

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DESMONTAJE, TRASLADO Y REDISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA TORRE DE FRACCIONAMIENTO DE GASOLINA RESIDUAL**

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Pedro Cadenas.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Luis Blanco.

Presentado Ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por el Bachiller:  
García Dosil, Roberto  
para optar al Título  
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

Caracas, Junio de 2003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Roberto García, titulado:

**“DESMONTAJE, TRASLADO Y REDISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO DE GASOLINA RESIDUAL”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. (Frank Pietersz)  
Jurado

Prof. (Fausto Carpentiero)  
Jurado

Prof. (Pedro Cadenas)  
Tutor Académico

Ing. Luis Blanco  
Tutor Industrial

A mis padres, que me han dado  
todo en esta vida,  
me han apoyado en cada momento  
y siempre ocuparán el lugar  
más especial en mi corazón,  
este logro también es de ustedes y para ustedes...

A mi hermano, a quien deseo mucho éxito  
en esta vida...

A mi sobrina,  
A Johanna quien me ha ayudado a perseverar,  
compañera que me aleja de las tristezas,  
Nunca cambien...

## AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por darme la oportunidad de estudiar, madurar y desarrollarme profesionalmente en las aulas y pasillos de la mayor casa de estudios del país.

A mi tutor académico Pedro Cadenas, por el tiempo dedicado, su aporte y asesoría en la elaboración de este trabajo, sus consejos fueron muy valiosos.

Al tutor industrial Ing. Luis Blanco.

Al Ing. Edgar Telles y a la compañía Ingramelca Derivados del Petróleo, S.A., por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto personal.

Al Ing. Liber Videla por su orientación en la elaboración de la presente Tesis de Grado. Sin su apoyo, dedicación y valiosos consejos no hubiese podido concluir este sueño.

Al Prof. José L Perera y el Ing. Hernan Gonzalez por su ayuda y dedicación.

A mi familia por apoyarme, alentarme y por su inmensa paciencia durante esta etapa de mi vida.

Agradezco a todos mis profesores y amigos de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela por su valiosa y placentera compañía a lo largo de esta carrera.

Y a todos los que de una manera u otra nos ayudaron a hacer de ésta una realidad.

## RESUMEN

**García D., Roberto**

### **DESMONTAJE, TRASLADO Y REDISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA TORRE DE FRACCIONAMIENTO DE GASOLINA RESIDUAL**

**Tutor Académico: Ing. Pedro Cadenas. Tutor Industrial: Ing. Luis Blanco.**

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2003. 210 pág.**

**Palabras Claves:** Columna de Fraccionamiento, Desmontaje, Fundación, Tuberías.

En el presente Trabajo Especial de Grado se elabora la logística de desmontaje y traslado, además de la selección de las máquinas de elevación y transporte necesarias para desmontar y trasladar la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200 y sus equipos principales, desde la Urbanización Industrial Boca de Uchire, en el estado Anzoátegui, hasta la Urbanización Industrial el Tigre en Guacara, estado Carabobo, donde se encuentra la planta INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A. (I.D.P.); empresa que desea aumentar su capacidad de producción de solventes de tipo alifático, al implantar en sus instalaciones un nuevo proceso de destilación de gasolina residual, en el que trabajan conjuntamente las Columna de Fraccionamiento C-200 con la Unidad de Destilación C-110, esta última existente en la planta.

La implementación de este proceso involucra el rediseño estructural de la Columna de Fraccionamiento, basado en el dimensionamiento de las redes de tuberías de materia prima, servicios básicos y productos terminados, la selección de las bombas requeridas para el proceso, el diseño de la fundación de la columna y la verificación de la estructura que le soporta.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. Introducción</b>	<b>4</b>
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Planteamiento del Problema	6
1.2 Objetivo General	7
1.3 Objetivos Específicos	7
<b>CAPÍTULO II. Fundamento Teórico</b>	<b>9</b>
2 FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1 Columna de Fraccionamiento	10
2.1.1 Descripción de la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual	11
2.2 Equipos Principales de una Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual	12
2.2.1 Rehervidor	12
2.2.2 Condensador de Producto de Tope	13
2.2.3 Precalentadores de Alimentación	14
2.2.4 Tambor de Destilado	16
2.3 Programación de las Operaciones de Desmontaje	16
2.4 Selección de la Máquina de Elevación para Trasladar los Equipos	17

	<b>Página</b>
2.5 Selección del Tipo de Transporte	18
2.6 Hoja de Datos Mecánicos	18
2.7 Descripción General del Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	27
2.8 Diagrama de Proceso	28
2.8.1 Esquema de Flujo del Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	29
2.9 Diagrama de Tubería e Instrumentos	30
2.9.1 Diagrama de Operación del o los Fluidos en Proceso	31
2.9.2 Servicios Auxiliares	31
2.10 Factores que Controlan la Selección de la Ubicación de la Columna C-200	32
2.11 Placas de Fundación	34
2.12 Condiciones de Diseño de Fundaciones de Placa Directa para Recipientes	35
2.12.1 Cargas Verticales	35
2.12.2 Cargas Horizontales	35
2.12.2.1 Viento	36
2.12.2.2 Sismo	37
2.12.2.3 Combinaciones de Cargas	37
2.12.3 Dimensiones de los Pernos de Anclaje	37
2.12.4 Dimensionamiento del Pedestal	38
2.12.5 Acero de Refuerzo	39
2.12.6 Diseño de Zapatas	39
2.12.7 Esfuerzo Admisible del Suelo	40
2.13 Estructura de Soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200	41
2.14 Métodos de Cálculo de Esfuerzo	42
2.15 SAP 2000 NonLinear	43
2.16 Diseño de Tuberías	44
2.16.1 Selección de Tuberías	45
2.16.2 Dimensionamiento de Líneas	45
2.16.2.1 Fluidos en Fase Líquida	46
2.16.2.2 Fluidos en Fase Gaseosa	47
2.16.2.3 Fluidos Bifásicos	47

	<b>Página</b>
2.16.3 Determinación del Espesor de Pared de la Tubería	48
2.17 Pérdidas de Carga en Tuberías	49
2.17.1 Coeficiente Adimensional de Pérdida de Carga “K” para Diversos Accesorios	52
2.17.1.1 Ensanchamientos	52
2.17.1.2 Contracciones	53
2.17.1.3 Válvulas	54
2.17.1.4 Codos y Curvas	55
2.17.1.5 Tes	55
2.17.1.6 Entradas y Salidas de Tuberías	56
2.18 Carga o Altura Dinámica Total de Bombeo (H ó A.D.T.)	57
2.18.1 Cálculo de H	58
2.18.2 Curva del Sistema	59
2.18.3 Curvas de la Bomba	59
2.18.4 Carga Neta Positiva de Succión Disponible (NPSH) <sub>d</sub>	61
2.18.5 Carga Neta Positiva de Succión Requerida (NPSH) <sub>r</sub>	61
2.18.6 Cavitación	61
 <b>CAPÍTULO III. Calculo del Peso de los Equipos a Trasladar</b>	 64
<b>3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS A TRASLADAR</b>	<b>65</b>
3.1 Cálculo del Peso de los Equipos	66
3.1.1 Nomenclatura y Símbolos	66
3.1.2 Ecuaciones	67
3.1.3 Información adicional	67
3.1.4 Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200	68
3.1.5 Rehervidor E-200	72
3.1.6 Condensador de Producto de Tope E-201	72
3.1.7 Precalentador de Materia Prima E-202	73
3.1.8 Precalentador de Materia Prima E-203	73

	<b>Página</b>
3.1.9 Precalentador de Materia Prima E-204	74
3.1.10 Tambor de Destilado V-200. (Acumulador)	75
<b>CAPÍTULO IV. Logística de Desmontaje, Traslado y Almacén</b>	
<b>4 LOGÍSTICA DE DESMONTAJE, TRASLADO Y ALMACÉN</b>	<b>77</b>
4.1 Planificación de Actividades	77
4.2 Selección del Equipo de Izamiento de Cargas	82
4.3 Logística para Realización del Traslado	84
4.3.1 Selección del Transporte	84
4.3.2 Preparación para Embarque	86
4.3.3 Pintura y Marcado de Identificación	86
4.3.4 Requerimientos para Cargar Vehículos	86
4.4 Procedimiento de Desmontaje	87
4.4.1 Columna de Fraccionamiento C-200	87
4.4.2 Rehervidor E-200	88
4.4.3 Condensador E-201	89
4.4.4 Precalentadores E-202, E-203, y E-204	90
4.4.5 Tambor de Destilado (Acumulador)	91
4.5 Almacenaje de los Equipos	91
4.6 Personal y Recursos para las Actividades	92
4.7 Evaluación de Costo de Desmontaje y Traslado	93
<b>CAPÍTULO V. Diseño de la Fundación de la Columna C-200</b>	<b>94</b>
<b>5 DISEÑO DE FUNDACIÓN DE LA COLUMNA C-200</b>	<b>95</b>
5.1 Condiciones del Suelo de la planta Ingramelca D.P., S.A	95
5.2 Ubicación de la Estructura de Soporte de la Columna C-200	95
5.3 Diseño de Fundación para Columna de Fraccionamiento C-200	96
5.3.1 Pernos de Anclaje	100
5.3.2 Pedestal	103

	<b>Página</b>
5.3.2.1 Dimensionamiento	103
5.3.2.2 Acero de Refuerzo	103
5.3.3 Diseño de Zapatas	105
5.3.4 Dimensiones de la Fundación de la Columna C-200	107
<b>CAPÍTULO VI. Estudio de la Estructura de Soporte de la</b>	<b>108</b>
<b>Columna de Fraccionamiento C-200</b>	
6 ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA COLUMNA C-200	109
6.1 Perfiles Estructurales de Acero Vigas IPE	109
6.2 Perfiles Estructurales de Acero Vigas WF (WIDE FLANGE)	110
6.3 Rejillas Electroforjadas	111
6.4 Sistema de Identificación de los Miembros Estructurales	112
6.5 Ubicación de los Equipos en la Estructura de Soporte	115
6.5.1 Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200	115
6.5.2 Precalentadores y Condensador de Producto de Tope	115
6.5.3 Tambor de Destilado	116
6.5.4 Rehervidor	116
6.5.5 Bombas de Proceso	116
6.6 Modelo Estructural	117
6.6.1 Cálculo de Esfuerzos sobre la Estructura de Soporte	119
6.6.1.1 Cargas o Acciones Variables	119
6.6.1.2 Cargas o Acciones Permanentes	119
6.6.1.3 Cargas o Acciones por Viento	121
6.6.1.4 Método de los Estados Límites	122
<b>CAPÍTULO VII. Dimensionamiento de las Redes de Tuberías de</b>	<b>128</b>
<b>la Columna de Fraccionamiento C-200</b>	
7 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS DE LA COLUMNA C-200	129
7.1 Determinación de los Diámetros de las Tuberías	129

	<b>Página</b>
7.1.1 Tuberías del Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	129
7.1.2 Tuberías para Servicios del Proceso	132
7.1.2.1 Tubería para Agua de Enfriamiento	132
7.1.2.2 Tubería de Aire para Instrumentos	132
7.1.3 Tubería para Sistema de Aceite Caliente	133
7.2 Selección del Material de las Tuberías	134
7.2.1 Tuberías para Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	134
7.2.2 Tuberías para Servicios del Proceso	135
7.2.2.1 Tuberías para Agua de Enfriamiento	136
7.2.2.2 Tuberías para Aire de Instrumentación	136
7.2.2.3 Tuberías para Sistema de Aceite Caliente	136
7.3 Determinación de los Espesores de Pared de las Tuberías	136
7.3.1 Tuberías para Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	137
7.3.2 Tuberías para Servicios del Proceso	138
7.3.2.1 Tuberías para Servicios del Proceso	138
7.3.2.2 Tuberías para Aire de Instrumentación	139
7.3.2.3 Tuberías para Sistema de Aceite Caliente	139
7.4 Determinación de los Sistemas de Bombeo	140
7.4.1 Sistemas de Bombeo para Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	141
7.4.1.1 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200A	141
7.4.1.2 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200B	144
7.4.1.3 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-201A	146
7.4.1.4 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-111A	150
7.4.1.5 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-110B	153
7.4.2 Sistemas de Bombeo para Servicios del Proceso	155
7.4.2.1 Descripción del Sistema de Bombeo de Agua de Enfriamiento	155
7.4.2.2 Descripción del Sistema de Bombeo de Aceite Caliente	158
7.5 Selección de los Equipos de Bombeo	160
7.5.1 Verificación de Posibilidad de Cavitación	162

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO VIII. Consideraciones Generales en la Inspección de Columnas de Fraccionamiento</b>	
8 CONSIDERACIONES GENERALES EN LA INSPECCION DE COLUMNA	165
8.1 Procedimiento de Inspección	165
8.2 Criterios de Inspección	165
8.3 Frecuencia de Inspección	166
8.4 Inspección Externa o Inspección en Marcha	167
8.5 Inspección Interna	167
8.5.1 Cuerpo y Sistemas de Tuberías	168
8.5.2 Boquillas	168
8.5.3 Accesorios Internos	169
8.5.4 Informe	169
<b>CAPÍTULO IX. Conclusiones y Recomendaciones</b>	170
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	171
9.1 Conclusiones	171
9.2 Recomendaciones	172
BIBLIOGRAFÍA	175
GLOSARIO TÉCNICO	178
APÉNDICES	181

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
2.1	Columna de Fraccionamiento de Platos Tipo Válvula.	12
2.2	Esquema General de la Ubicación y Operación de un Rehevidor	13
2.3	Intercambiador de Calor de carcasa y tubo con cabezal fijo	15
2.4	Hoja de Datos de La Columna de Fraccionamiento C-200	19
2.5	Detalle de Plato de Válvulas de Columna de Fraccionamiento C-200	20
2.6	Hoja de Datos del Rehervidor E-200	21
2.7	Hoja de Datos del Condensador E-201	22
2.8	Hoja de Datos del Precalentador E-202	23
2.9	Hoja de Datos del Precalentador E-203	24
2.10	Hoja de Datos del Precalentador E-204	25
2.11	Hoja de Datos del Tambor de Destilado V-200	26
2.12	Esquema de Flujo de Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual	29
2.13	Factor de Seguridad Contra Volcamiento D/2e	41
2.14	Presentación del programa SAP 2000	43
2.15	Representación de Fuerzas Internas en un Elemento	44
2.16	Continuidad de Caudal	46
2.17	Ensanchamiento Brusco y Gradual	52
2.18	Contracción Brusca y Gradual	53
2.19	Pérdidas en Válvulas de Compuerta	54
2.20	Válvulas de Retención	55
2.21	Codos Estándar	55
2.22	Conexión en “T”	56
2.23	Entradas de Tuberías	56
2.24	Salidas de Tuberías	57
2.25	SucciónNegativa	57
2.26	Succión Positiva	58
2.27	Curva del Sistema	59
2.28	Curvas de Funcionamiento de una Bomba (D=ctte; N=ctte)	60

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>3.1</b> Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200	71
<b>4.1</b> Diagrama de Red u Operaciones	79
<b>4.2</b> Método del Camino Crítico (CPM)	80
<b>4.3</b> Diagrama de Gantt	81
<b>4.4</b> Polipasto Yale VS2 de control manual	83
<b>4.5</b> Camión Tractor 2S2	85
<b>4.6</b> Camión Tractor 3S2	85
<b>5.1</b> Fuerzas actuantes del viento sobre Columna C-200	97
<b>5.2</b> Diseño de Fundación para Columna C-200	107
<b>6.1</b> Perfil Estructural IPE	109
<b>6.2</b> Perfil Estructural WF	110
<b>6.3</b> Disposición de los Equipos en la Estructura de Soporte	117
<b>6.4</b> Datos de Entrada para Diseño del Modelo Estructural en SAP 2000 NonLinear	118
<b>6.5</b> Isometría de la Estructura de Soporte	119
<b>6.6</b> Entrepiso de la Estructura de Soporte	123
<b>6.7</b> Distribución de Áreas Tributarias	124
<b>6.8</b> Cuadro Introducción de Datos de Combinación de Cargas	125
<b>6.9</b> Radios de Acción de las Cargas sobre la Estructura de Soporte	126
<b>6.10</b> Hoja de Información de Análisis de Estrés de Acero	127
<b>7.1</b> Sistema de Bombeo de la Unidad P-200A	142
<b>7.2</b> Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200A	144
<b>7.3</b> Sistema de Bombeo de la Unidad P-200B	145
<b>7.4</b> Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200B	146
<b>7.5</b> Sistema de Bombeo de la Unidad P-201A	147
<b>7.6</b> Curvas de Pérdida de Carga de los Ramales de Descarga de la Un. P-201A	148

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
<b>7.7</b>	Curva Característica Equivalente de la Bomba P-201A	149
<b>7.8</b>	Sistema de Bombeo de la Unidad P-111A	150
<b>7.9</b>	Curvas de Pérdida de Carga del Sistema de Bombeo de la Unidad P-111A	152
<b>7.10</b>	Curva Equivalente Característica del Sistema de la Unidad P-111A	152
<b>7.11</b>	Sistema de Bombeo de la Unidad P-110B	153
<b>7.12</b>	Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-110B	155
<b>7.13</b>	Ubicación de la Torre de Enfriamiento en la Planta I.D.P., S.A.	156
<b>7.14</b>	Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-201C	157
<b>7.15</b>	Ubicación del Área de Calentamiento de Aceite en la Planta I.D.P., S.A.	158
<b>7.16</b>	Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200H	160

