HYPALON
3	VITON	8	SPECIAL
4	PTE/PFA	9	SAME MATERIAL IN BODY/ SEAT

- Código de la clase de las cañerías:

Codigos	Denominacion de clases de cañerias
CA 150	CARBON STEEL, ANSI STD, CLASS 150
CA 300	CARBON STEEL, ANSI STD, CLASS 300
CZ 16	CARBON GALVANIZED,THREADED, PN 16
SI 10	STAINLESS STEEL, SS 2333, ID, PN 10
AI 10	STAINLESS STEEL, SS 2343,ISS 2353,ISO
PN 10	STAINLESS STEEL, SS 2343,ISS 2353,ISO
TI 10	TITANIUM, ISO, PN10
GS 10	FRP–VINYLESTHER, STANDARD, ID, PN 10
UG 10	UPVC/FRP–VINYLESTER, HIGHTEMP. ID. PN10
FG 04	FEP/FRP– VINYLESTER, ID, PN4
CG 10	CARBON STEEL (PROPILRNO PENDIENTE

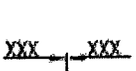
- Tipo de líneas usadas para el diagrama de flujo:

Flujo principal de proceso

Flujo secundario de proceso

Señal de instrumentos

Sensor



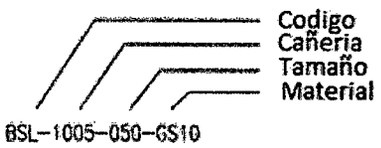
Cambio de material en la tubería

Dirección de la caída de la tubería

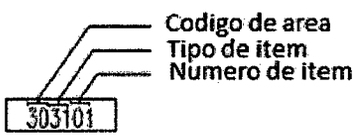
Límite de entrega

Limite proveedor

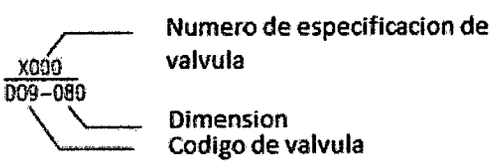
- Código de numeración de línea



- Código de numeración de equipo



- Código de numeración de válvulas



- Designaciones de líneas de servicio

AC	Aire comprimido	FA	Filtro de ayuda
AI	intrumentos de aire	FIW	Agua contra incendios
AR	Respiradero	FO	Estanque de aceite
AW	Agua acida	FW	Agua filtrada
BE	Salmuera de cloruro de sodio	GH	**Hidrogeno**
BS	Fango	GN	Nitrogeno
BSL	Lodos de salmuera	GR	tanq.de gas reaccion
CC	Cloruro de calcio	HA	Acido hidroclorito
CCW	Agua cond. cristalizada	HW	Agua caliente
CF	Agua con cant. NaClO3	HWR	Agua caliente de retorno
CH	Suministro de agua fria	POW	Agua potable
CHR	Agua fria de retorno	PW	Agua del proceso
CO	Aceite de refrigeracion	RW	Agua cruda
CS	Clorato solido	SC	Vapor condesado
CT	Agua fria suministrada	SD	sol. dicromato sodio
CTR	Agua fria de retorno	SG	Liquido lavado alcalino
CW	Agua fria	SH	Sol. hidroxido sodio
DW	Agua desmineralizada	SO	Sol. carbonato sodio
ECW	Agua evaporador cond.	ST	Vapor
EL	Electrolito	SW	Agua de sellado
ER	Electrolito de retorno	SWR	Agua de sellado retorno
ED	Electrolito diluido	TW	Agua temperada
ES	Lodos de clorato	VW	Vapor de agua
EW	Electrolito debil	WW	Agua de residuos