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>2.1</b>	Identificación de los Equipos a Trasladar	16
<b>2.2</b>	Dimensiones de los Camiones de Carga	18
<b>2.3</b>	Condiciones del Fluido en el Diagrama de Flujo de Proceso	30
<b>2.4</b>	Colores Básicos para Identificación de Tuberías	32
<b>2.5</b>	Separación Referencial entre Equipos Típicos dentro de una misma Área	33
<b>2.6</b>	Factores Multiplicadores de Carga por Viento	36
<b>2.7</b>	Valores de $y$	49
<b>2.8</b>	Valores de $A$	49
<b>2.9</b>	Valores de $K$ para Entradas de Tubería a Tope	56
<b>3.1</b>	Equipos a Trasladar y sus Características	65
<b>3.2</b>	Dimensiones y Peso de la Sección I de la Columna C-200	68
<b>3.3</b>	Dimensiones y Peso de la Sección II de la Columna C-200	69
<b>3.4</b>	Dimensiones y Peso de la Sección III de la Columna C-200	69
<b>3.5</b>	Dimensiones y Peso de la Sección IV de la Columna C-200	69
<b>3.6</b>	Dimensiones y Peso de la Sección V de la Columna C-200	70
<b>3.7</b>	Dimensiones y Peso de la Sección VI de la Columna C-200	70
<b>3.8</b>	Pesos de la Columna de Fraccionamiento C-200	70
<b>3.9</b>	Dimensiones y Pesos del Rehervidor E-200	72
<b>3.10</b>	Dimensiones y Pesos del Condensador E-201	73
<b>3.11</b>	Dimensiones y Pesos del Precalentador E-202	74
<b>3.12</b>	Dimensiones y Pesos del Precalentador E-203	74
<b>3.13</b>	Dimensiones y Pesos del Precalentador E-204	75
<b>3.14</b>	Dimensiones y Pesos del Tambor de Destilado V-200	75
<b>4.1</b>	Actividades Requeridas para Desmontaje y Traslado de los Equipos	78
<b>4.2</b>	Matriz de Comparación entre Equipos de Izamiento de Cargas	82

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>4.3</b>	Especificaciones ASTM para cadenas de aleación. (Norma NACM 1001)	84
<b>4.4</b>	Capacidades Máximas de Camiones de Carga	85
<b>4.5</b>	Descripción del Personal a Contratar	92
<b>4.6</b>	Descripción de Costos de Personal y Recursos	93
<b>5.1</b>	Presión Efectiva por Viento $q_{efectiva}$ (lb/pie <sup>2</sup> ), para una Velocidad V=100mph	98
<b>5.2</b>	Formas Sólidas y Tipo de Superficie	99
<b>5.3</b>	Características de la Fundación de la Columna C-200	107
<b>6.1</b>	Dimensiones y Propiedades de los Perfiles IPE	110
<b>6.2</b>	Dimensiones y Propiedades de los Perfiles WF	111
<b>6.3</b>	Dimensiones y Propiedades de la Rejilla Electroforjada	111
<b>6.4</b>	Especificación de los Perfiles Estructurales por Tramo de la Estructura	113
<b>6.5</b>	Distancia entre Equipos en la Estructura de Soporte	116
<b>6.6</b>	Cargas Variables sobre Entrepisos para Diseño de Edificaciones Industriales	120
<b>6.7</b>	Cargas Permanentes sobre la Estructura de Soporte	121
<b>6.8</b>	Acciones del Viento sobre los Equipos	122
<b>7.1</b>	Fases y Caudales de los Fluidos en las Líneas del Proceso	130
<b>7.2</b>	Diámetros de las Líneas del Proceso y Velocidades de los Fluidos	131
<b>7.3</b>	Dimensiones de Ramales de Alimentación de Aire para Instrumentos	133
<b>7.4</b>	Dimensiones de Ramales del Sistema de Aceite Caliente	133
<b>7.5</b>	Especificaciones ASTM del Acero Inoxidable A 312 TP 304	135
<b>7.6</b>	Espesores de Pared para Tuberías del Proceso	138
<b>7.7</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-200A	142
<b>7.8</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-200A	143
<b>7.9</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-200B	144
<b>7.10</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-200B	145
<b>7.11</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-201A	148

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>7.12</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-201A	148
<b>7.13</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-111A	151
<b>7.14</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-111A	151
<b>7.15</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-110B	154
<b>7.16</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-110B	154
<b>7.17</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-201C	156
<b>7.18</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-201C	157
<b>7.19</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-200H	159
<b>7.20</b>	Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-200H	159
<b>7.21</b>	Puntos de Operación y Características de los Fluidos de las Bombas	161
<b>7.22</b>	Equipos de Bombeo y sus Características	162
<b>7.23</b>	Valores del NPSHd y Verificación de Cavitación	163

## INTRODUCCIÓN

Los negocios identificados en el área de industrialización de hidrocarburos, consiste en la manufactura de solventes industriales derivados del petróleo, productos de amplia utilización en la industria de adhesivos, tintas, pinturas, limpieza, productos de goma, insecticidas, fluidos para fotocopiadoras, entre muchas otras aplicaciones.

La demanda global de solventes alifáticos basada en las relaciones comerciales con Colombia, Brasil y Centroamérica es aproximadamente de 30.000 TMA, cifra que ha permitido visualizar la posibilidad de colocar volúmenes de estos productos, conociendo que la demanda interna de este tipo de solventes industriales se suple con importaciones de empresas extranjeras, aspecto que representa una gran oportunidad de mercado para la empresa ofreciendo productos de gran calidad y bajo costo.

INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A. (I.D.P), es una firma venezolana creada en 1997 que se especializa en la manufactura y distribución de solventes industriales y cuya visión es convertirse en la empresa líder en su ramo, basándose en el uso de tecnologías de avanzada, en perfecta concordancia con la conservación del ambiente y contribuyendo con el desarrollo del país.

Esta empresa ha desarrollado un nuevo proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual con el fin de aumentar su capacidad de producción de solventes y cumplir con las calidades exigidas por un mercado nacional e internacional de mucha competencia. De esta forma surge la necesidad de la empresa de trasladar una columna de fraccionamiento ubicada en la planta filial de Solventes Ecológicos GREENSOL, C.A. para ser implementada en este proceso.

Este Trabajo de Grado dividido en nueve (9) capítulos, detalla las actividades de logística de desmontaje, traslado y el rediseño estructural de la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200 llevadas a cabo con el fin de lograr los objetivos planteados.

El **Capítulo I** identifica a través de una breve reseña, la actividad a la que se dedica la empresa, su visión y el planteamiento del problema que hace posible el desarrollo del presente trabajo especial de grado.

El **Capítulo II** se encuentra referido al Fundamento Teórico relacionado con las teorías de planificación y control de actividades, descripción del proceso, diseño de fundaciones, verificación de estructuras, nociones de la mecánica de los fluidos, criterios de dimensionamiento de redes de tuberías, entre otros temas, que son requeridos para el entendimiento y desarrollo de los objetivos trazados en este proyecto.

El **Capítulo III** presenta de una manera resumida las características y el cálculo del peso de cada uno de los equipos que requieren ser trasladados, considerando el peso de cada uno de sus partes.

El **Capítulo IV** abarca diversos aspectos referidos a la planificación de la logística de desmontaje y traslado de la Columna de Fraccionamiento y sus equipos principales, tales como la selección de las máquinas y personal para la realización de las actividades, el procedimiento de desmontaje de cada equipo y los criterios de embarque y almacenaje de los equipos, culminando con la determinación de costos de estas operaciones.

El **Capítulo V** entrega el desarrollo del diseño de la fundación de la Columna de Fraccionamiento C-200, explicando detalladamente el procedimiento de dimensionamiento de cada una de sus partes, considerando las condiciones del terreno de la planta donde se desea ubicar y las cargas a las que someterá durante su funcionamiento.

**Capítulo VI** contiene el estudio, bajo las especificaciones de la Norma COVENIN 1618-98, “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”, de un diseño de una estructura de soporte, mediante el desarrollo de un modelo computacional que represente las condiciones reales a que se somete la estructura, para evaluar su implementación como estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200.

El **Capítulo VII** presenta el dimensionamiento de las redes de tuberías requeridas y una preselección de equipos de bombeo necesarios para el funcionamiento y operación de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales, desde el punto de vista de la ingeniería básica.

El **Capítulo VIII** muestra las consideraciones generales en la inspección de Columnas de Fraccionamiento necesarias para poder realizar un plan básico de mantenimiento para estas unidades.

El **Capítulo IX** contiene las Conclusiones y Recomendaciones producto de la realización de este Trabajo Especial de Grado, basándose en la factibilidad de la implantación de los diseños de las redes de tuberías de proceso y de la fundación para la Columna de Fraccionamiento C-200 y la verificación del desempeño de su estructura de soporte.

# **CAPÍTULO I**

## Introducción

## 1 INTRODUCCIÓN

INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A. (IDP), es una firma venezolana que se especializa en la manufactura y distribución de solventes industriales. Esta empresa ofrece diversos solventes de tipo alifático y aromático, comercializados bajo la marca IDP, directamente a los clientes industriales y distribuidores mayoristas.

INGRAMELCA D.P, fue creada en 1.997 para explorar nuevas líneas de negocios orientados a impulsar el desarrollo industrial económico del país, a través de la identificación, promoción y desarrollo de negocios en las áreas de, en primer lugar, manufactura e industrialización de hidrocarburos y otros insumos y, en segundo lugar, en infraestructura, servicios y turismos, todo ello basado en el uso de tecnología de avanzada en perfecta concordancia con la conservación del ambiente y conciente de su responsabilidad ante la comunidad y el país, generando empleo y el máximo valor posible a sus accionistas.

De manera muy competitiva, INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A. ha desarrollado su propia tecnología para la formulación, manufactura e industrialización de solventes hidrocarburos, con las facilidades de producir a través de un proceso intermedio de Fraccionamiento y Desodorización, solventes alifáticos y aromáticos. La planta de la empresa dispone de tres torres de fraccionamiento con la opción de producir hasta tres cortes en cada una de ellas, característica que le confiere una gran flexibilidad al esquema de manufactura, al punto de que podrán producirse solventes, de distintos rangos de destilación, a la medida del cliente.

Además de las tres columnas de fraccionamiento dispuestas en planta, en el año 2000, se realizó el traslado de una columna de fraccionamiento de pequeñas dimensiones desde la empresa de solventes ecológicos GREENSOL, C.A., hasta la planta INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A.; para ser empleada en ensayos y pruebas en el área de Laboratorio. Por sus características físicas, principalmente su tamaño reducido, no requirió desarme alguno y pudo desmontarse empleando un polipasto.

Actualmente la empresa INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A., bajo la coordinación del Ingeniero Luis Blanco, lleva a cabo el proyecto de desmontaje de 2 Reactores de Hidrogenación y 3 Columnas de Desorización, usadas para reducir o eliminar olores desagradables de algunos productos, en la planta CARGILL, S.A.; planta que producía aceites y grasas comestibles bajo el nombre de “Aceite Diana”, ubicada en Puerto Cabello, estado Carabobo. Para el desmontaje de estos equipos se contrataron los servicios de una grúa de 10 toneladas de capacidad, personal especializado en soldadura y personal ayudante. Posteriormente se trasladarán a una planta productora de velas, perteneciente al mismo grupo IDP, S.A.; de nombre TROPICAL CANDLE, C.A., ubicada en Punto Fijo, estado Falcón.

### **1.1 Planteamiento del Problema.**

Siendo la visión de la empresa, ser líder en el mercado de solventes industriales derivados del petróleo, INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A., desea aumentar su capacidad de producción de solventes de tipo alifático, implementando un nuevo proceso de destilación de gasolina residual diseñado a través de un simulador de procesos de plantas químicas (PRO II / PROVISION), elaborado por Simulation Scienc Corporation.

La implantación de este proceso de fraccionamiento de gasolina residual, estudiado por una consultora extranjera, plantea trasladar la Columna de Fraccionamiento C-200 a la sede de INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A., para trabajar conjuntamente con la Columna de Destilación C-110, unidad que opera actualmente en I.D.P., en el proceso de destilación de gasolina residual para obtener tres cortes o solventes de uso industrial.

Se presenta de esta manera, El Trabajo Especial de Grado titulado “Desmontaje, Traslado y Rediseño Estructural de una Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual”, como necesidad de la empresa I.D.P de poner operativa una torre de fraccionamiento en la actualidad se encuentra fuera de servicio en la planta de Solventes Ecológicos GREENSOL, C.A.

## 1.2 Objetivo General.

Desmontar, trasladar y realizar el rediseño estructural de una Columna o Torre de Fraccionamiento de Gasolina Residual.

## 1.3 Objetivos Específicos.

- Planificar y coordinar la logística del desmontaje de la columna de fraccionamiento C-200 de gasolina residual.
  1. Cálculo de peso de la torre de fraccionamiento.
  2. Selección de la grúa adecuada para el proceso de desmontaje.
  3. Despiece de las partes principales de la columna de fraccionamiento.
- Planificar y coordinar el traslado de la torre de fraccionamiento y equipos auxiliares de la Urbanización Industrial Boca de Uchire, Estado Anzoátegui (Solventes Ecológicos GREENSOL, C.A) a la Zona Industrial el Tigre en Guacara, Estado Carabobo (Ingramelca Derivados de Petróleo, S.A.).
  1. Selección del transporte adecuado.
  2. Embarque de la columna en partes al vehículo de transporte.
  3. Desembarque de la columna del transporte.
  4. Almacenaje en Planta INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A.
- Realizar el estudio de ubicación de la torre de fraccionamiento.
- Diseñar estructura de soporte de la torre de fraccionamiento.
- Diseñar las fundaciones de la torre de fraccionamiento.
  1. Estudio de las condiciones del terreno.
  2. Cálculo de peso de la columna y sus equipos principales.
  3. Cálculo de cargas por viento o por sismo.

- Diseñar el sistema de tuberías de alimentación de materia prima a la torre de fraccionamiento.
- Diseñar el sistema de tuberías para el suministro de agua, aire y aceite.
- Diseñar la red de tuberías de distribución de producto terminado.

## **CAPÍTULO II**

### Fundamento Teórico

## 2 FUNDAMENTO TEÓRICO

El Capítulo presentado a continuación, se encuentra diseñado para exponer de una manera clara y resumida los conceptos básicos y ecuaciones concernientes al Desmontaje, Traslado y Rediseño Estructural de la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual, buscando en todo momento la correcta realización y el entendimiento de los cálculos requeridos en esta Trabajo Especial de Grado.

### 2.1 Columna de Fraccionamiento.

Una Columna de Fraccionamiento, es un recipiente vertical comúnmente utilizado en las plantas de proceso para realizar las operaciones de destilación, aislando compuestos individuales bastante puros, partiendo de mezclas de líquidos volátiles formados por componentes bien definidos, a través de una transferencia de masa por intercambio de calor desde el fondo de la columna, con un enriquecimiento de los elementos más volátiles que conforman el vapor en el tope. Existen dos tipos generales de columnas clasificadas por su tipo de construcción:

- a. Las columnas de destilación de carcasa integral.
- b. Las columnas de destilación de carcasa bridada.

Las columnas de carcasa integral son aquellas en las cuales la carcasa es una pieza cilíndrica continua, con bandejas o empaques soportados sobre anillos soldados a la carcasa. Estas son empleadas en casi todas las plantas de refinería de petróleo y en muchas otras donde el acero templado y otras aleaciones ferrosas satisfacen los requerimientos de construcción. Este tipo de construcción de las columnas de fraccionamiento es particularmente ventajosa para trabajos a altas presiones donde son requeridas columnas de pared delgada.

Las columnas de carcasa bridada son aquellas construidas a base de secciones cilíndricas conectadas por bridas, cada una de las cuales contiene un número determinado de bandejas. Estas bandejas son láminas de metal que se encuentran enganchas en cantos introducidos en la

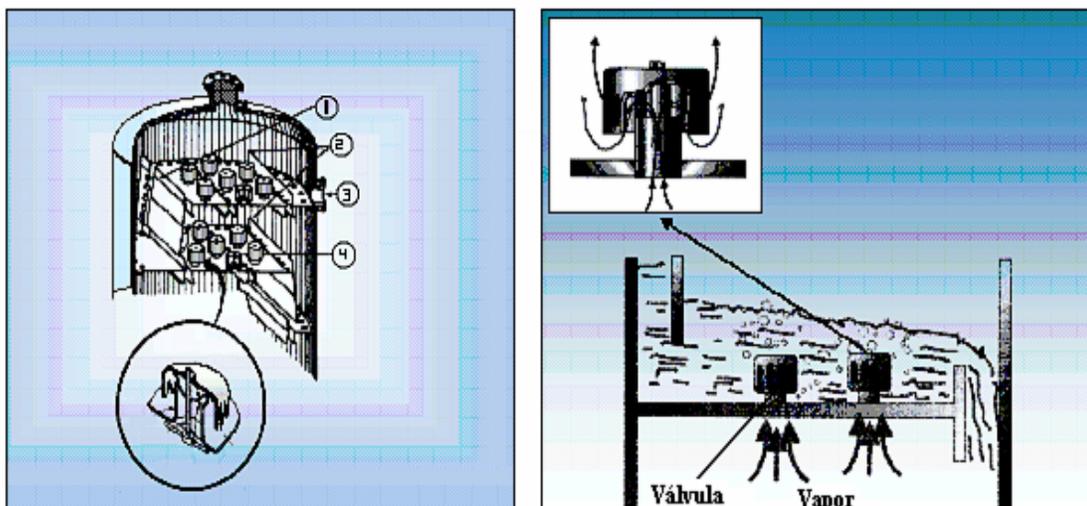
columna de fraccionamiento y soportadas por pequeños pilares que reposan sobre el tramo siguiente inferior. Este tipo de columnas de fraccionamiento de carcasa bridada no son empleadas para procesos que requieran altas presiones debido al costo que involucran las bridas de alta resistencia y para evitar el riesgo de posibles fugas. En la Figura 2.1-A se observa la distribución interna de una columna de fraccionamiento de carcasa bridada.

### **2.1.1 Descripción de la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual.**

La Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual (C-200) como se muestra en la Figura 2.4, posee una altura de 13.860 mm y un diámetro de 650 mm, es una columna de destilación de carcasa bridada, compuesta de seis secciones claramente diferenciadas, en las cuales se agrupa un total de 33 bandejas denominadas platos de válvulas del tipo Glitsch, dispuestos a tres diferentes separaciones 250, 350 y 400 mm que varían a lo largo de toda su altura.

Los platos de válvulas (ver Figura 2.1), son considerados los dispositivos de contacto, y su función es lograr el equilibrio entre las fases de líquido y vapor dentro de la columna de fraccionamiento. Estos dispositivos están diseñados para mezclar el vapor ascendente y el líquido que desciende como se muestra en la Figura 2.1-B, permitiendo que el flujo pueda de esta manera tender al equilibrio por la transferencia de calor y/o de materia de los componentes.

La columna opera a presión atmosférica y a temperaturas que van desde 100 hasta 150 °C entre tope y fondo respectivamente. Se encuentra fabricada en acero A 240TP 304 y posee además de las seis secciones bridadas una estructura tubular denominada falda en su parte inferior que sirve de soporte y fijación a la fundación. En esta columna se desea separar los componentes más livianos de la gasolina residual, los cuales corresponden a la composición del IDP-200 (producto de tope de la Columna de Fraccionamiento C-200), siguiendo una serie de especificaciones como lo es el rango de destilación ASTM y el porcentaje de producción y rendimiento de este solvente.



A. Platos Superiores de una Columna.

B. Comportamiento de un Plato de Válvula.

1. Bajante de Vertedero.
2. Vertedero a la entrada y salida del Plato.
3. Boquilla de corriente de reflujo.
4. Plato de Válvulas tipo Glitsch.

**Figura 2.1.** Columna de Fraccionamiento de Platos Tipo Válvula.

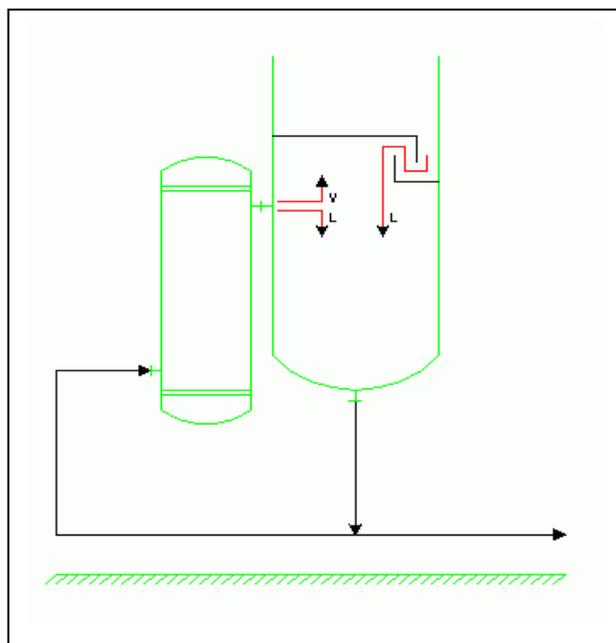
## 2.2 Equipos Principales de una Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual.

Para llevar a cabo el proceso de fraccionamiento de gasolina residual, la Columna de Fraccionamiento C-200 requiere de ciertos equipos tales como un rehervidor, un precalentador, un condensador de tope y un tambor de destilado que acondicionen el fluido de trabajo en cada una de sus etapas a lo largo del proceso, como se describe en la sección 2.7.

### 2.2.1 Rehervidor.

Este equipo mostrado en la Figura 2.6, es un intercambiador de calor que funciona bajo el concepto de termosifón y al igual que los demás intercambiadores de este proceso, es de

carcasa y tubo con cabezal fijo. Está construido en acero A 240TP 304 y posee 92 tubos de 2.000 mm de longitud dispuestos en un arreglo triangular dentro de una carcasa de 305 mm de diámetro. Su temperatura de diseño es de 205°C / 205°C (Carcasa / Tubos). El propósito de este equipo (ver Figura 2.2), es vaporizar parte de los líquidos que están en el fondo de la columna de manera de producir vapores que suben hacia el tope de la misma empleando para ello aceite térmico proveniente del Horno H-500.



**Figura 2.2.** Esquema General de la Ubicación y Operación de un Rehevidor.

### 2.2.2 Condensador de Producto de Tope.

El condensador de producto de tope exhibido en la Figura 2.7, corresponde a un intercambiador de calor de carcasa y tubo con cabezal fijo, (ver Figura 2.3), construido en acero A 240TP 304 cuyo propósito es condensar los vapores expulsados del domo superior de la Columna C-200 a una temperatura de 108 °C, para luego ser depositados en el acumulador.

Este condensador posee 114 tubos con longitud de 3 metros distribuidos en un arreglo triangular con un área total de transferencia de calor de 20,5 m<sup>2</sup>. Su temperatura de diseño de

116 °C/ 70°C (Carcasa / Tubos). La corriente caliente corresponde al producto de tope de la columna de fraccionamiento IDP-200 y la corriente fría que fluye por el interior de los tubos corresponde al agua de enfriamiento. El condensador debe ubicarse por debajo del domo superior de la columna de fraccionamiento para permitir el flujo por gravedad de la corriente de reflujo. Una vez condensados los vapores del tope de la columna, estos se trasladarán hasta el acumulador o tambor de destilado.

### **2.2.3 Precalentadores de la Alimentación.**

El sistema de precalentamiento de la columna de fraccionamiento de gasolina residual, consta de un tren de tres intercambiadores de calor de tubo y carcasa con cabezal fijo como se muestra en la Figura 2.3, con los que se desea aumentar la temperatura de la alimentación de 30 °C a aproximadamente 95 °C, antes de su entrada a la columna de destilación.

El primer intercambiador de calor mostrado en la Figura 2.8, está construido en acero A 240TP 316L y A 312TP 316L, para la carcasa y los tubos respectivamente y una temperatura de diseño de 200°C/200°C (Carcasa/Tubos). Posee un área de transferencia de 9,5 m<sup>2</sup> proporcionada por 36 tubos de 3.000 mm longitud, que conforman un arreglo triangular de 22 mm alojados dentro de una carcasa de diámetro interno 252 mm. Por la parte interna de su arreglo tubular fluye una corriente fría de gasolina residual a 30 °C, que alcanza a la salida una temperatura de 67 °C producto de la transferencia de calor con la corriente caliente de IDP-200 proveniente del tope de la Columna C-200.

El segundo intercambiador de calor como se indica en la Figura 2.9, está construido en acero A 240TP 304 para una temperatura de diseño de 116 °C/ 70°C (Carcasa / Tubos). Posee 114 tubos con longitud de 3000 mm distribuidos en un arreglo triangular de 23,8 mm, que le confieren un área total de transferencia de calor de 20,5 m<sup>2</sup>, dentro de una carcasa de diámetro 344. En este intercambiador se realiza el segundo precalentamiento de la materia prima (corriente fría) la cual alcanza una temperatura de 86°C a la salida del equipo, producto de la

transferencia de calor con la corriente caliente de IDP-250 proveniente del tope de la Columna C-110 complementaria en este proceso.

Por último, el tercer intercambiador de calor descrito en la Figura 2.10, está construido en acero A 515 60 y A179, para la carcasa y los tubos respectivamente y una temperatura de diseño de 50 °C / 54 °C (Carcasa / Tubos). Posee un área de transferencia de 31,8 m<sup>2</sup> proveída por 136 tubos con longitud de 3.000 mm en un arreglo triangular de 31,8 mm.

Es en este tercer precalentador cuyo diámetro de carcasa de 500 mm, donde la materia prima después del intercambio de calor con la corriente caliente proveniente de fondo de la columna C-110, alcanza su temperatura requerida de 95°C para entrar en la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual descrita en la sección 2.1.1.



- Flujo de corriente caliente.
- Flujo de corriente fría.

**Figura 2.3.** Intercambiador de Calor de carcasa y tubo con cabezal fijo.

### 2.2.4 Tambor de Destilado.

También llamado acumulador de tope, se observa en la Figura 2.11 y corresponde a un tanque horizontal de 2.466 mm de longitud y 1.200 mm de diámetro construido en acero AISI 304, diseñado para una temperatura de 100°C y capaz de almacenar hasta 2 m<sup>3</sup> de tope IDP-200.

El propósito del tambor de destilado es proporcionar un flujo estable de reflujo y producto de tope, evitar fluctuaciones de presión y actuar como separador de fases de fluido, es decir, ayudar a la separación del vapor y del líquido proveniente del condensador.

### 2.3 Programación de las Operaciones de Desmontaje.

En este Trabajo Especial de Grado, se presenta como uno de los objetivos específicos realizar la logística y planificación de las actividades de desmontaje traslado y almacenaje de la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200, junto con sus equipos principales especificados en la sección 2.2. Es importante señalar que el diseño de la planificación de un conjunto de operaciones, implica una cuidadosa especificación de las tareas a realizar para el desarrollo del proyecto, asignando a cada actividad un principio definido y un punto final.

En la primera fase del análisis de las operaciones de desmontaje, traslado y almacenaje de la columna C-200 y sus equipos identificados en la Tabla 2.1, se determinará la lista con cada una de las actividades requeridas.

**Tabla 2.1. Identificación de los Equipos a Trasladar.**

Identificación	Servicio
C-200	Columna de Fraccionamiento de platos tipo válvula.
E-200	Rehervidor a termosifón vertical y cabezal fijo.
E-201	Condensador tubo y carcasa de cabezal fijo.
E-202	Precalentador de tubo y carcasa de cabezal fijo.
E-203	Precalentador de tubo y carcasa de cabezal fijo.
E-204	Precalentador de tubo y carcasa de cabezal fijo.
V-200	Acumulador de tope

Posteriormente en la segunda fase se construirá un diagrama de red, el cual debe basarse en una lista completa, verificada y aprobada de las actividades mostrando la interrelación entre dichas actividades.

Una vez elaborada la red del proyecto de planificación de las actividades, de acuerdo con los criterios establecidos de prelación, esta red estará formada por un conjunto de actividades críticas y no críticas, de las cuales se deben identificar las del primer tipo para establecer la ruta crítica y poder predecir la duración total.

Este método de planeación y control de la administración de pronósticos que combina la utilización del Diagrama Gantt complementado con PERT-CPM (PERT, Program Evaluation and Review Techniques; Técnicas de evaluación y revisión de programas)-(CPM, Critical Path Method; Método de la ruta crítica), retrata gráficamente la manera óptima de alcanzar el objetivo predeterminado, en este caso particular, la logística del desmontaje de la columna C-200 y sus equipos principales, por lo común en términos de tiempo.

#### **2.4 Selección de la Maquina de Elevación para Trasladar los Equipos.**

El traslado de los equipos desde el sitio de origen hasta el de destino puede ser costoso y difícil, pues se puede dañar o extraviar en tránsito. Por ello es importante transportarlo con cuidado, en forma directa, con el equipo adecuado y bajo control en todo momento. Para el manejo de cargas en planta debe cumplirse entonces, con las normas especificadas en el Apéndice 2 de nombre Normas de Seguridad para Trabajos Ejecutados por Contratistas.

Los diversos factores que intervienen en la selección de las máquinas de levantamiento y manejo de cargas incluyen:

- Forma y cargas de los equipos en el punto de origen.
- Características de sus materiales de fabricación.
- Características de construcción y ensamblaje.
- Situación y posición original del equipo.

- Posición final en la cual se necesita, es decir, distancia, diferencias de elevación, etc.
- Condiciones del transporte.
- Equipo disponible para el manejo, es decir, aparatos, precios, confiabilidad, necesidades de mantenimiento.
- Capital disponible.

## 2.5 Selección del Tipo de Transporte.

La selección del vehículo requerido para realizar el traslado de los equipos hasta su nueva sede se regirá bajo la Norma COVENIN 2402 “Tipología de los Vehículos de Carga”, norma que tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir los vehículos de carga para el transporte terrestre automotor por carretera con un peso bruto vehicular igual o mayor a 3500 kilogramos, ver Tabla 2.2.

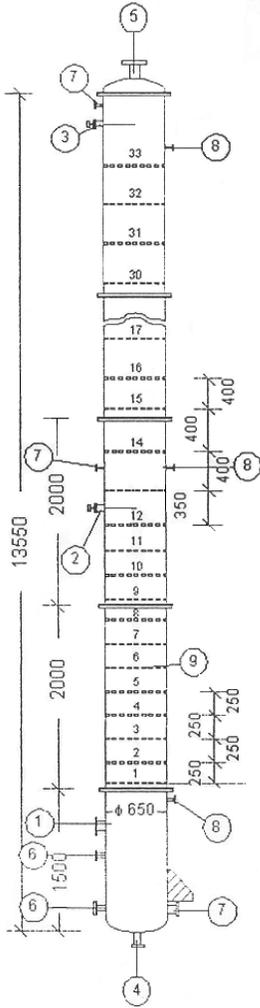
**Tabla 2.2. Dimensiones de los Camiones de Carga.**

Ancho máximo	2,60 metros
Altura máxima	4,10 metros
Longitud máxima Camión 2 ejes	11,50 metros
Longitud máxima camión 3 ejes	12,20 metros
Longitud máxima en combinaciones Camión Tractor	17,50 metros
Separación mínima entre ejes consecutivos de un eje compuesto	1,20 metros
Separación mínima entre ejes simples consecutivos o compuestos	3 metros

## 2.6 Hoja de Datos Mecánicos.

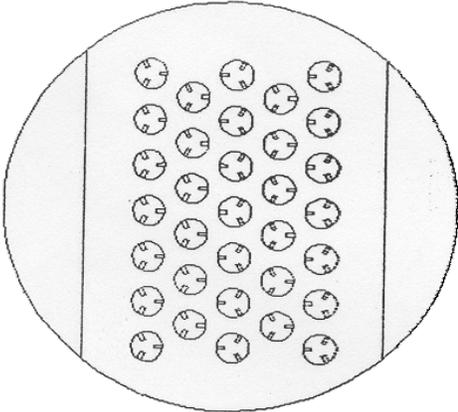
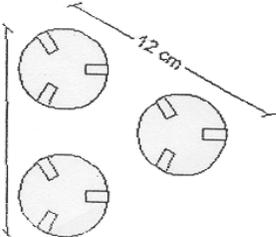
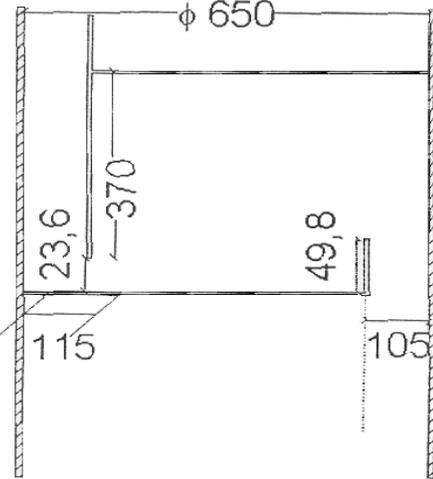
Una Hoja de Datos Mecánicos es una lista donde se describen las características geométricas de los equipos, se especifican los materiales de fabricación y se enumeran cada una de sus partes, entre otros datos técnicos, que ayudan a la selección de los equipos requeridos y su facilitan las operaciones mantenimiento. En las figuras 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 y 2.11 se muestran las hojas de diseño mecánico de cada uno de los equipos a trasladar.