ANEXO 5: DIAGRAMA DE MOODY

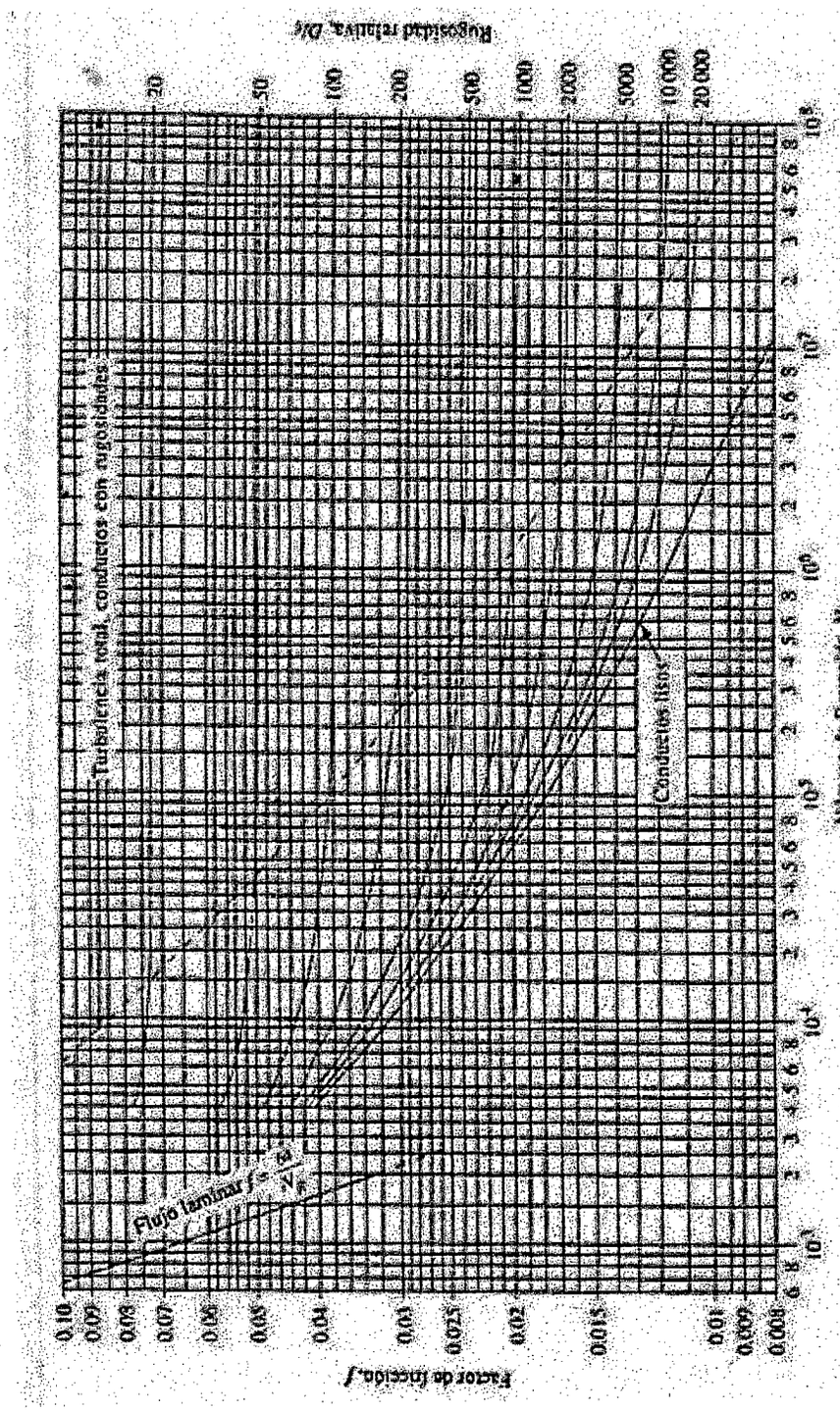