		<b>HOJA DE DATOS</b> <b>COLUMNA DE DESTILACIÓN</b>	
		Departamento de Mantenimiento Hoja 2 de 2	
<b>IDENTIFICACIÓN: C-200</b>		<b>UBICACIÓN: GREENSOL</b>	<b>FABRICANTE: CONSITO SPA</b>
<b>SERVICIO:</b>		<b>TIPO:</b>	
DATOS DE OPERACIÓN			
NOMBRE DEL FLUIDO			
DATOS DEL FLUIDO		TOPE	FONDO
Flujo Másico máx (kg/h)			
Temperatura de operación (°C)			
Presión de operación (psi)			
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )			
Viscosidad cP			
DATOS MECÁNICOS			
Diámetro (mm)		650	
Longitud total (mm)		13860	
Capacidad (m <sup>3</sup> )			
Espesor por corrosión (mm)		3	
Tipo de plato		válvula/glitsch	
Diámetro del plato (mm)		650	
Número de platos		33	
Espaciado entre platos (mm)		250/350/400	
Peso vacío (kg)			
Peso lleno de agua (kg)			
Prueba hidrostática (kg/cm <sup>2</sup> )		6,75	
Prueba neumática (psi)			
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN		Carcaza	A 240TP 304
		Cabezales	A 240TP 304
		Internos	A 240TP 304
		Soportes	
		Bridas	Fe42 UNI 5860
AISLAMIENTO			
PROTECCIÓN			
BOQUILLAS Y ACCESORIOS			
N°	SERVICIO	D.N.	Cant.
1	Entrada de fondo del rehervidor	8"	1
2	Alimentación	1"	1
3	Reflujo	1 ½"	1
4	Salida de fondo hacia rehervidor	4"	1
5	Vapores de tope	4"	1
6	Toma de nivel	1"	2
7	Toma de temperatura	1"	3
8	Toma de presión	¾"	3
9	Plato de válvula tipo Glitsch	0	33
10			
11			



OBSERVACIONES

**Figura 2.4.** Hoja de Datos de La Columna de Fraccionamiento C-200.

	<b>HOJA DE DATOS</b> <b>COLUMNA DE DESTILACIÓN</b>	
	Departamento de Mantenimiento Hoja 2 de 2	
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> C-200	<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL	<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA
<b>SERVICIO:</b>		<b>TIPO:</b>
<b>DETALLES</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>VALVULAS  <math>\phi</math> int = 3,88 cm  <math>\phi</math> ext = 4,74 cm</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>		
<b>OBSERVACIONES</b>		

**Figura 2.5.** Detalle Plato de Válvulas de la Columna de Fraccionamiento C-200.

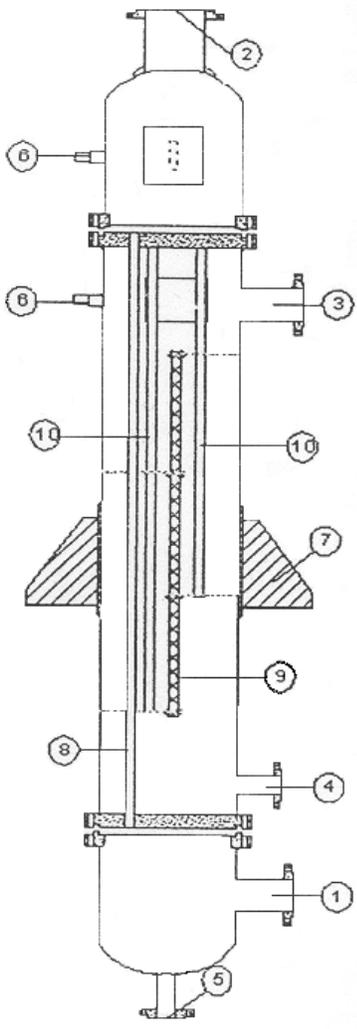
		<b>HOJA DE DATOS</b>			
		<b>REHERVIDOR</b>			
		Departamento de Mantenimiento Hoja 1 de 1			
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> E-200		<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL	<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA		
SERVICIO: Rehervidor		POSICIÓN: VERTICAL	TIPO: Rehervidor a termosifón y cabezal fijo		
DATOS DE OPERACIÓN					
DATOS DEL FLUIDO		TUBOS	CARCAZA		
<b>NOMBRE DEL FLUIDO</b>		aceite térmico	fondo C-200		
Flujo Másico máx (kg/h)					
Temperatura de entrada (°C)					
Temperatura de salida (°C)					
Presión de entrada (psi)					
Presión de salida (psi)					
Caida de presión (psi)					
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )					
Viscosidad cP					
Calor de intercambio Kcal/h		211000			
Temperatura media Logarítmica		67,778			
Área de transferencia de calor requerida m <sup>2</sup>		7,783			
Área de transferencia de calor existente m <sup>2</sup>		10,9			
Capacidad (dm <sup>3</sup> )		220			
DATOS MECÁNICOS					
N° de pasos por tubo (Carcaza/tubos)		1	1		
N° de tubos		92			
Longitud de los tubos (mm)		2000			
Arreglo de los tubos		Triangular			
Diámetro nominal (in)		¾"			
Cédula		16 BWG			
Diámetro de la carcaza (mm)		305			
DEFLECTORES	Instalados	Si			
	Cantidad	5			
	Espaciado (mm)	300			
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	Carcaza	A 240 TP 304			
	Tubo	A 240 TP 304			
TEMPERATURA DE DISEÑO (°C)	Carcaza	205			
	Tubos	205			
PRESIÓN DE DISEÑO (kg/cm <sup>2</sup> )	Carcaza	11,52			
	Tubos	2,9			
PRUEBA HIDROSTÁTICA	Carcaza (Kg/cm <sup>2</sup> )	18,2			
	Tubos (Kg/cm <sup>2</sup> )	4,5			
OBSERVACIONES					
BOQUILLAS Y ACCESORIOS					
N°	SERVICIO			D.N.	Cant.
1	Entrada producto de fondo			3"	1
2	Salida de producto de fondo			6"	1
3	Entrada de aceite térmico			4"	1
4	Salida de aceite térmico			1"	1
5	Drenaje			2"	1
6	Tapón -- venteo			¾"	2
7	Soporte con refuerzo			0	2
8	Tubo de intercambio	¾"	92		
9	Bara de tiro	2"	1		
10	Tubo espaciador	¾"	15		

Figura 2.6. Hoja de Datos del Rehervidor E-200.

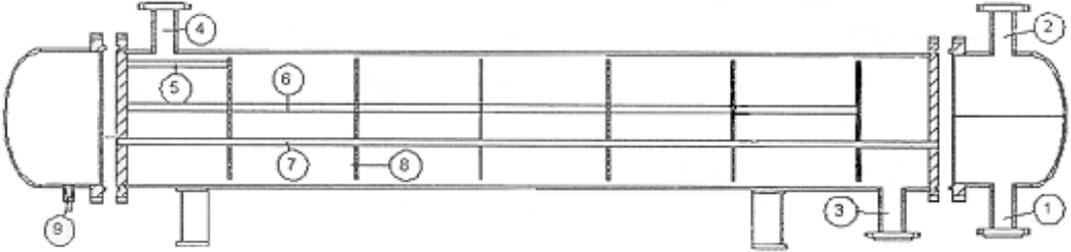
		<b>HOJA DE DATOS</b>					
		<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>					
		Departamento de Mantenimiento					
		Hoja 1 de 1					
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> E-201		<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL		<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA			
SERVICIO: Condensador de tope C-200		POSICIÓN: Horizontal		TIPO: Intercambiador carcaza y tubo con cabezal fijo			
DATOS DE OPERACIÓN							
DATOS DEL FLUIDO			TUBOS		CARCAZA		
<b>NOMBRE DEL FLUIDO</b>			Agua de enfriamiento		Corriente tope C-200		
Flujo másico (kg/h)							
Temperatura de entrada/salida (°C)							
Densidad de entrada/salida (°C)							
Viscosidad de entrada/salida (cP)							
Calor específico entrada/salida Kcal/Kg°C							
Caida de presión (psi)							
Calor de Intercambio (Kcal/h)			35433,50	Temperatura media logarítmica	7,213		
Coeficiente de transferencia de calor (Kcal/m <sup>2</sup> h°C)			35	Capacidad (m <sup>3</sup> )			
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )			REQUERIDA		14,034		
			EXISTENTE		20,500		
DATOS MECÁNICOS							
N° de Pasos (carcaza/tubos)		1	2	<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>	Caracaza	A 240 TP 304	
Número de tubos		114			Tubo	A 240 TP 304	
Longitud de los tubos		3000		Diámetro Nominal (in)	¾" cédula 16 BWG		
Diámetro de carcaza (mm)		344		Arreglo Tubular	Triangular 23,8 mm		
Tipo de cabezal		Elíptica 2:1	Espesor de corrosión (mm)	3	Temperatura de diseño (°C)	116/70	
DEFLECTORES		Instalados	Número de deflectores	8	Espaciado deflectores (mm)	333	
PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )		Carcaza		0,7	Tubos	3,75	
PRUEBA HIDROSTÁTICA (Kg/cm <sup>2</sup> )		Carcaza		7,306	Tubos	7,306	
							
BOQUILLAS Y ACCESORIOS							
N°	SERVICIO	D.N.	Cantidad	N°	SERVICIO	D.N.	Cantidad
1	Entrada corriente tope columna C-200	4"	1	6	Tubo espaciador	¾"	22
2	Salida corriente tope columna C-200	4"	1	7	Tubo de intercambio calor	¾"	114
3	Entrada de agua de enfriamiento	1 ½"	1	8	Deflectores		8
4	Salida de agua de enfriamiento	4"	1	9	Tapón -- venteo	¾"	1
5	Tubo espaciador	¾"	4				

Figura 2.7. Hoja de Datos del Condensador E-201.

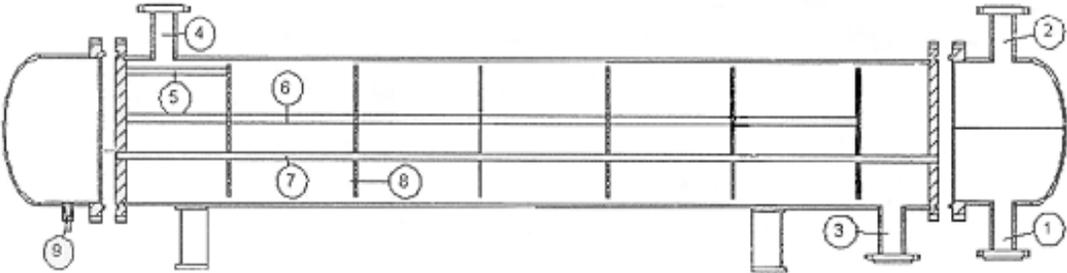
		<b>HOJA DE DATOS</b> <b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>					
		Departamento de Mantenimiento Hoja 1 de 1					
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> E-202		<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL		<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA			
SERVICIO: Precalentador		POSICIÓN: Horizontal		TIPO: Intercambiador carcaza y tubo con cabezal fijo			
DATOS DE OPERACIÓN							
DATOS DEL FLUIDO			TUBOS	CARCAZA			
NOMBRE DEL FLUIDO			Tope C-200	Materia prima			
Flujo másico (kg/h)							
Temperatura de entrada/salida (°C)							
Densidad de entrada/salida (°C)							
Viscosidad de entrada/salida (cP)							
Calor específico entrada/salida Kcal/Kg°C							
Caída de presión (psi)							
Calor de Intercambio (Kcal/h)			Temperatura media logarítmica				
Coeficiente de transferencia de calor (Kcal/m <sup>2</sup> h°C)			Capacidad (m <sup>3</sup> )				
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )			REQUERIDA				
			EXISTENTE		9,5		
DATOS MECÁNICOS							
Nº de Pasos (carcaza/tubos)	1	2	<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>		Caracaza	A 240 TP 316L	
Número de tubos	36				Tubo	A 312 TP 316L	
Longitud de los tubos	3000		Diámetro Nominal (in)	¾" cédula 16 BWG			
Diámetro de carcaza (mm)	252		Arreglo Tubular	Triangular 22 mm			
Tipo de cabezal	Elíptica 2:1	Espesor de corrosión (mm)	3	Temperatura de diseño (°C)	200/200		
DEFLECTORES	Instalados	Número de deflectores	14	Espaciado deflectores (mm)	200		
PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carcaza		0,5	Tubos	4		
PRUEBA HIDROSTÁTICA (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carcaza		3,8	Tubos	5,7		
							
Nº	SERVICIO	D.N.	Cantidad	Nº	SERVICIO	D.N.	Cantidad
1	Entrada corriente tope columna C-200	3"	1	6	Tapón -- venteo	½"	2
2	Salida corriente tope columna C-200	1"	1	7	Tubo de intercambio calor	¾"	36
3	Purga	1"	1	8	Tubo espaciador		
4	Salida de corriente de materia prima	2"	1	9	Deflectores		14
5	Entrada de corriente de materia prima	2"	1	10	Rompeflujo		1

Figura 2.8. Hoja de Datos del Precalentador E-202.

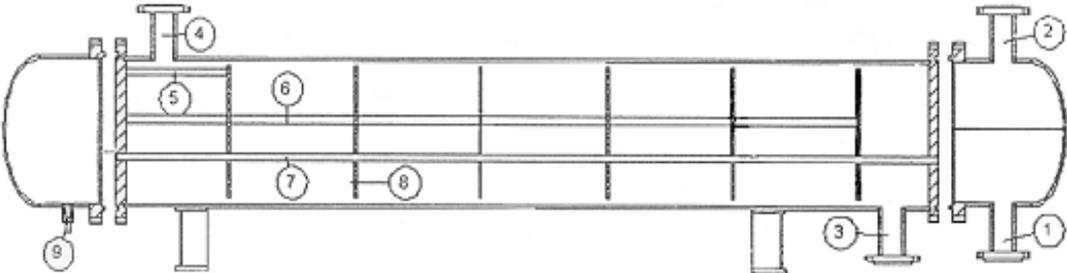
		<b>HOJA DE DATOS</b> <b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>					
		Departamento de Mantenimiento					
		Hoja 1 de 1					
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> E-203		<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL		<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA			
SERVICIO: Precalentador		POSICIÓN: Horizontal		TIPO: Intercambiador carcaza y tubo con cabezal fijo			
DATOS DE OPERACIÓN							
DATOS DEL FLUIDO			TUBOS	CARCAZA			
<b>NOMBRE DEL FLUIDO</b>			Tope C-110	Materia prima			
Flujo másico (kg/h)							
Temperatura de entrada/salida (°C)							
Densidad de entrada/salida (°C)							
Viscosidad de entrada/salida (cP)							
Calor específico entrada/salida Kcal/Kg°C							
Caída de presión (psi)							
Calor de Intercambio (Kcal/h)		35433,50	Temperatura media logarítmica		7,213		
Coeficiente de transferencia de calor (Kcal/m <sup>2</sup> h°C)		35	Capacidad (m <sup>3</sup> )				
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )		REQUERIDA		14,034			
		EXISTENTE		20,500			
DATOS MECÁNICOS							
Nº de Pasos (carcaza/tubos)	1	2	<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>		Caracaza	A 240 TP 304	
Número de tubos	114				Tubo	A 240 TP 304	
Longitud de los tubos	3000		Diámetro Nominal (in)	¾" cédula 16 BWG			
Diámetro de carcaza (mm)	344		Arreglo Tubular	Triangular 23,8 mm			
Tipo de cabezal	Elíptica 2:1	Espesor de corrosión (mm)	3	Temperatura de diseño (°C)	116/70		
DEFLECTORES	Instalados	Número de deflectores	8	Espaciado deflectores (mm)	333		
PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carcaza		0,7	Tubos	3,75		
PRUEBA HIDROSTÁTICA (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carcaza		7,306	Tubos	7,306		
							
Nº	SERVICIO	D.N.	Cantidad	Nº	SERVICIO	D.N.	Cantidad
1	Entrada corriente tope columna C-110	4"	1	6	Tubo espaciador	¾"	22
2	Salida corriente tope columna C-110	4"	1	7	Tubo de intercambio calor	¾"	114
3	Entrada de corriente de materia prima	1 ½"	1	8	Deflectores		8
4	Salida de corriente de materia prima	4"	1	9	Tapón -- venteo	¾"	1
5	Tubo espaciador	¾"	4				

Figura 2.9. Hoja de Datos del Precalentador E-203.