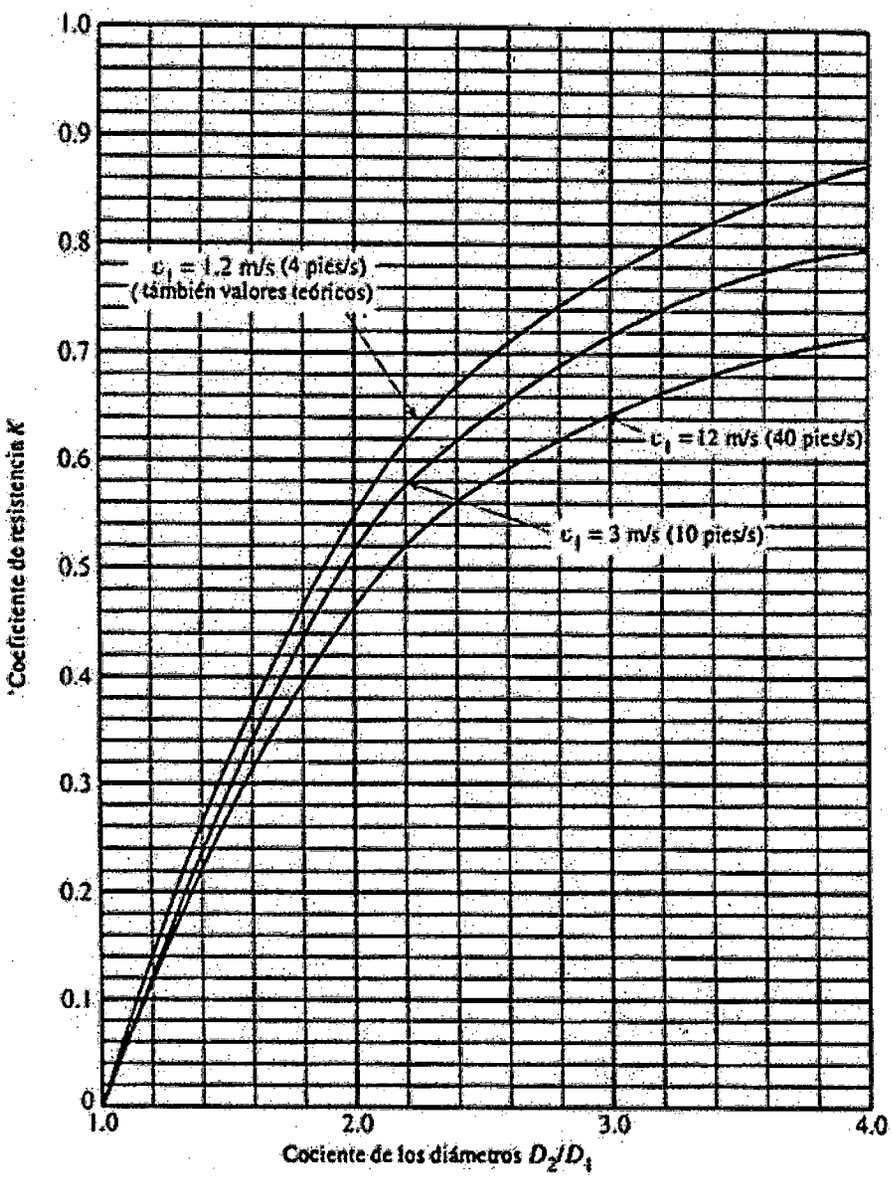
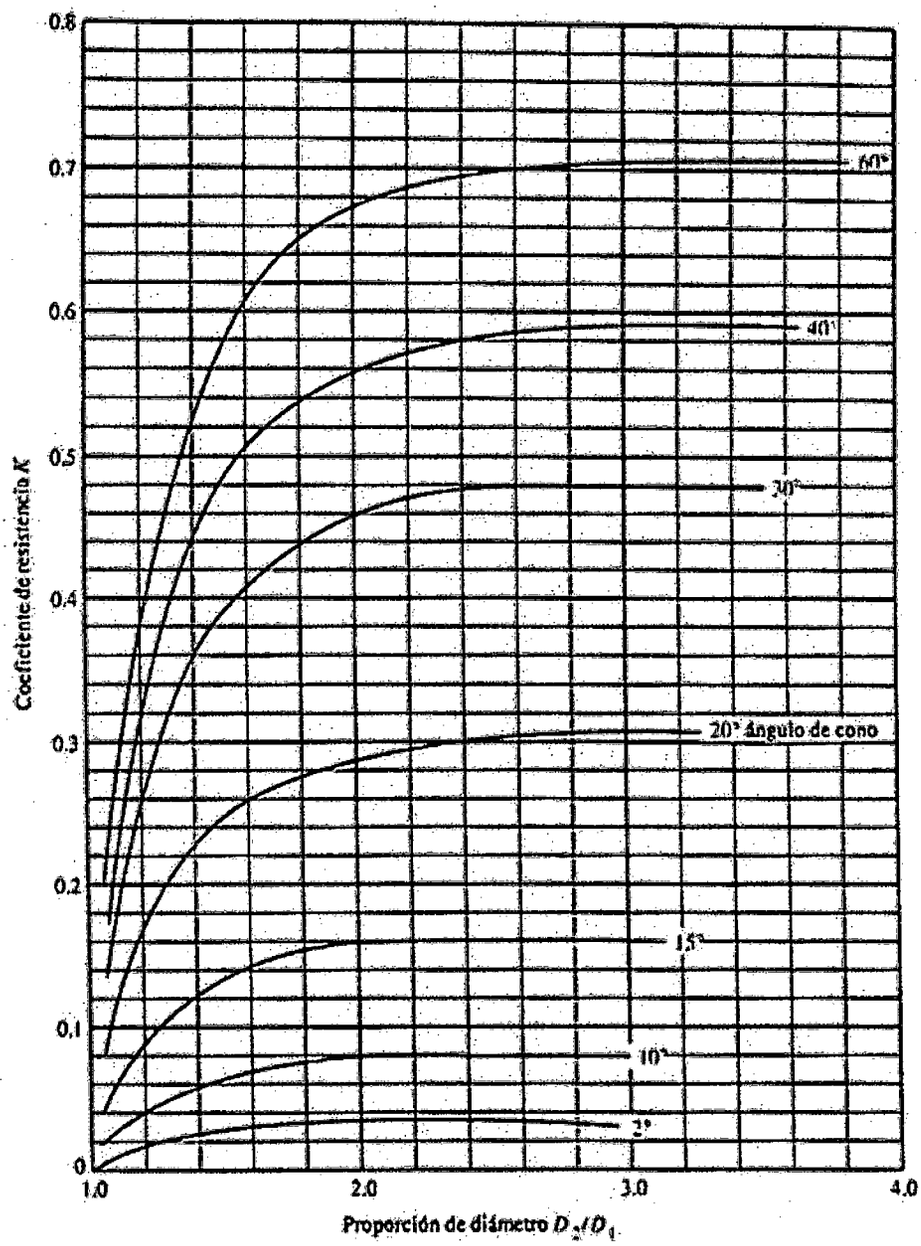


FIGURA 9.2 Diagrama de Moody. (Fuente: Brio, RIIF, 1961. *Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, p. 284.)

ANEXO 6: COEFICIENTE DE RESISTENCIA – DILATACION SUBITA

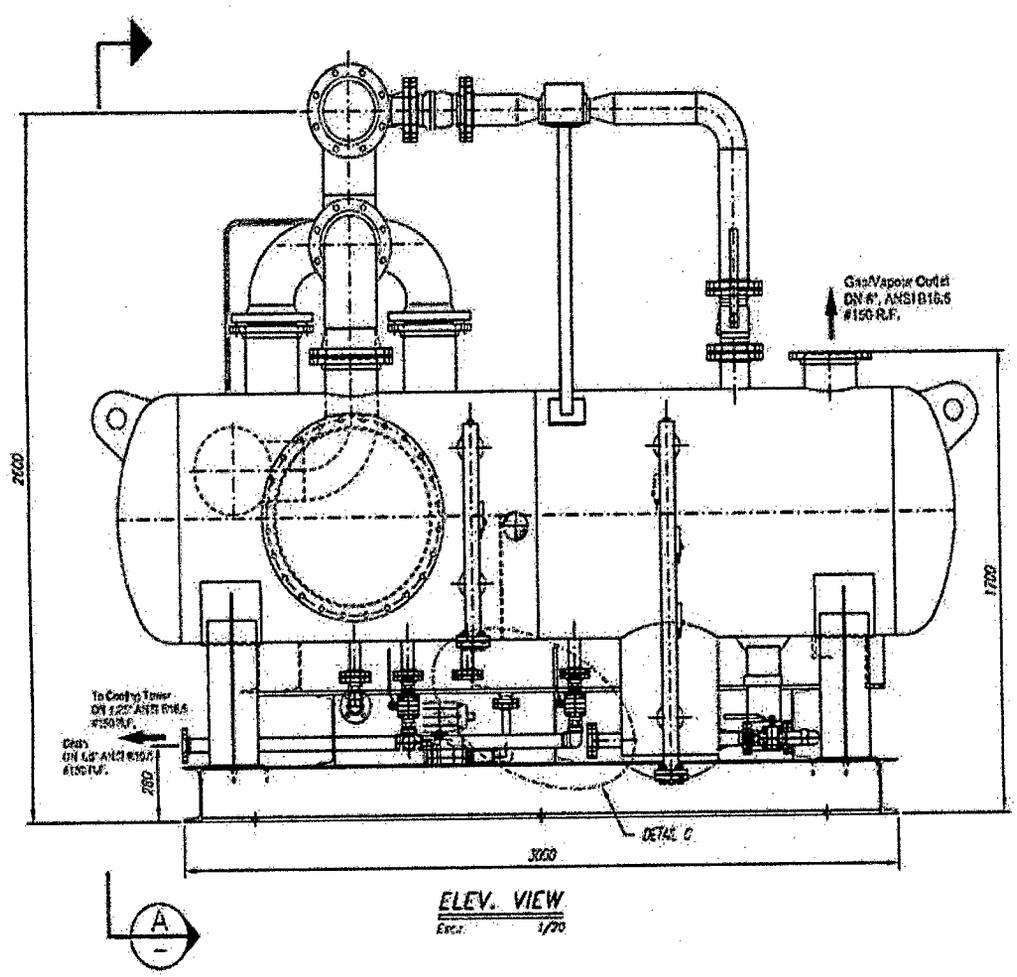


ANEXO 7: COEFICIENTE DE RESISTENCIA – DILATACION GRADUAL

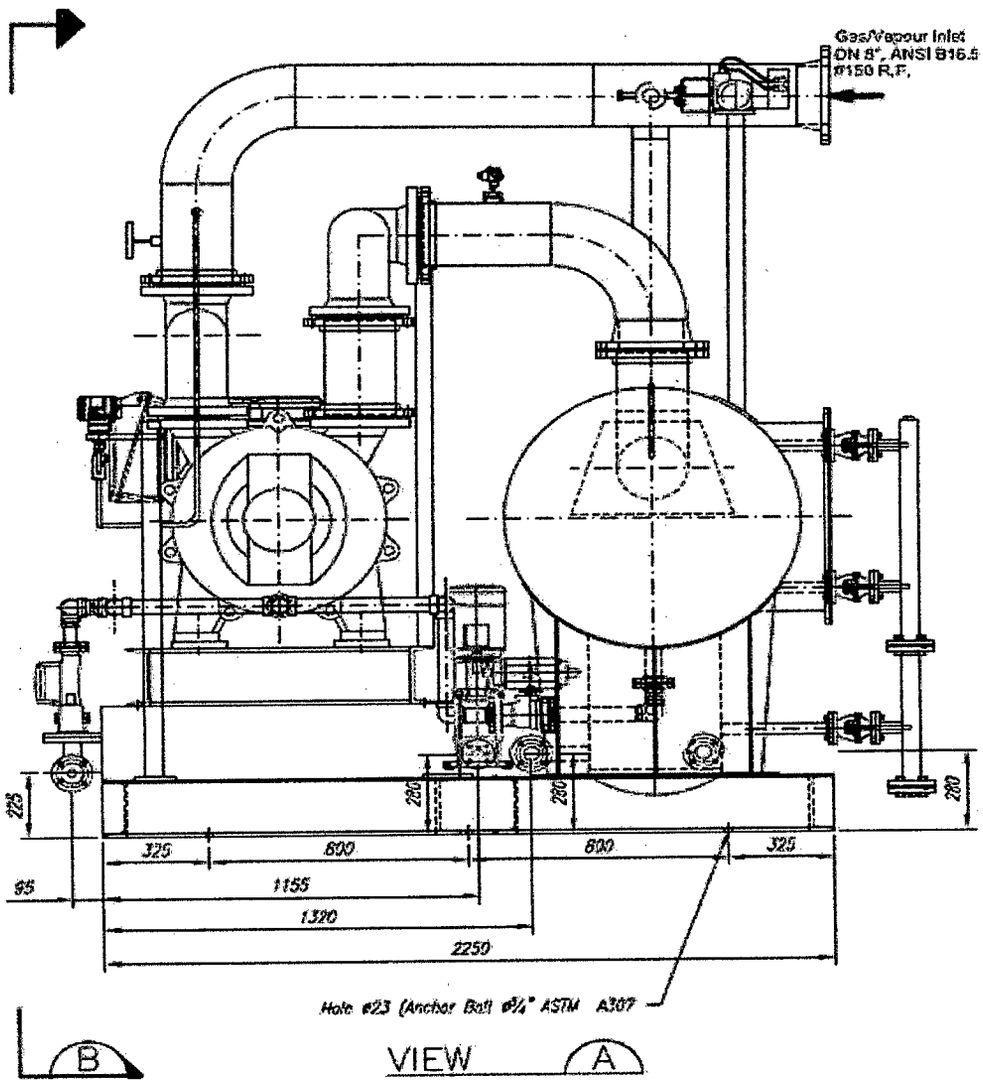


ANEXO 8: VISTAS DEL COMPRESOR DE ANILLO LÍQUIDO

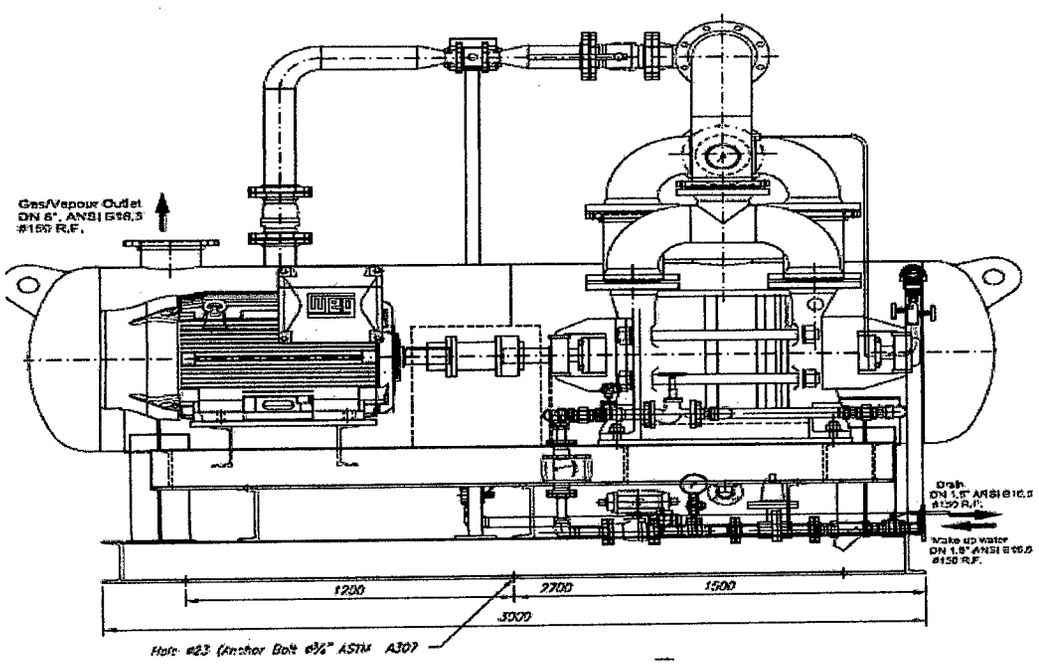
a) Vista lateral derecha



b) Vista frontal



c) Vista lateral izquierda

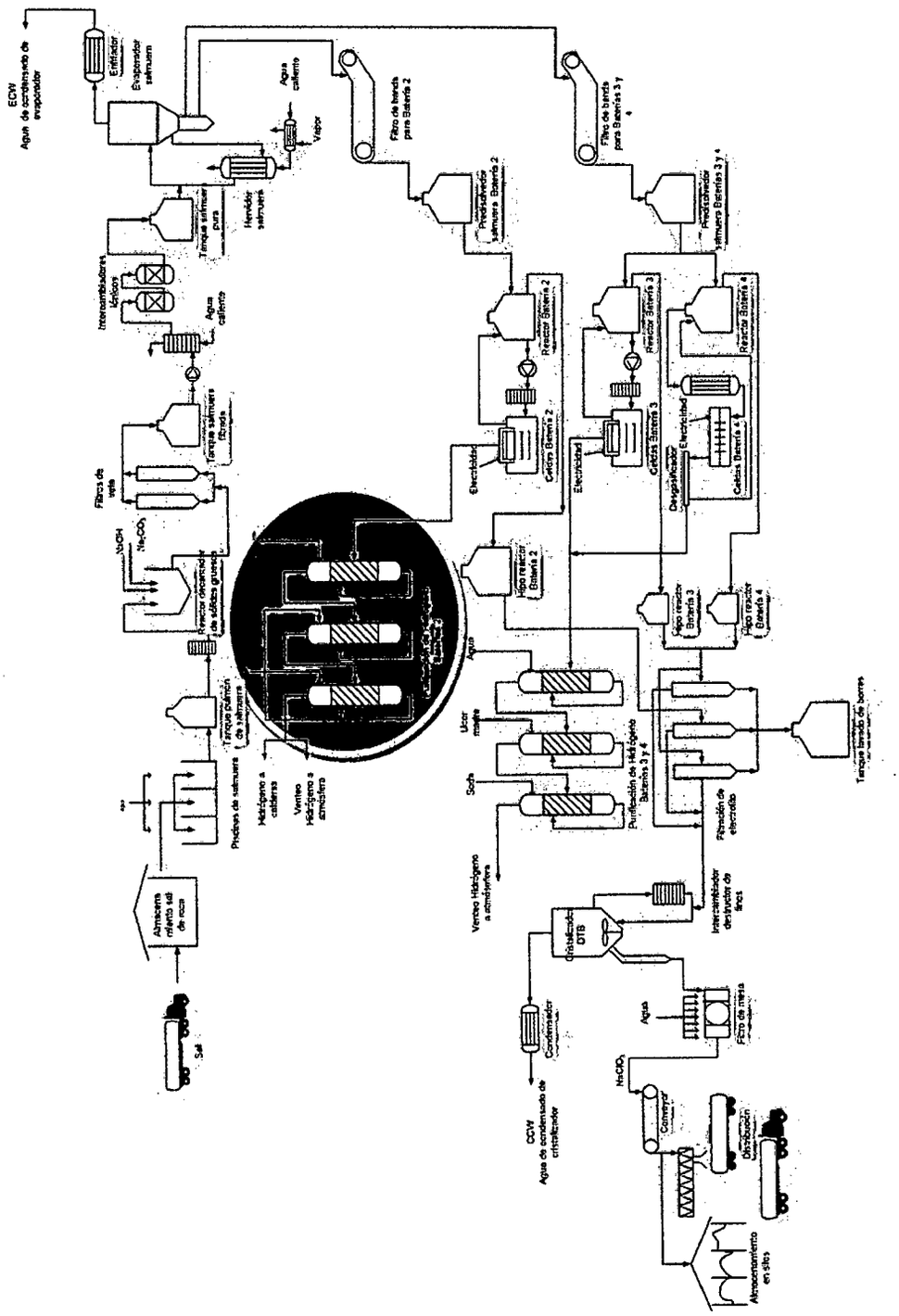


d) Tabla de información del equipo

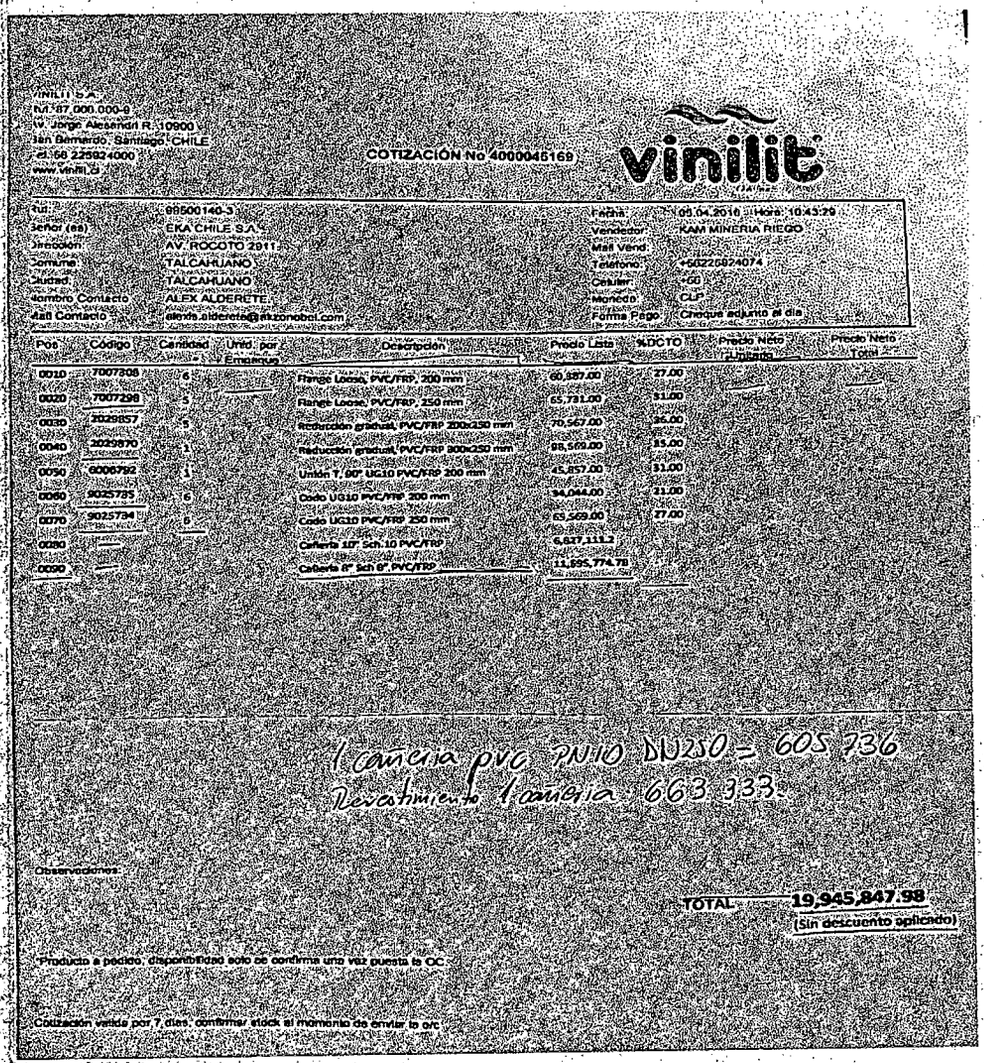
WEIGHT	
TOTAL	4235 Kg

PERFORMANCE DATA					
		INLET		OUTLET	
Gas Component					
Vol % / Mass rate [kg/hr]	Hydrogen	92.3%	146.1	92.1%	146.08
	Oxygen	2.1%	52.7	2.1%	52.69
	Water	5.6%	79.2	5.8%	82.62
			277.9		281.4
Pressure	[mbar abs]	1020		1150	
Temperature	[°C]	40.0		38.2	
Flow rate	[m3/hr]	1500		1268.4	
Make up water					
Temperature	[°C]	30.0		38.2	
Flow	[m3/hr]	4.1			
Heat to dissipate	[kW]	39.0			

ANEXO 9: DIAGRAMA DE LA EMPRESA, SEÑALIZADA AREA DE PROYECTO