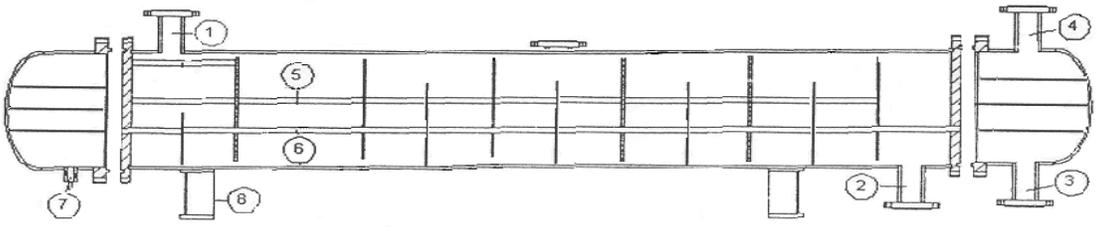
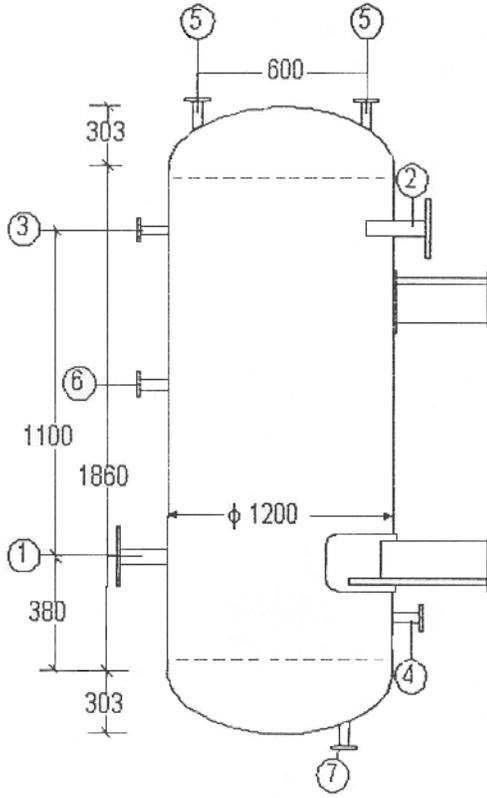
		<b>HOJA DE DATOS</b> <b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>				Departamento de Mantenimiento Hoja 1 de 1	
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> E-204		<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL		<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA			
SERVICIO: Precaentador		POSICIÓN: Horizontal	TIPO: Intercambiador carcaza y tubo con cabezal fijo				
DATOS DE OPERACIÓN							
DATOS DEL FLUIDO			TUBOS		CARCAZA		
<b>NOMBRE DEL FLUIDO</b>			Materia Prima		Corriente de fondo C-110		
Flujo másico (kg/h)							
Temperatura de entrada/salida (°C)							
Densidad de entrada/salida (°C)							
Viscosidad de entrada/salida (cP)							
Calor específico entrada/salida Kcal/Kg°C							
Caida de presión (psi)							
Calor de Intercambio (Kcal/h)			Temperatura media logarítmica				
Coeficiente de transferencia de calor (Kcal/m <sup>2</sup> h°C)			Capacidad (m <sup>3</sup> )				
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )			REQUERIDA				
			EXISTENTE		31,8		
DATOS MECÁNICOS							
N° de Pasos (carcaza/tubos)		1 6	<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>		Carcaza	A 515 60	
Número de tubos		136			Tubo	A 179	
Longitud de los tubos		3000	Diámetro Nominal (in)		1" cédula 16 BWG		
Diámetro de carcaza (mm)		489	Arreglo Tubular		Triangular 31,8 mm		
Tipo de cabezal	Elíptica 2:1	Espesor de corrosión (mm)	3	Temperatura de diseño (°C)			
DEFLECTORES	Instalados	Número de deflectores	22	Espaciado deflectores (mm)	110		
PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )		Carcasa	3,75	Tubos	3,75		
PRUEBA HIDROSTÁTICA (Kg/cm <sup>2</sup> )		Carcasa	5,7	Tubos	5,7		
							
N°	SERVICIO	D.N.	Cantidad	N°	SERVICIO	D.N.	Cantidad
1	Entrada de corriente de fondo C-110	3"	1	6	Tubo de intercambio calor	1"	136
2	Salida de corriente de fondo C-110	3"	1	7	Tapón -- venteo	3/4"	1
3	Entrada de corriente de materia prima	3"	1	8	Soporte de refuerzo		2
4	Salida de corriente materia prima	3"	1				
5	Tubo espaciador	3/8"	88				

Figura 2.10. Hoja de Datos del Precaentador E-204.

		<b>HOJA DE DATOS</b>  <b>ACUMULADOR DE PRODUCTO DE TOPE</b>		Departamento de Mantenimiento Hoja 1 de 1
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> V-200		<b>UBICACIÓN:</b> GREENSOL		<b>FABRICANTE:</b> CONSITO SPA
SERVICIO:		POSICIÓN: HORIZONTAL		TIPO: SEPARADOR BIFÁSICO
DATOS DE OPERACIÓN				
<b>NOMBRE DEL FLUIDO</b>				
Flujo Másico máx (kg/h)				
Temperatura de operación (°C)				
Presión de operación (psi)				
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )				
Viscosidad cP				
Caída de presión (psi)				
DATOS MECÁNICOS				
Diámetro (mm)				
Longitud total (mm)				
Capacidad (m <sup>3</sup> )				
Tipo de cabezal				
Presión de diseño (atm)				
Temperatura de diseño (°C)				
Peso vacío en (kg)				
Peso lleno de agua (kg)				
Prueba hidrostática (psia)				
ESPESOR POR CORROSIÓN		Cuerpo (mm)	3	
		Cabezal (mm)	3	
		Internos (mm)		
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN		Carcasa	AISI 304	
		Cabezales	AISI 304	
		Bridas	A. al carbono	
		Soportes	A. al carbono	
		Empacadura		
AISLAMIENTO				
PROTECCIÓN				
BOQUILLAS Y ACCESORIOS				
N°	SERVICIO	D.N.	Cant.	
1	Entrada	1 ½"	1	
2	Salida	1 ½"	1	
3	Purga	1"	1	
4	Drenaje	1"	1	
5	Toma de nivel	1"	1	
6	Tome de presión	¾"	1	
7	Toma de temperatura	1"	1	
8				
9				
10				



OBSERVACIONES

**Figura 2.11.** Hoja de Datos del Tambor de Destilado V-200.

## 2.7 Descripción General del Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual.

Para la obtención de los solventes alifáticos, la materia prima se transporta en camiones cisternas de 38.500 litros de capacidad desde El Complejo Criogénico de Oriente “Jose”, ubicado en el Estado Anzoátegui a las instalaciones de INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A., en el Estado Carabobo, donde el departamento de calidad se encarga de verificar sus condiciones y pesar el envío, para luego ser bombeada hacia los respectivos tanques de almacenamiento.

Una vez almacenada la materia prima, esta se bombea hacia el área de precalentamiento (ver Figura 13), donde esta corriente se pone en contacto a través de una serie de intercambiadores de calor, con las diferentes corrientes de productos para aprovechar la energía de las mismas y así elevar la temperatura de la alimentación, antes de su entrada a la primera Columna de Fraccionamiento del proceso. Esto garantiza que la materia prima entre a la columna como una temperatura adecuada para la realización del proceso de destilación.

La corriente de alimentación después de su paso por el tren de precalentamiento, alcanza una temperatura de 95 °C para ser introducida a la primera columna de fraccionamiento denominada C-200 que opera a presión atmosférica. De este primer proceso de fraccionamiento se obtienen dos corrientes; una denominada corriente de tope, la cual corresponde a uno de los 3 productos terminados, el solvente alifático IDP-200; y una corriente de fondo, la cual se emplea como materia prima de la siguiente columna de fraccionamiento la unidad C-110, que se encuentra actualmente instalada y en operación dentro de la empresa.

La corriente de fondo que proviene de la columna C-200 a una temperatura de 150°C entra como materia prima de la columna C-110, la cual trabaja al igual que la unidad C-200 a presión atmosférica.

Del segundo fraccionamiento realizado en la columna de fraccionamiento C-110, se obtiene igualmente dos corrientes o cortes; uno por el tope de la unidad que corresponde al solvente

alifático IDP-250; y un tercer corte o producto de fondo de esta última columna llamado IDP-300.

Los tres solventes producidos salen de las columnas con temperaturas que oscilan entre 100 y 170°C por lo que se aprovecha ese calor en el tren de precalentamiento tal como se había descrito anteriormente. Luego estos productos se hacen pasar por unos intercambiadores de calor (enfriadores) con el fin de disminuir su temperatura hasta unos 40°C aproximadamente para poder ser almacenados en los tanques dispuestos.

Todo el proceso se lleva a cabo en conjunto con las evaluaciones realizadas por el departamento de control de calidad que se encarga de verificar que los productos cumplan con las especificaciones establecidas y exigidas por los clientes.

## **2.8 Diagrama de Proceso.**

El diagrama de proceso indica como su mismo nombre lo explica, el proceso o procedimiento a seguir para ejecutar una secuencia de combinaciones en nuestro caso químicas que nos permitirá transformar un producto genérico en un producto elaborado, apto para cubrir la necesidad especificada ó, como componente de un conjunto que cubrirá esa necesidad.

Este diagrama solo expresa las condiciones físicas de la materia prima Gasolina Residual, que estamos tratando a medida que cumple los pasos preestablecidos tales como temperatura, presión, peso específico, viscosidad, etc. También indicará en forma sintetizada los equipos utilizados para su transformación, sin determinar su tipo o número, así como su dirección de flujo.

A partir de los datos suministrados en este diagrama presentados en la Figura 2.12 y la Tabla 2.3, y conociendo la trayectoria de los fluidos y la descripción general del proceso se puede organizar el Diagrama de Tuberías e Instrumentos del proceso para realizar el diseño preliminar de los sistemas o redes de tuberías.



Tabla 2.3. Condiciones del Fluido en el Diagrama de Flujo de Proceso.

Corriente	1	2	3	4	5	6
Caudal (Lt/h)	5.095,025	5.093,491	5.301,614	5.417,451	5.483,705	8.172,737
Caudal (m <sup>3</sup> /s)x10 <sup>-3</sup>	1,415	1,415	1,473	1,505	1,523	2,270
Flujo másico (kg/h)	3.842,2	3.842,2	3.842,2	3.842,2	3.842,2	5.454,4
Temperatura (°C)	30	30,07	67,38	85,66	95,34	107,86
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	765	754	725	709	701	667
Presión (psi)	14,7	50	45	40	35	14,7
Viscosidad (Cp)	0,494	0,495	0,346	0,298	0,277	0,231

Corriente	7	8	9	10	11	12
Caudal (Lt/h)	4.942,781	3.229,956	2.988,619	12.264,230	2.486,900	9.067,800
Caudal (m <sup>3</sup> /s)x10 <sup>-3</sup>	1,373	0,897	0,830	3,407	0,691	2,519
Flujo másico (kg/h)	3.298,3	2.156,1	2.156,1	8.315,2	1.686,4	6.144,3
Temperatura (°C)	107,92	107,92	47	150,50	150,56	134,78
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	668	668	721	678	678	694
Presión (psi)	35	35	30	19,7	35	14,7
Viscosidad (Cp)	0,231	0,231	0,373	0,228	0,228	0,233

Corriente	13	14	15	16	17	18
Caudal (Lt/h)	7.439,620	1.628,182	1.510,980	7.770,224	834,311	769,243
Caudal (m <sup>3</sup> /s)x10 <sup>-3</sup>	2,067	0,452	0,420	2,159	0,232	0,214
Flujo másico (kg/h)	5.014,3	1.130,0	1.130,0	5.206,1	556,346	556,346
Temperatura (°C)	134,84	134,84	74	162,31	162,38	100,00
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	694	694	748	670	667	723
Presión (psi)	35	35	30	15,41	35	30
Viscosidad (Cp)	0,233	0,233	0,363	0,226	0,226	0,333

## 2.9 Diagrama de Tubería e Instrumentos.

El diagrama de tuberías e instrumentos se creará siguiendo las pautas establecidas por el diagrama de proceso y, aplicando los procedimientos necesarios para crear las condiciones exigidas por el proceso. En este diagrama (denominado P & I) se definen los tipos, tamaños y condiciones de los equipos que se utilizarán, así como los instrumentos específicos destinados

a controlar el proceso establecido. También figuran las dimensiones y materiales de las tuberías, los tipos de válvulas y demás accesorios de control o medición requeridos para su operación.

El diseño del diagrama de tuberías e instrumentos del proceso de fraccionamiento de gasolina residual de la unidad C-200, abarca dos P & I originados en el Diagrama de Proceso que representan:

### **2.9.1 Diagrama de Operación del o los Fluidos en Proceso.**

En este diagrama se refiere exclusivamente al fluido de proceso y se aplica a la materia prima solicitada a transformación, es decir, el proceso de transformación de la gasolina residual.

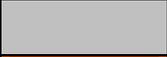
### **2.9.2 Servicios Auxiliares.**

- Agua, en diferentes condiciones tales como Agua de Enfriamiento.
- Aire, de diferentes tipos tales como Aire de Planta, Aire de Instrumentación u otro cualquiera.
- Cualquier otro servicio adicional requerido por el proceso como es el caso de aceite térmico.

Este diseño se regirá bajo la Norma Venezolana COVENIN 253-82 “Colores para la Identificación de Tuberías que Conduzcan Fluidos”, para establecer los colores y codificación que deben tener las tuberías con el fin de identificar el fluido que circula por ellas. De esta manera se deben considerar las siguientes definiciones:

- Colores Básicos para la identificación: son aquellos que se usan para la identificación del fluido que es conducido por tubería.
- Codificación: es el conjunto conformado por anillos y/o leyendas pintadas sobre el color básico de la identificación que permiten reconocer el fluido que circula por la tubería, así como también indicar el grado de peligro de la presión y/o temperatura del mismo.

**Tabla 2.4. Colores Básicos para Identificación de Tuberías.**

Nombre del Fluido	Color Básico	Muestra
Agua	Verde	
Agua para Incendios	Rojo	
Vapor	Gris Plateado	
Aceites y Líquidos Combustibles	Marrón	
Aire	Azul	

Información sustraída de la Norma Venezolana COVENIN 253-82.

### **2.10 Factores que Controlan la Selección de la Ubicación de la Columna C-200.**

Es necesario considerar el efecto de las características peligrosas o inconvenientes de la ubicación de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales en la planta, de manera que sus operaciones estas no interfieran con los equipos aledaños, especificando las necesidades de espacio determinadas para la operación de cada equipo.

Podrá admitirse un cierto grado de superposición de los equipos principales de la Columna de Fraccionamiento en la estructura de soporte de la misma, que permita la utilización razonable del espacio ocupado por la instalación. Sin embargo, deberá evitarse superponer los equipos que representen un elevado riesgo de generación y/o propagación de incendios, particularmente los intercambiadores de calor y los equipos rotativos como las bombas, con el fin de cumplir con los estándares de seguridad y salud ocupacionales.

De esta forma, siguiendo las exigencias de “El Manual de Ingeniería de Riesgos” de PDVSA en la sección concerniente a la separación entre equipos e instalaciones, como se determinarán los arreglos generales entre los equipos requeridos en éste proceso, respetando la separación básica que permita el acceso para operación, mantenimiento y combate de incendios de los mismos, establecidas en tabla 2.5.

Tabla 2.5. Separación Referencial entre Equipos Típicos dentro de una misma Área.

LETRAS DE REFERENCIAS	TIPO DE ESCALO O REFERENCIA										SEPARACION RECOMENDADA (M)															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
X																										
X	X																									
30	30	X																								
15	15	X	X																							
10	15	30	15	X																						
15	15	30	15	15	X																					
7,5	15	30	15	3	15	1,5																				
15	X	X	X	X	15	15	15	X																		
5	X	X	X	X	15	5	X	X																		
15	15	X	X	15	NA	10	X	X	X																	
10	15	30	15	5	15	5	15	5	15	1																
10	15	30	15	3	15	1,5	15	5	15	5	1															
25	10	30	10	15	30	15	15	15	15	15	15	1														
10	15	30	15	5	15	5	15	5	15	5	5	13	1,5													
10	15	30	15	3	15	3	15	5	15	5	3	15	5	1												
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	5	X	5	5	X	X											
10	15	30	15	5	15	5	15	5	15	5	5	15	5	5	5	X										
10	15	30	15	8	15	8	15	5	15	8	8	15	8	8	5	8	X									
25	25	30	25	25	25	25	25	5	25	25	25	25	25	25	X	25	25	1								
10	15	30	15	3	15	3	15	5	15	5	2	15	5	3	X	5	8	25	3							
10	15	30	15	7,5	15	7,5	15	5	15	15	8	15	15	8	X	15	15	25	8	X						
15	5	10	5	3	5	1,5	3	5	X	5	3	5	3	2	X	5	5	5	2	5	X					

**NOTAS:**

1. Todas las distancias están expresadas en metros.
2. La abreviación “NA”, significa no aplicable.
3. La letra “X” significa: basado en acceso adecuado para operación y mantenimiento.
4. La letra “Y” significa: hornos y calderas deben especificarse sus características de operación para determinar su separación recomendable.

## 2.11 Placas de Fundación.

Las placas de fundación son empleadas cuando se requiere una mayor rigidez del conjunto y un mejor comportamiento estructural, especialmente en los siguientes casos:

- Cuando el suelo de fundación ofrece una limitada capacidad portante.
- Para evitar asentamientos considerables si el subsuelo presenta zonas débiles o defectos.
- Si existe la posibilidad de ascenso del nivel freático, con una subpresión que puede levantar las bases aisladas poco cargadas.
- Como apoyo de muros y columnas muy cargados.
- Como elemento de soporte y sujeción de equipos, tanques, etc., a fin de resistir cargas y minimizar vibraciones.

Desde el punto de vista estructural, las placas de fundación son similares a entrepisos invertidos, donde las cargas distribuidas resultan las reacciones del suelo, actuando de abajo hacia arriba, y las columnas actúan como apoyos puntuales o lineales. Cuando las condiciones del suelo lo exigen, las placas de fundación deben apoyar sobre pilotes, con espesor suficiente para actuar simultáneamente como cabezales, enlazando los extremos superiores de los mismos. Las placas de fundación se pueden clasificar en:

1. Placas directas.
2. Placas flotantes.
3. Placas sobre pilotes.

Las placas directas son las que se apoyan sobre el terreno, toda su área en planta, a cualquier profundidad, sin tomar en cuenta el volumen de tierra excavada para la cimentación. Por lo tanto, pueden ser superficiales o profundas, sin que la cota de apoyo sea considerada como un parámetro que afecta el comportamiento del suelo. Por el contrario, las fundaciones flotantes son las que se basan en la técnica de la flotación, que consiste en ubicar la placa a una profundidad tal que el peso del suelo excavado iguale al transmitido por el cimiento. En consecuencia, los únicos asentamientos que se tomarán en cuenta son los debidos a la compresión del suelo luego de expandirse durante la excavación.