b) Cotización cañerías y accesorios de PVC/FRP



vinilit s.a.
Rut: 87.000.000-9
Av. Jorge Alessandri R. 10900
San Bernardo, Santiago, CHILE
Tel. 56 22592 4000
www.vinilit.cl

COTIZACIÓN No 4000046169

vinilit

Rut:	88500140-3	Fecha:	05.04.2016 Hora: 10:43:29
Señor (es)	EKA CHILE S.A.	Vendedor:	RAM MINERIA RIEGO
Dirección:	AV. ROCOTO 2911	Mail Vend:	
Comuna:	TALCAHUANO	Teléfono:	+56222624074
Ciudad:	TALCAHUANO	Celular:	
Nombre Contacto	ALEX ALDERETE	Moneda:	CLP
Mail Contacto	alexis.alderete@ekacnabal.com	Forma Pago:	Cheque adjunto al día

Pos	Código	Cantidad	Unid. por Empaque	Descripción	Precio Lista	%DCTO	Precio Neto Unitario	Precio Neto Total
0010	7007308	6		Flange Loose, PVC/FRP, 200 mm	60,387.00	27.00		
0020	7007298	5		Flange Loose, PVC/FRP, 250 mm	65,731.00	31.00		
0030	3029857	5		Reducción gradual, PVC/FRP 300x250 mm	70,567.00	34.00		
0040	3029870	1		Reducción gradual, PVC/FRP 300x250 mm	88,569.00	35.00		
0050	6006792	1		Unión T, 90° UC10 PVC/FRP 200 mm	45,857.00	31.00		
0060	9025795	6		Codo UC10 PVC/FRP 200 mm	34,044.00	31.00		
0070	9025794	6		Codo UC10 PVC/FRP 250 mm	63,569.00	27.00		
0080				Cañería 10" Sch 10 PVC/FRP	6,837,111.2			
0090				Cañería 8" Sch 8" PVC/FRP	11,595,774.78			

1 cañería pvc PN10 DU250 = 605 736
Revestimiento 1 cañería 663 333

Observaciones:

TOTAL 19,945,847.98
(Sin descuento aplicado)

Producto a pedido, disponibilidad solo se confirma una vez puesta la OC.

Cotización valida por 7 días, confirmar stock al momento de enviar la o/c

c) Cotización Skid compresor de anillo liquido

[redacted]

SIHI-CHILE

Empresa	Eka Chile S.A.
Atn. Sr(a)	Tord Rønning
e-mail	Tord.Ronning@ekagobel.com
Ciudad	TALCAHUANO
Referencia	Hydrogen Purification Remodelling

Oferta	S56915ENPB
Fecha	23.04.2015

Estimados Señores, agradecemos su consulta y a continuación enviamos nuestra oferta por suministro de SKID con esquema de líquido de servido one through, a ser integrado a grupo Compresor de anillo líquido, marca SIHI, modelo KPH 80540 BN XXX 01 0 acoplado a motor eléctrico 3/380/50 Hz, IP 55, 55 Kw, 735 rpm, montado sobre base metálica, el que fue suministrado con nuestra oferta S85014NRM.