Cuando los estratos superficiales del suelo de fundación no son lo suficientemente resistentes para soportar las cargas impuestas por las bases directas de la superestructura, se pueden producir, asentamientos locales excesivos e inadmisibles o fallas del suelo al superar su capacidad portante. Para solucionar este problema, se deben buscar estratos profundos más firmes, de modo de transmitir a ellos las cargas actuantes, mediante fundaciones indirectas o profundas.

## **2.12 Condiciones de Diseño de Fundaciones de Placa Directa para Recipientes.**

Esta sección describe uno de los métodos usados para el análisis y diseño de fundaciones de placa directa para recipientes verticales. Previamente al inicio del diseño de fundaciones, se debe obtener la siguiente información:

- a. Cargas por Viento.
- b. Tolerancias por corrosión en los pernos de anclaje.
- c. Requisitos especiales.
- d. Diámetro del círculo de pernos.

### **2.12.1 Cargas Verticales.**

Se define de esta manera a todas aquellas combinaciones de cargas, transmitidas principalmente por el equipo, que actúan sobre la fundación en sentido contrario a la fuerza normal. Este es el caso de las siguientes cargas:

- a. Peso de Montaje.
- b. Peso Vacío.
- c. Peso de Operación.
- d. Peso de Prueba.

### **2.12.2 Cargas Horizontales.**

Se conoce con este nombre al conjunto de fuerzas aplicadas sobre la fundación en dirección perpendicular a las cargas verticales, es decir, en dirección perpendicular a la fuerza normal.

### 2.12.2.1 Viento.

a. Para el caso de recipientes verticales con altura menor o igual a 23 m (75,5 pies), las cargas por viento (fuerza cortante y momentos) se afectarán mediante los factores multiplicadores de carga por viento que consideran el efecto de salientes o protuberancias del equipo, tales como: tuberías, bocas de visita, escaleras, plataformas, etc. Estos factores serán función del diámetro del recipiente como se indica en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Factores Multiplicadores de Carga por Viento.**

Diámetro del Recipiente	Factor de Carga
610 mm a 762 mm	1,50
762 mm a 1.219 mm	1,37
1.372 mm a 1.829 mm	1,28
1.981 mm a 2.438 mm	1,20
2.591 mm o mayor	1,18

El diámetro real del recipiente se multiplicará por el “Factor Multiplicador de Carga por viento” correspondiente, para obtener el “Diámetro Efectivo” por viento.

$$\text{Diámetro real} = \text{Diámetro interno} + (2) \text{ espesor de pared} + (2) \text{ espesor aislamiento} \quad \rightarrow \text{Ec. (2.3)}$$

b. Para los casos de recipientes verticales con altura mayor de 23 m (75,5 pies) o cuya relación altura a diámetro sea igual o mayor de 15; el ingeniero estructural deberá calcular las cargas por viento considerando la orientación del recipiente, los planos de detalle de las plataformas y los siguientes criterios:

1. La presión del viento se aplica en el centroide del área proyectada de la superficie cilíndrica de un recipiente con aislamiento.
2. La presión del viento sobre superficies planas actuante sobre la superficie horizontal de las plataformas, se multiplicará por 0,5 para cada plataforma.

3. El ángulo usado en el cálculo de la superficie horizontal de la plataforma, no excederá de  $180^\circ$ , excepto para las plataformas ubicadas en el tope del recipiente. Esto se hace con el objeto de considerar el efecto de escudo del equipo.
4. La resultante de la presión del viento sobre las superficies cilíndricas, en el caso de una jaula de protección para escaleras (asumir una de 390 mm (15") de ancho), se aplicará en el centroide del área.
5. La resultante de la presión del viento sobre las superficies cilíndricas, en el caso de líneas de tuberías de vapor, se aplicará en el centroide del área.
6. Las presiones del viento deberán estar en concordancia con las Normas COVENIN 2003 y las especificaciones del proyecto.

#### **2.12.2.2 Sismo.**

En zonas sísmicas, las fuerzas por sismo deben determinarse a partir de la Norma COVENIN 1756. Las acciones sísmicas no deben considerarse simultáneamente con las acciones del viento.

#### **2.12.2.3 Combinaciones de Cargas.**

- a. Peso vacío más cargas de viento o sismo.
- b. Peso de operación más cargas de viento o sismo.
- c. Peso de prueba.
- d. En los casos en que sea aplicable, una combinación del peso de montaje más viento.
- e. En los casos en que sea aplicable, se deberán considerar las cargas sobre la fundación, debidas al montaje del equipo.

#### **2.12.3 Dimensiones de los Pernos de Anclaje.**

Las dimensiones de los pernos de anclaje deberán ser calculadas empleando las ecuaciones 2.4 y 2.5 de donde se obtienen las cargas tensión y fuerza cortante respectivamente a las que se

encuentran sometidos los pernos que se utilizarán para el anclaje de la Columna de Fraccionamiento C-200.

$$Tensión = \frac{4M}{BC.N} - \frac{W}{N} \rightarrow \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

M = Momento máximo de volcamiento en la base del recipiente.

N = Número de pernos de anclaje.

BC = Diámetro del círculo de pernos (en metros).

W = Peso vacío del recipiente.

$$Fuerza Cortante = \frac{Fuerza\ cortante\ máxima\ en\ la\ base\ del\ recipiente}{Número\ de\ pernos\ de\ anclaje} \rightarrow \text{Ec. (2.5)}$$

El esfuerzo admisible en los pernos de anclaje será el indicado en la Norma COVENIN N° 1618, y no se permitirán aumentos para este parámetro.

#### 2.12.4 Dimensionamiento del Pedestal.

El dimensionamiento de los pedestales de concreto para el soporte de recipientes verticales, se hará en incrementos de 25,0 mm (1”) y de acuerdo al siguiente criterio establecido en el “Procedimiento de Ingeniería de Fundaciones de Recipientes Verticales” de PDVSA:

La dimensión cara a cara del pedestal será el mayor valor entre:

- a. Diámetro del círculo de pernos + 203 mm.
- b. Diámetro del círculo de pernos + 5 veces el diámetro de los pernos.
- c. Diámetro del círculo de pernos + diámetro de la camisa del perno + 152 mm.

Los pedestales de tamaño igual o mayor a 1,25 m (4’) deberán ser de forma octagonal, mientras que para tamaños menores de 1,25 m, se usará la forma cuadrada.

### 2.12.5 Acero de Refuerzo.

La unión entre el pedestal y la zapata deberá constar de suficientes barras de refuerzo vertical, ubicadas en el perímetro del pedestal, para evitar la separación entre dichos elementos. Usualmente, las barras son dimensionadas, calculando la fuerza máxima de tensión actuante en el perímetro del pedestal, debida al momento de volcamiento. Dicha fuerza se calculará mediante la ecuación siguiente:

$$Tensión = \frac{4M}{BC.N} - \frac{W}{N} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde:

M = Momento máximo de volcamiento en la base del pedestal.

N = Número de barras (asumido).

BC = Tamaño del pedestal menos 152 mm (en metros).

W = Peso del recipiente mas el pedestal.

\* Ecuación obtenida de la referencia titulada “Design of Foundations for snack and Towers” Marshall.

$$\text{Área requerida de barras} = \frac{Tensión}{Esfuerzo\_admisible} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.7)}$$

### 2.12.6 Diseño de Zapatas.

Las zapatas para recipientes verticales pueden poseer forma octogonal, cuadrada, combinada o excéntrica, aunque usualmente se emplean las formas octogonal o cuadrada, dimensionadas en incrementos de 150 mm.

El uso de zapatas combinadas o excéntricas, deberá evitarse en lo posible, debido a que el acero de refuerzo no queda distribuido de una manera uniforme dentro de la zapata y de igual

forma por su geometría no distribuyen equitativamente los esfuerzos sobre el suelo pudiendo originarse alguna falla de la losa de fundación o del terreno.

Las zapatas cuyo diámetro sea menor a 2,10 m, deberán ser cuadradas con un espesor mínimo de 300 mm. Para el diseño preliminar de zapatas octagonales, pueden usarse las ecuaciones indicadas a continuación:

$$\phi = 2,63 \sqrt{\frac{M}{SB}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

M = Momento de volcamiento en la base de la fundación (kg-m)

SB = Esfuerzo admisible del suelo.

$\phi$  = Diámetro de la zapata.

### 2.12.7 Esfuerzo Admisible del Suelo.

- La presión actuante sobre el suelo, en la diagonal de la zapata, deberá compararse con el valor admisible respectivo.
- La presión actuante sobre el suelo, utilizada en el diseño de la zapata, será la calculada para la condición de apoyo completo.
- Para los casos en que no toda el área de apoyo de la zapata esté sometida a compresión, se calculará la presión actuante sobre el suelo mediante los gráficos de la Tabla 2.13, factor de seguridad para volcamiento, los cuales consideran el aumento en presión sobre el suelo debido al levantamiento de la zapata.
- Para los casos en que toda el área de apoyo de la zapata esté sometida a compresión, se calculará la presión actuante sobre el suelo utilizando la ecuación de esfuerzos siguiente:

$$SB = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.9)}$$

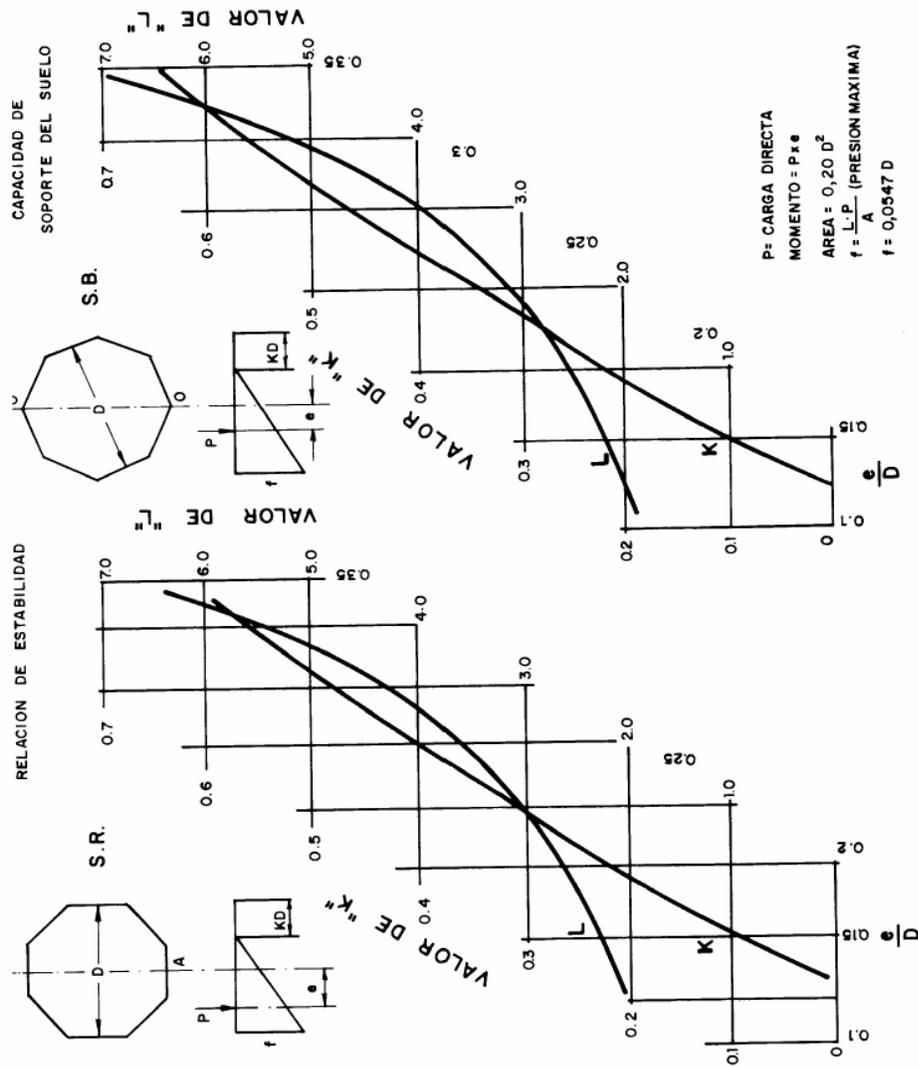


Figura 2.13. Factor de Seguridad Contra Volcamiento  $D/2e$ .

### 2.13 Estructura de Soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200.

Cuando los equipos o recipientes empleados comúnmente en las industrias petroleras o petroquímicas se consideran no auto-soportables, se debe a que estos por si mismos no son capaces de resistir las cargas de vientos, sismos, peso de operación, etc., no poseen estabilidad.

La Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200 es un recipiente vertical que posee una configuración típica, debido a que se encuentra soportada por un tubular

denominado falda, que es considerada una estructura de baja hiperestaticidad. Con el fin de evitar una falla en la falda de la unidad de fraccionamiento, se hace necesario, la utilización de una estructura de soporte que además de conferirle al sistema unas mejores propiedades de resistencia a las acciones y cargas al actuar como cimentación, se utiliza como edificación para alojar sus equipos principales. Estas estructuras no involucran diseño complicados, por lo general son estructuras ligeras prefabricadas, conformadas por perfiles estructurales de acero WF (Wide Flange), IPE, ángulos, tubos estructurales, rejillas, entre otros.

#### **2.14 Métodos de Cálculo de Esfuerzo.**

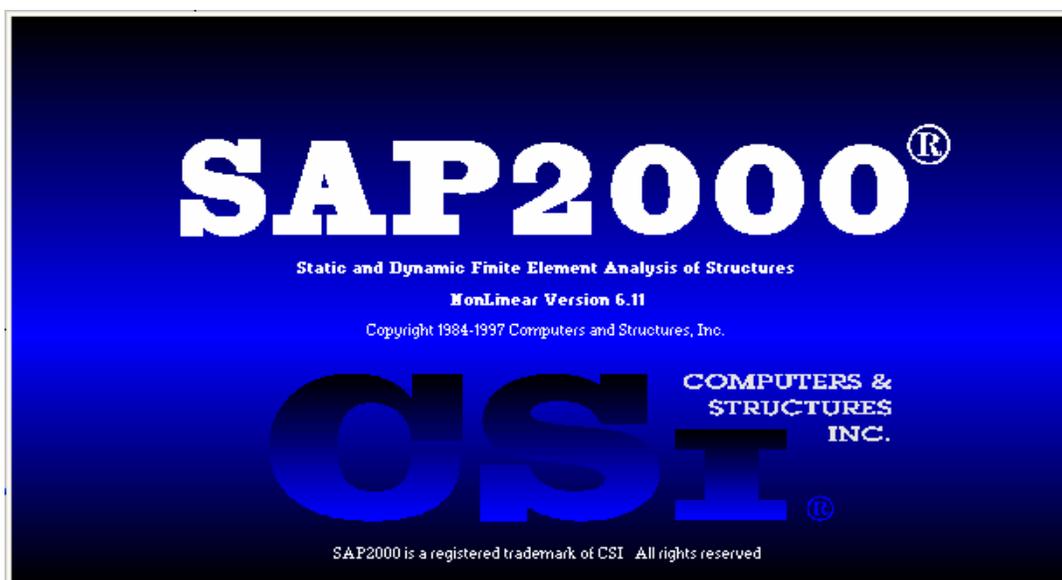
Existen muchos métodos empleados para la determinación de los esfuerzos en los miembros de una estructura como por ejemplo: el método de las uniones o el método de las secciones, los cuales se basan en la división de la estructura en partes, para realizar el estudio de cada una de éstas considerándolas cuerpos rígidos y de esta manera, determinar las fuerzas externas que actúan sobre ellos, tomando en cuenta que la armadura en su conjunto está en equilibrio entonces, por consecuencia, cualquier parte de ella debe estarlo. Considerando el hecho de que la estructura de soporte de la Columna C-200 contiene un número considerable de vigas, se puede decir, que este procedimiento se tornaría bastante laborioso.

Con la finalidad de reducir la labor tediosa del cálculo de los esfuerzos en la vigas y pórticos de la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200, se propone el estudio de un modelo matemático que formule la situación real a la que será sometida la estructura, de forma idealizada, adecuada para realizar una simulación, empleando el programa SAP 2000 NonLinear, software desarrollado por la empresa “Computers & Structures Inc. (GSI)”.

El modelo matemático y computacional de la estructura se regulará bajo los reglamentos y códigos de construcción. En este caso particular se empleará la Norma COVENIN MINDUR 2002, “Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones”, de la Dirección General Sectorial de Edificaciones del Ministerio del Desarrollo Urbano, para estipular las acciones y cargas que deben ser aplicadas sobre los entresijos para estudiar el modelo.

En los casos en que las acciones y solicitaciones empleadas modifiquen las características geométricas de la estructura de soporte y propiedades mecánicas de los materiales o las condiciones de vinculación, en forma significativa, el modelo representará dichos cambios en el estado de tensiones y deformaciones, facilitando la evaluación y adecuación de la estructura o sus componentes para el dimensionamiento definitivo de las secciones de los elementos estructurales.

### 2.15 SAP 2000 NonLinear.

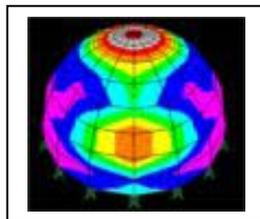


**Figura 2.14.** Presentación del programa SAP 2000.

Los simuladores son paquetes especiales de computación, a través de los cuales se pueden simular o diseñar plantas, estructuras, piezas e infinidad de elementos empleando para ello un modelo matemático. El SAP 2000 NonLinear es un programa diseñado por la Compañía “Computers & Structures Inc. (CSI)”, utilizado para realizar análisis estáticos y/o dinámicos de estructuras a través de método de conocido como Elementos Finitos.

En este proceso, se modifica la estructura con elementos finitos (vigas, barras, placas u otros sólidos) descomponiendo la estructura en un grupo de puntos nodales y se conectarán estos

con los elementos finitos que mejor representan la estructura real. Se aplican cargas y restricciones sobre los elementos, que después, distribuyen las cargas a estos puntos o los fija según sea el caso. Después, en el programa de elementos finitos se ensamblan todos los datos en ecuaciones lineales simultáneas y las resuelve para los desplazamientos desconocidos y, luego, las cargas y esfuerzos internos, según se requiera.



**Figura 2.15.** Representación de Fuerzas Internas en un Elemento.

Las características que ofrece este programa SAP 2000 se presentan a continuación:

- Capacidad del programa: ningún límite práctico
- Tipos de Análisis que puede realizar: estático, espectro de respuesta dinámico, análisis no lineal dinámico y de puentes.
- Elementos a los cuales se les puede analizar: estructuras, conchas, planos, sólidos, no sólidos, y NLLINK (como amortiguamiento externo, separadores de bases, elementos huecos y de enganche).
- Normas diseño de acero (AISC-ASD89, AISC-LRFD93, BS5950 90, CISC 95, EUROCODE 3-1992).
- Normas de diseño en concreto (ACI 318-95, BS8110 89, CAN3-A23.2-M84, EUROCODE 2-1991).

## **2.16 Diseño de Tuberías.**

Esta sección establece las reglas generales y delinea los requerimientos básicos a ser utilizados para el dimensionamiento de las líneas de tuberías empleadas en el proceso de fraccionamiento de gasolina residual descrito en la sección 2.7, bajo las normas ASME B 31.3.

Aún cuando la mayor parte de la información contenida en este proyecto está enfocada hacia el empleo de tubería nueva, se debe tomar en consideración, que como se trata de la remodelación de parte del proceso, los factores de económicos y de decisión abarcan la utilización de parte de la tubería que se encuentra instalada.

### **2.16.1 Selección de Tuberías.**

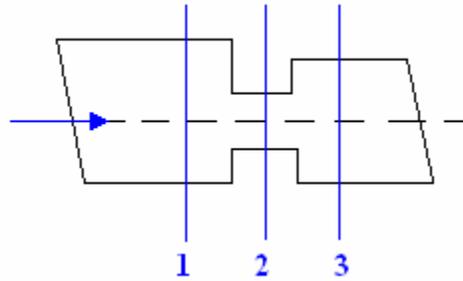
Las principales variables en la selección de tuberías son: la temperatura, presión, corrosión y costo. La corrosión es un problema complejo, que no puede ser resuelto por una simple referencia o unas tablas diseñadas para hacer una selección rápida del presunto material. La resistencia a la corrosión de un material varía, frecuentemente, de una forma radical con la temperatura y el grado de turbulencia.

### **2.16.2 Dimensionamiento de Líneas.**

El dimensionamiento de las líneas se basa en las cantidades y características de flujo normales; sin embargo debe respetarse el efecto de las cantidades de flujo de diseño y máxima. Por consideraciones de resistencia y fortaleza el mínimo tamaño de línea permisible en Refinerías es de ½” nominal y para reducir los problemas que a menudo se tienen con la especificación y compra de tuberías de diámetros “no comerciales” así como para minimizar los requerimientos de inventarios se recomienda no utilizar tuberías en tamaños de 1 ¼”, 2 ½”, 3 ½” y 5”.

La Ecuación de la Continuidad se cumple para fluidos incompresibles en movimiento como consecuencia del principio de la conservación de las masas y nos dice que la masa de fluido por unidad de tiempo que atraviesa cualquier sección de un conducto permanece constante. El caudal es igual al área por la velocidad ( $Q = A.V = \text{constante}$ ).

En la Figura 2.16 se puede observar un tramo de tubería con tres diámetros diferentes. Según la ecuación de la continuidad el caudal permanece constante en las tres secciones aún variando el área.



**Figura 2.16.** Continuidad de Caudal.

Para que esta proporción se cumpla, al aumentar el área de una tubería se reduce la velocidad y viceversa. Esta propiedad nos permite, en ciertas ocasiones, variar el diámetro de una tubería a fin de mantener ciertas velocidades recomendadas.

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = A_3 \cdot V_3 \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.10)}$$

### 2.16.2.1 Fluidos en Fase Líquida.

La ecuación 2.11 es empleada para determinar el tamaño de líneas para fluidos líquidos, para lo cual se requiere especificar el caudal  $Q$  en  $\text{pie}^3/\text{s}$ , y suponer una velocidad según sea el servicio para el cual se utiliza la línea. De esta forma se presentan tres posibles casos:

- **Succión de Bombas:** se debe mantener una velocidad entre 3 y 6,6  $\text{pie}/\text{seg}$  (1 y 2  $\text{m}/\text{s}$ ), para evitar la sedimentación de sólidos.
- **Descarga de Bombas:** se debe asumir una velocidad entre 3 y 10  $\text{pies}/\text{s}$  (1 y 3  $\text{m}/\text{s}$ ).
- **Flujo por Gravedad:** asumir los mismos valores de velocidad de la succión de bombas, considerando además 0,20  $\text{psi}$ . como máximo valor del criterio de caída de presión.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Donde:

$D$  = Diámetro externo del tubo.

$Q$  = Caudal  $\rightarrow$  [ $\text{pie}^3/\text{s}$ ].

$V$  = velocidad del fluido  $\rightarrow$  [ $\text{pie}/\text{s}$ ].

### 2.16.2.2 Fluidos en Fase Gaseosa.

En el caso de fluidos en fase gaseosa, el valor del diámetro externo de la línea es función de flujo másico y la densidad del fluido como se muestra en la ecuación 2.12.

$$D = \sqrt{\frac{4xm}{\rho x V x \pi}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Donde:

$m$  = Flujo másico  $\rightarrow$  [lb/s].

$\rho$  = Densidad  $\rightarrow$  [lb/pie<sup>3</sup>].

$V$  = Velocidad del fluido  $\rightarrow$  [pie/s].

A diferencia de los fluidos en fase líquida, la velocidad de los fluidos en fase gaseosa en las tuberías o líneas de proceso deben estar comprendidas entre 33 y 65 pie/s (10 y 20 m/s).

### 2.16.2.3 Fluidos Bifásicos.

Prácticamente en todas las aplicaciones de flujo en dos fases que se encuentran en tuberías de proceso de unidades de refinería, el flujo está a velocidades relativamente altas dentro del régimen de flujo anular, rocío o espuma. En consecuencia se puede decir que la caída de presión por fricción y el tipo de régimen de flujo no se ven afectados, a esas velocidades, por la orientación de la tubería. En el caso de diseño de líneas de flujo bifásico ascendentes tales como alimentación a columnas, retornos de rehervidores, etc., se debe mantener velocidades lo suficientemente altas para evitar el patrón de flujo denominado “slug flow”. Normalmente, se puede asegurar un patrón de flujo diferente como lo es el anular o neblina manteniendo la velocidad en pie/s aproximadamente igual a 60 dividido por la raíz cuadrada de la densidad de la mezcla en lb/pie<sup>3</sup>.

$$V = \frac{60}{\sqrt{\rho_{mezcla}}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.13)}$$

La densidad de la mezcla se puede obtener a través de la ecuación 2.14, extraída del paper emitido por Society of Petroleum Engineers of AIME, 1972.

$$\rho_{mezcla} = \rho_l x_{HI} + \rho_g x(1 - HI) \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.14)}$$

Donde:

$\rho_l$  = Densidad de la fracción de líquido en lb/pie<sup>3</sup>.

$\rho_g$  = Densidad de la fracción en fase gaseosa en lb/pie<sup>3</sup>.

HI = Fracción del fluido en fase líquida.

### 2.16.3 Determinación del Espesor de Pared de la Tubería.

Los diferentes tamaños de tubería tienen un diámetro exterior constante, por lo que a medida que se incrementa el espesor de pared se reduce el área de flujo. Para fines de diseño, el espesor mínimo de la pared del tubo exigido por la Norma ASME B 31.3, que ha de emplearse en las tuberías a distintas presiones y con temperaturas que no excedan las de los diversos materiales indicados en el Apéndice 5, debe determinarse por la ecuación 2.15.

$$tm = \frac{PD}{2(SE + Py)} + A \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Donde:

tm = Espesor mínimo admisible → [pulgadas].

P = Presión interna máxima de servicio → [lb/pulg<sup>2</sup>].

D = Diámetro externo del tubo → [pulgadas].

S = Esfuerzo máximo admisible en el material debido a la presión interna → [lb/pulg<sup>2</sup>].

E = Factor de calidad.

y = Un coeficiente, cuyos valores se dan en la Tabla 2.7.

A = Margen que se añade para el roscado, resistencia mecánica y corrosión → [pulgadas].

Tabla 2.7. Valores de y.

Material	Temperatura (°C)					
	482 y menos	510	538	566	593	621 y más
Aceros ferríticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros austeníticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7

En la Tabla 2.8, se obtienen los valores de A, correspondientes al margen adicional que se debe incluir al espesor mínimo admisible por efecto de la resistencia mecánica, corrosión, etc. El Factor de calidad E se asigna una vez seleccionado el material empleado para la tubería.

Tabla 2.8. Valores de A.

Tipo de Tubo	Valores de A, (pulg).
Tubo de fundición de hierro, fundido centrífugamente	0,14
Tubo de fundición de hierro, fundido en foso de colada	0,18
Tubo roscado de acero, de hierro dulce o no ferroso 3/8" y menos 1/2" y más	0,05 Profundidad de la rosca
Tubo ranurado de acero, de hierro dulce o no ferroso	Profundidad de la ranura
Tubo común o especial de extremos lisos, de acero o de hierro dulce 1" y menos 1 1/4" y más	0,05 0,065
Tubo común o especial de extremos lisos no ferrosos	0,000

### 2.17 Pérdidas de Carga en Tuberías.

Las pérdidas son la suma de todos los términos que representan formas de energía no utilizables. La cantidad de pérdida de altura o presión para un sistema dado depende de las características del líquido que se esté manejando (densidad y viscosidad), así como también del tamaño de la tubería, rugosidad que está presente a lo largo de la superficie interior, caudal que se esté manejando, entre otros. La rugosidad depende entonces del tipo de material y por supuesto de su acabado. Para efectos de cálculos cada material tiene su rugosidad determinada en el laboratorio.

Las pérdidas primarias se producen por el contacto entre el fluido y el material de la tubería por efecto de la fricción y son proporcionales a la rugosidad de la tubería. Las mismas tienen lugar en flujo uniforme, por tanto se distribuyen por la longitud de la tubería de sección constante. La ecuación básica de las pérdidas de carga por Darcy-Weisbach es:

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.16)}$$

Donde,

$f$  = Coeficiente de fricción

$L$  = Longitud de la tubería de igual diámetro

$V$  = Velocidad del fluido

$D$  = Diámetro de la tubería

$G$  = Gravedad

El coeficiente de fricción ( $f$ ) varía según el tipo de flujo que se esté manejando. Para flujo laminar ( $Reynolds < 2000$ ) la rugosidad o condición interior de la tubería no incide directamente en la pérdida de carga por fricción (excepto en secciones con cambios de dirección), el factor de fricción se obtiene mediante la ecuación 2.17.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.17)}$$

Donde,  $Re$  = número de Reynolds.

Para flujo turbulento ( $Reynolds > 4000$ ), el factor de fricción se encuentra afectado por la rugosidad de las paredes interiores de la tubería y el número de Reynolds. Éste puede ser determinado por la ecuación 2.18 desarrollada por Colebrook-White (1939):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{Ks}{3,7Di} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.18)}$$

Donde,

Re = Número de Reynolds (adimensional)

$f$  = Factor de fricción

$k_s$  = Rugosidad absoluta [m]

$D_i$  = Diámetro interior de la tubería [m]

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{K_s}{3,7 D_i} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.19)}$$

Como el factor de fricción  $f$  no puede expresarse explícitamente de la ecuación de White-Colebrook, entonces, para el cálculo de este factor se necesita iterar la ecuación, lo cual se hace un trabajo extenso, por esto la ecuación ha sido representada por la ecuación (2.19) propuesta por Swamee o gráficamente sobre cartas desarrolladas por L.F. Moody, esta gráfica muestra la relación entre el factor de fricción y el número de Reynolds (Re), y la rugosidad relativa ( $k_s/D_i$ ), en donde  $k_s$  es la rugosidad absoluta y  $D_i$  es el diámetro de la tubería.

Hay que tomar muy en cuenta que las pérdidas de carga únicamente se pueden calcular en tramos de igual diámetro; cuando éste varía, hay que aplicar todo el procedimiento nuevamente a cada tramo. Una vez hecho el cálculo para todos los tramos se sumarán todas las pérdidas por tramos para encontrar la total.

Las pérdidas secundarias o menores son aquellas producidas por los accesorios que necesariamente debemos colocar en las tuberías para que éstas puedan realizar funciones específicas, estos pueden ser ensanchamientos, codos y curvas, contracciones, tes, válvulas, entradas y salidas de tuberías. Estas pérdidas a diferencia de las primarias se concentran en las inmediaciones del cambio de geometría. Expresamos una pérdida menor en términos de un coeficiente de pérdida  $K$ , definido por la ecuación 2.20.

$$h_{fs} = Kx \frac{V^2}{2g} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.20)}$$

Donde:

$h_{fs}$  = Pérdida de carga secundaria.

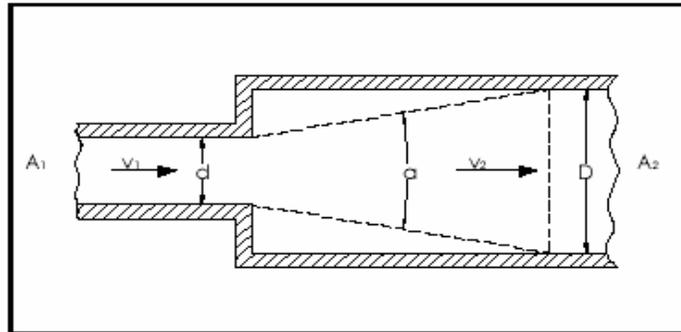
$K$  = Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

$V$  = Velocidad media en la tubería antes del accesorio.

### 2.17.1 Coeficiente Adimensional de Pérdida de Carga “K” para Diversos Accesorios.

De esta forma se muestra el coeficiente de pérdida de carga para cada uno de los diversos accesorios presentes en el sistema de tuberías del proceso de fraccionamiento de gasolina residual.

#### 2.17.1.1 Ensanchamientos.



**Figura 2.17.** Ensanchamiento Brusco y Gradual.

En la Figura 2.17 se aprecian los ángulos y los diámetros representativos para utilizar las ecuaciones. El coeficiente de pérdidas debida a ensanchamientos bruscos y graduales puede expresarse a través de la ecuaciones 2.21 y 2.22.

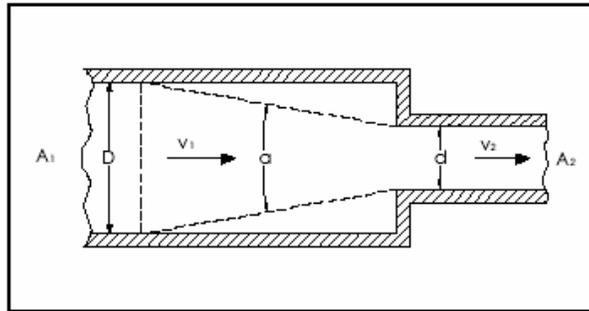
$$\text{Si: } \alpha = 45^\circ \quad k = \frac{2,6x \left( \text{sen} \frac{\alpha}{2} \right) x (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.21)}$$

$$\alpha < 45^\circ = 180^\circ \quad k = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.22)}$$

Donde  $\beta = \frac{d}{D}$

### 2.17.1.2 Contracciones.

En la Figura 2.18 se aprecian los ángulos y los diámetros representativos para utilizar las ecuaciones siguientes. Las contracciones graduales son piezas que están caracterizadas, en general, por pérdidas localizadas de energía de pequeña magnitud.