Esta propuesta es alternativa a nuestra Oferta 55691SENP de fecha 06 de Abril, el cual considera una ejecución completa en acero al carbono, y se prescinde el suministro de la válvula de control de la línea de recirculación by pass (PV-101) el cual será entregada por EKA Chile S.A.

ALCANCE DE SUMINISTRO

Referencias:

- Plano: S5G91SENP-PID-001-00 P&ID Liquid Ring Compressor Systems, Hydrogen Purification Remodelling.
- Plano: S5691SENP-LAY-001-00 Plano Layout Liquid Ring Compressor Systems, Hydrogen Purification Remodelling.

Item	Cant.	Descripción	Unitario	Total
1	1	**Base Estructural** Para el montaje de grupo motobomba como también de todo el equipamiento mencionado en la presente oferta. Confeccionado en perfil estructural de alabe inclinado UPN, ASTM A36, de dimensiones basales 3000 x 2250 [mm]. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico RAL 5005. Pernos de sujeción de acero al carbono zincado. Nota: Actual base metálica del grupo compresor, se montará sobre base estructural.		ITEM 1 al 8 EURO 37.153
2	1	**Estanque separador de líquido (Separator 300)** Diseñado según ASME Section VIII Div1. • Presión de diseño: 30[psig]@150[ºF]. • PWHT (Post Weld Heater Treatment): No. • Radiografía: No. • Corrosión: 0 [inch]. ***Manto y Cabezales Elipsoidales*** confeccionado con plancha de acero carbono SA-36. Diámetro manto 36", longitud 3000[mm]. ***Soporte tipo caballete*** confeccionado con plancha de acero al carbono SA-36. ***Manhole*** de 26" confeccionado con plancha de acero al carbono SA-36, Pernos flanges de acero al carbono zincado, y Empaquetadura de Teflón viergen 1/8", marca GAPI. ***Boquillas*** confeccionadas con cañería ASTM A53, y Flanges ANSI		

		B16.5 #150 RF ASTM A105. Dos ***Desagues estanque*** confeccionado con cañería 1.5" ASTM A53 con flanges 1.5" ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos flanges de acero al carbono zincado, y Fitting ANSI B16.3 Class 150 ASTM A-197 Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico. RAL 5005
3	1	**Manifold succión** Manifold de succión confeccionado con cañería 8" ASTM A53, con flanges ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Fitting ANSI B16.9 ASTM A234. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos de acero al carbono zincado. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico. RAL 5005
4	1	**Manifold descarga (compresor a estanque separador)** Manifold de succión confeccionado con cañería 8" ASTM A53, flanges ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Fitting ANSI B16.9 ASTM A234. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos de acero al carbono zincado. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico. RAL 5005
5	1	**Línea recirculación (by-pass)** confeccionado con cañería 4" ASTM A53, flanges ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Fitting ANSI B16.9 ASTM A234. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos de acero al carbono zincado. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico. RAL 5005
6	1	**Línea By pass estanque a línea líquido servicio** Confeccionado con cañería 1.5" ASTM A53, flanges ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos flanges de acero al carbono zincado. Fitting ANSI B16.3 Class 150 ASTM A197. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico. RAL 5005
7	1	**Línea Líquido de servicio** Confeccionado con cañería 1.5" ASTM A105, flanges ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos flanges de acero al carbono zincado. Fitting ANSI B16.3 Class 150 ASTM A197. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico. RAL 5005 Un ***manómetro*** tipo bourdon (PI 105), dial 4" en glicerina, AISI 316, Clase 1%, rango 0 – 7 (barg) incluye ***válvula de bola*** de 3 vías, tipo T, AISI 316 con asiento en teflón Un ***sensor de nivel*** (LS 114), Marca EGE, Modelo KGFT 150 Ex. Ex ia IIC T6...T3. ***Amplificador***, Marca EGE, Modelo EGE 903 Ex, alimentación 24[Vdc], contacto relat 250[Vac]/24[Vdc], 4[A], IP20.

		Incluye 20 metros de cable y conector.
8	1	**Descarga líquido de servido (estanque separador)** Confeccionado con cañería 1.25" ASTM A53, flanges ANSI B16.5 #150 RF ASTM A105. Empaquetaduras de Teflón virgen 1/8", marca GAPI. Pernos flanges de acero al carbono zincado. Fitting ANSI B16.3 Class 150 ASTM A197. Tratamiento superficial SSPC-SP6, esquema de pintura Shop primer epóxico, y terminación esmalte epóxico RAL 5005. Un ***manómetro*** tipo bourdon (PI 113), dial 4" en glicerina, AISI 316, Clase 1%, rango 0 – 7 [barg]. Incluye ***válvula de bola*** de 3 vías, tipo T, AISI 316 con asiento en teflón. Un ***Grupo motobomba vertical In Iline*** (P200, M 200), Marca DP Pump, modelo DPVCF 6/6 B, acoplada a motor trifásico, 1.5[kW], 50[Hz], IP55. Apto para operar con VDF. • Flujo: 2,3 [l/s]. • ADT: 30 [m]. • NPSH Req: 2,3 [m]. • Conexión: Flange 1.25" ANSI B16.1 Class 250. • Material baseplate y flange: Cast Iron JL1040. • Material hidráulica: AISI 304. • Sello Mecánico: Burgmann MG12-G60 BQ1EGG. • Tensión motor: 230 / 400 [V]. • Corriente nominal: 5.5 / 3.2 [A]. • Velocidad: 2880[rpm].

d) Cotización Compresor de anillo liquido

Ítem	Cant.	Descripción	Unitario	Total
1	1	Compresor de anillo líquido marca SIHI, modelo KPH 80540 BN XXX 01 0 acoplado a motor eléctrico carcas Fierro Fundido, 3/380/50 Hz, IP 55, 100 Kw., 1226 rpm y montado sobre base metálica.	Euro 55.480.-	Euro 55.480.-

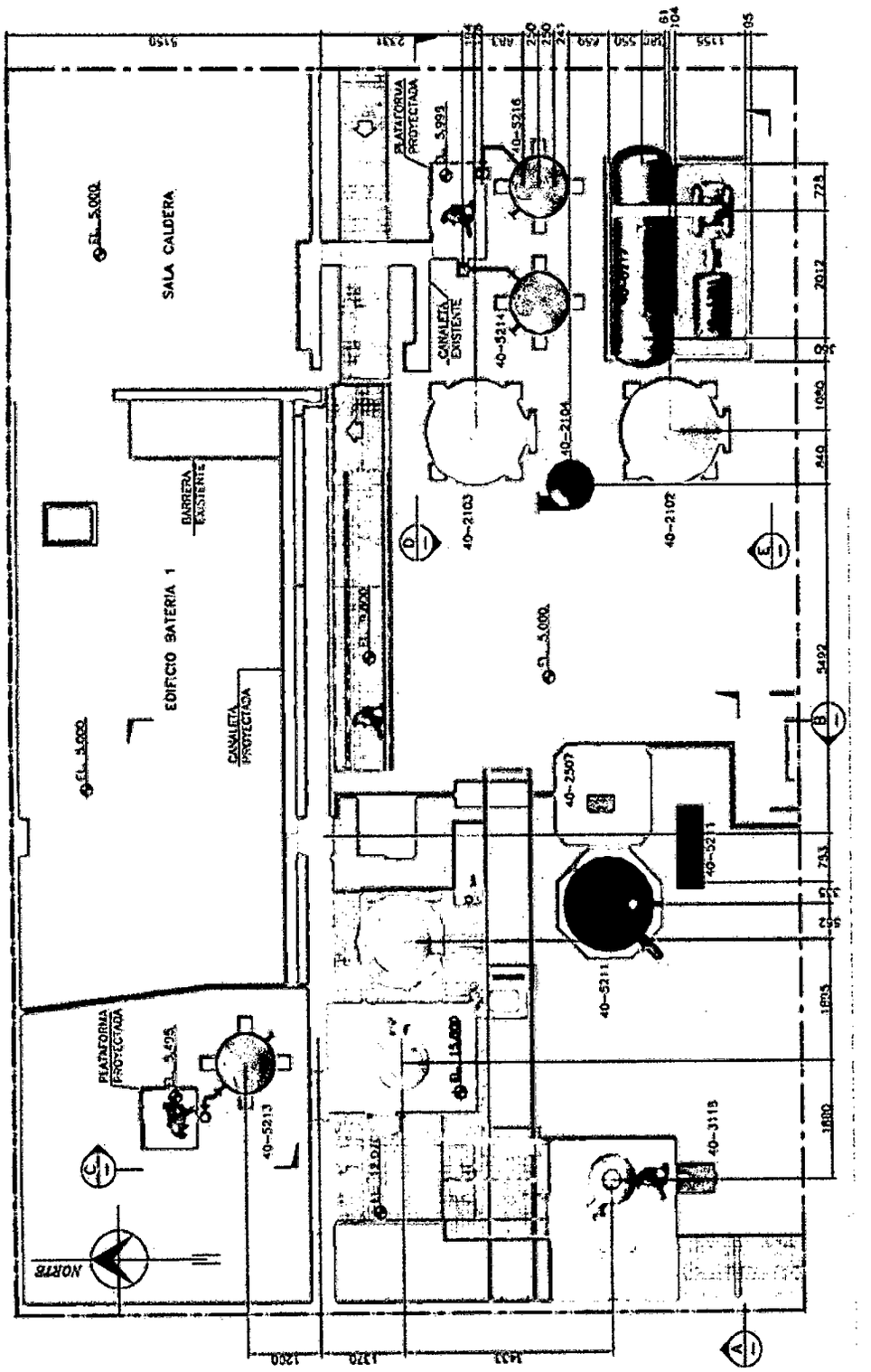
Condiciones de Operación		
Fluido	Hidrógeno 92.3%, Oxigeno 2.1% y 5.6% Agua	
Caudal	1500	m^3/h
Presión suc.	1020	Mbar a.
Presión des.	1150	Mbar a.
Temperatura	40	°C
Hidrógeno	143	Kg/
Oxígeno	51.6	Kg/h
Agua	77.5	Kg/h
Temp agua sello.	30	°C
Flujo agua	6.5	M3/h
Otras Condiciones Especiales		

Equipo Seleccionado		
Diam. Imp.		mm
Eficiencia		%
Potencia Abs	70	kW.
Potencia Ins	100	kW.
DNs/DNd	200	mm
Acoplamiento	A 225	

Motor Eléctrico		
Marca		
Fase/Hz/V	3/380/50 Hz	
Pot.Nominal	100	kW.
Velocidad	1226	rpm
IP	55	
Aislación	F	

Materiales bomba	
Carcasa	Fundición GG 25 (0.6025)
Impulsor	Acero St 52-3, 1.0570, DIN St 52-3N
Eje	Acero 1.0503, AISI 1045
Discos dist.	Fundición GG 25 (0.6025)
Sello del eje	Sello mecánico doble tipo Cartucho Burgmann Cartex-DN API Plan 53A, presión de sellado 2 bar superior a la presión de descarga. Usar Agua desmineralizada o Mezcla Agua – Etileno Glycol 30/70.
Mat. sello	BQVMG - BQVMG

ANEXO 12: VISTA SUPERIOR DEL PROYECTO DE PURIFICACION FINAL



ANEXO 13: PLANOS FINALES DEL PROYECTO (visualizar junto con anexo 4)