**Figura 2.18.** Contracción Brusca y Gradual.

El coeficiente de pérdidas debida a ensanchamientos bruscos y graduales puede expresarse empleando las ecuaciones 2.23 y 2.24, según sea el caso del ángulo  $\alpha$  presente en el accesorio.

$$\text{Si: } \alpha = 45^\circ \quad k = \frac{0,8x \left( \text{sen} \frac{\alpha}{2} \right) x (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.23)}$$

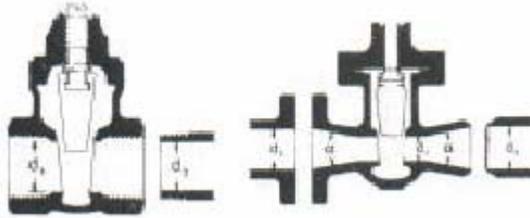
$$\alpha < 45^\circ = 180^\circ \quad k = \frac{0,5x(1 - \beta^2)^2 x \sqrt{\text{sen} \frac{\alpha}{2}}}{\beta^4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.24)}$$

Donde  $\beta = \frac{d}{D}$

### 2.17.1.3 Válvulas.

En este proceso de fraccionamiento de gasolina se pueden encontrar los siguientes tipos de válvulas:

- **Válvulas de Compuerta.**



**Figura 2.19.** Pérdidas en Válvulas de Compuerta.

Los valores de  $b$ ,  $a$ ,  $d$  y  $D$  se muestran en la Figura 2.19 y los valores del coeficiente de pérdida de carga correspondientes a este tipo de válvula se calculan a través de las ecuaciones 2.25 y 2.26, según sea el caso estudiado.

Si:  $\beta=1$ ,  $a = 0$

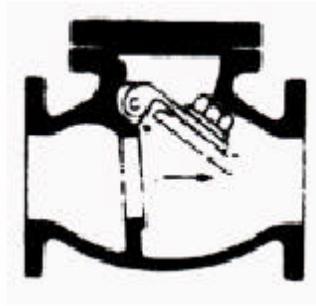
$$K_1 = 8.f_T$$

$$\beta < 1 \text{ y } a = 45^\circ \quad k_2 = \frac{(k_1) + \text{sen} \frac{\alpha}{2} x [0,8.(1 - \beta^2) + 2,6.(1 - \beta^2)^2]}{\beta^4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.25)}$$

$$\beta < 1 \text{ y } 45^\circ < a = 180^\circ \quad k_2 = \frac{(k_1) + 0,5 \cdot \sqrt{\text{sen} \frac{\alpha}{2} x [(1 - \beta^2)]} + (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.26)}$$

- **Válvulas de Retención de Disco Oscilante.**

Las válvulas de retención de disco oscilante mostradas en la Figura 2.20 presentan un coeficiente de pérdida de carga  $K = 50.f_T$  si el disco se encuentra totalmente vertical.



**Figura 2.20.** Válvulas de Retención.

#### 2.17.1.4 Codos y Curvas.

Estos accesorios mostrados en la Figura 2.21, son empleados en los sistemas de tuberías del proceso de fraccionamiento de gasolina residual para cambiar la dirección del fluido y las tuberías. El coeficiente de pérdidas  $K$  se obtiene aplicando las ecuaciones 2.27 y 2.28.



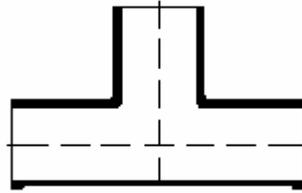
**Figura 2.21.** Codos Estándar.

Para codo de  $90^\circ$ :  $K = 30.f_r$  → Ec. (2.27)

Para codo de  $45^\circ$ :  $K = 16.f_r$  → Ec. (2.28)

#### 2.17.1.5 Tes.

Las Tes son empleadas para dividir un cierto caudal y dirigirlo a diferentes líneas. En la Figura 2.22 se pueden apreciar las características geométricas de una conexión en T, la cual puede ser calculada utilizando las ecuaciones 2.29 y 2.30 según sea el tipo de flujo.



**Figura 2.22.** Conexión en “T”.

Flujo directo  $K = 20.fr$  → Ec. (2.29)

Flujo indirecto  $K = 60.fr$  → Ec. (2.30)

### 2.17.1.6 Entradas y Salidas de Tuberías.

- **Entradas.**

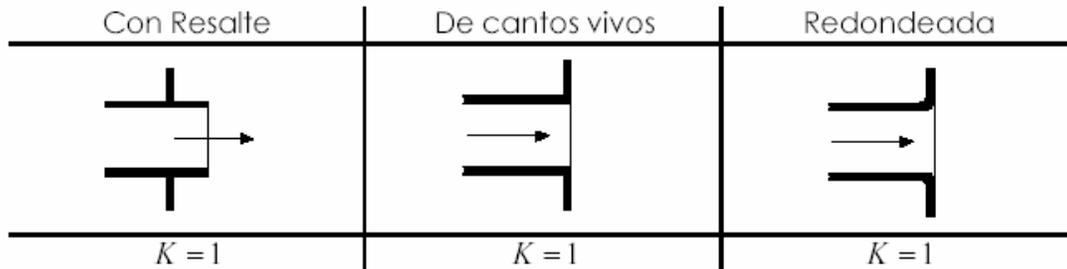
Con resalte hacia el interior	A tope
$K = 0,78$	Los valores de $K$ se obtienen de la tabla 2.9

**Figura 2.23.** Entradas de Tuberías.

**Tabla 2.9.** Valores de  $K$  para Entradas de Tubería a Tope.

$r/d$	$K$
0,00	0,50
0,02	0,28
0,04	0,24
0,06	0,15
0,10	0,09
0,15 y más	0,04

- **Salidas.**



**Figura 2.24.** Salidas de Tuberías.

## 2.18 Carga o Altura Dinámica Total de Bombeo (H ó A.D.T.).

La Altura Dinámica Total de Bombeo representa todos los obstáculos que tendrán que vencer los diferentes fluidos impulsados por bombas (expresados en metros de columna del mismo) para poder llegar hasta el punto específico considerado como el más desfavorable del sistema. La expresión para el cálculo del H ó A.D.T. proviene de la ecuación de Bernoulli y se especifica en la ecuación 2.31.

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_{fsuc} + h_{fdesc} + h_{fs} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.31)}$$

Donde:

H = Carga  $\rightarrow$  [m].

P<sub>2</sub> = Presión en el punto 2  $\rightarrow$  [Pa].

P<sub>1</sub> = Presión en el punto 1  $\rightarrow$  [Pa].

$\gamma$  = Peso específico del fluido  $\rightarrow$  [N/m<sup>3</sup>].

V<sub>2</sub> = Velocidad en el punto 2  $\rightarrow$  [m/s].

V<sub>1</sub> = Velocidad en el punto 1  $\rightarrow$  [m/s].

(Z<sub>2</sub> - Z<sub>1</sub>) = Diferencia de cota entre el nivel de succión y descarga del sistema.

h<sub>fsuc</sub> = Sumatoria de las pérdidas primarias en la tubería de succión.

h<sub>fdesc</sub> = Sumatoria de las pérdidas primarias en la tubería de descarga.

$h_{fs}$  = Sumatoria de las pérdidas secundarias tanto en la tubería de succión como en la de descarga.

### 2.18.1 Cálculo de H.

La ecuación 2.30 de H se ve modificada en función de la configuración de la red y del tipo de succión positiva o negativa (ver Figuras 2.25 y 2.26 ) a la cual estará sometida la bomba. En la medida de lo posible es conveniente colocar la bomba con succión positiva, ya que así se mantiene la misma llena de fluido, a la vez que se le disminuye H, debido a la presión adicional agregada por la altura del líquido.

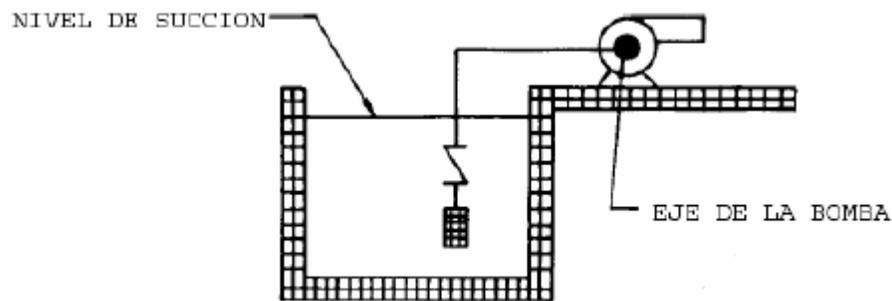


Figura 2.25. Succión Negativa.

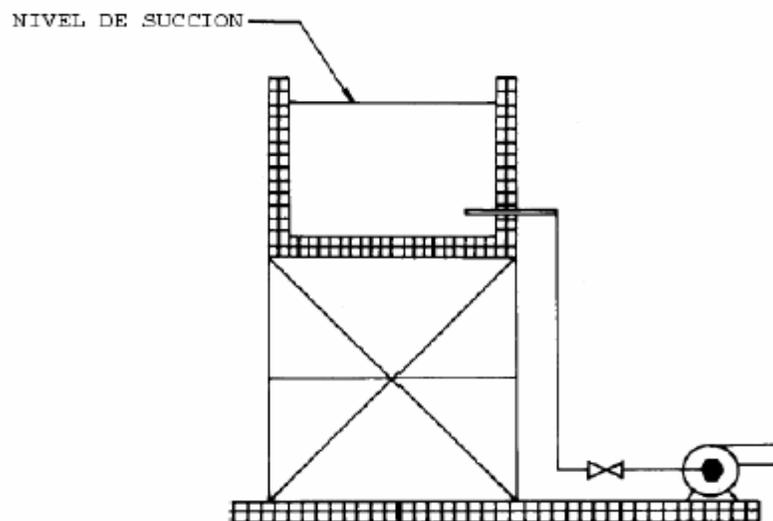
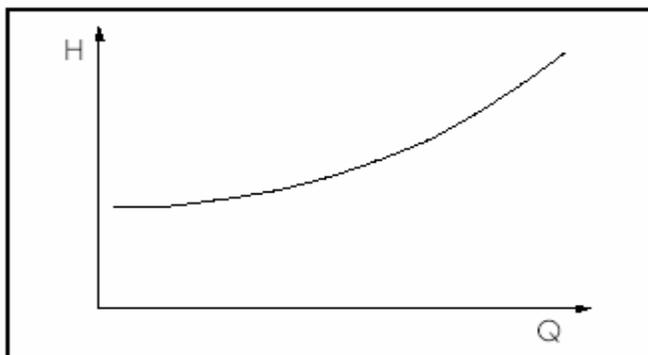


Figura 2.26. Succión Positiva.

Para su cálculo se resuelve la ecuación 2.31, si el resultado es positivo, este será el H que tendrá que generar la bomba para poder movilizar el flujo por ese sistema satisfactoriamente, si este número diera negativo, significa que no se necesita una bomba en el sistema.

### 2.18.2 Curva del Sistema.

Ésta curva suministra información sobre la forma como aumentan las pérdidas por fricción mientras se aumenta el caudal en el sistema. Para hallar esta curva se tiene que resolver la ecuación 2.30 para diferentes caudales, esto dará una curva Q vs H la cual es conocida como curva del sistema y posee la forma general de la Figura 2.27.



**Figura 2.27.** Curva del Sistema.

### 2.18.3 Curvas de la Bomba.

En la Figura 2.28, se aprecian las curvas de funcionamiento de una bomba. La magnitud del caudal y de la altura de bombeo en el punto de máximo rendimiento ( $Q_N$ ,  $H_N$ , señalado con la flecha), se utilizan con frecuencia como valores nominales o de referencia de la bomba. Estas curvas son de especial importancia a la hora de elegir una bomba para un sistema en específico, la llamada curva de la bomba es la Q vs H, ésta al ser interceptada con la curva del sistema a la misma escala da como resultado el punto de operación, que no es más que el punto en el cual trabajaría la bomba en el sistema especificado, este punto detalla la altura de bombeo y el caudal que puede proporcionar dicha bomba funcionando en ese sistema. Con estos datos se puede determinar si la bomba ofrece lo que se requiere para ese sistema.



#### 2.18.4 Carga Neta Positiva de Succión Disponible (NPSH)<sub>d</sub>.

Según la definición de la ISO es la altura total absoluta referida a un plano horizontal que contiene al eje de apertura de succión (bombas horizontales) o al plano inferior del primer impelente (bombas verticales), menos la presión de vapor (absoluta) del líquido bombeado a la temperatura del flujo.

$$(NPSH)_d = \frac{P_1 + P_{atm} - P_v}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - hc - h_{fsuc} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.32)}$$

#### 2.18.5 Carga Neta Positiva de Succión Requerida (NPSH)<sub>r</sub>.

Es la altura total mínima absoluta que se requiere en la succión de la bomba para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la máquina, evitando la posibilidad de la vaporización del líquido en su interior y de la subsiguiente cavitación. El NPSH<sub>r</sub> siempre se expresa en unidades absolutas y para su determinación se utilizan ensayos sobre modelos en laboratorios especializados, con diversos arreglos de los equipos de prueba y medición.

Esta información es dada por el fabricante de la bomba como se muestra en la Figura 2.28. Se debe tener en cuenta siempre que para evitar la cavitación de una bomba se debe cumplir que para un determinado caudal de operación:

$$NPSH_d > NPSH_r \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.33)}$$

Tanto el NPSH requerido como el disponible tienen una relación directa con el caudal.

#### 2.18.6 Cavitación.

Cuando la corriente en un punto de una estructura o de una máquina alcanza una presión igual a la presión de saturación de vapor, el líquido se evapora y se originan en el interior del

líquido cavidades de vapor, de ahí el nombre de cavitación. Estas cavidades o burbujas de vapor arrastradas por la corriente llegan a zonas en que reina una presión muy elevada, y allí se produce una condensación violenta del vapor (implosión). Estas implosiones a su vez producen una elevación local de la presión que puede sobrepasar los 1.000 bares. En el interior del fluido existen, pues, zonas en que reina un gradiente fuerte de presiones que aceleran las burbujas y producen un impacto en el contorno (Venturi, bomba, turbina, etc.). La cavitación en las bombas produce dos efectos perjudiciales: disminución del rendimiento y erosión.

En sistemas de líquidos a presión los principales factores que determinan la posibilidad de ocurrencia de la cavitación son los siguientes:

- Energía total y presión del flujo de entrada, H y P1, respectivamente.
- Presión aguas abajo, P2.
- Presión de vapor del líquido a la temperatura del flujo, Pv.
- Características hidromecánicas de los dispositivos y geometría de las piezas especiales.
- Densidad del líquido, ρ.

Los índices más utilizados para caracterizar la cavitación se muestran en las ecuaciones 2.34 y 2.35.

$$\sigma = \frac{P_2 - P_v}{P_1 - P_2} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.34)}$$

$$\sigma = \frac{P_2 - P_v}{P_1 + \rho \cdot \frac{V^2}{2} - P_2} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.35)}$$

Otro de los índices de cavitación utilizados es el número de Thoma que es un parámetro que vincula las condiciones del flujo en un punto determinado (P1 ó P2) con el fenómeno. Dicho índice está definido por la ecuación 2.36.

$$\sigma = \frac{P - P_v}{\rho \cdot \frac{V^2}{2}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.36)}$$

Donde

$\sigma$  = Índice de cavitación del flujo.

P = Presión absoluta en el sitio de interés  $\rightarrow$  [kgf/m].

P<sub>v</sub> = Presión absoluta de vapor del agua  $\rightarrow$  [kgf/m]

$\rho$  = Densidad del agua  $\rightarrow$  [kg/m<sup>3</sup>]

V = Velocidad promedio del flujo en el sitio de interés  $\rightarrow$  [m/s].

En este índice, el numerador representa a las fuerzas que resisten la desorganización en la continuidad del flujo, mientras que el denominador es representativo de aquellas que promueven el rompimiento del orden, si el número de Thoma se acerca a cero es susceptible a la cavitación.

## **CAPÍTULO III**

Cálculo del Peso  
de los Equipos a Trasladar.

### 3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS A TRASLADAR.

En este tercer capítulo se presentan las dimensiones de los equipos a trasladar desde la sede de la Planta de Solventes Ecológicos GREENSOL, C.A., hasta su nueva sede en la empresa Ingramelca Derivados del Petróleo, S.A, además se realiza el cálculo de sus pesos considerando cada una de sus partes y materiales de fabricación. En la Tabla 3.1 se identifican estos equipos, junto con las características necesarias para efectuar los cálculos.

**Tabla 3.1. Equipos a Trasladar y sus Características.**

IDENTIFICACIÓN	SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
C-200	Columna de Fraccionamiento	Tipo: de platos Válvula/Glitsch. Diámetro: 650 mm. Longitud: 13.860 mm. Número de platos: 33 Espaciado entre platos: (250 / 350 / 400) mm. Material de construcción: A 240 TP 304
E-200	Rehervidor a termosifón vertical y cabezal fijo	Número de tubos: 92 Diámetro de tubo: 3/4" Longitud de tubo: 2.000 mm. Diámetro de carcasa: 305 mm. Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304
E-201	Condensador tubo y carcasa de cabezal fijo	Número de tubos: 114 Diámetro de tubo: 3/4" Longitud de tubo: 3.000 mm. Diámetro de carcasa: 350 mm. Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304
E-202	Precalentador de tubo y carcasa de cabezal fijo	Número de tubos: 36 Diámetro de tubo: 1" Longitud de tubo: 3.000 mm. Diámetro de carcasa: 258 mm. Material de construcción: Acero inoxidable AISI 316L
E-203	Precalentador de tubo y carcasa de cabezal fijo	Número de tubos: 114 Diámetro de tubo: 3/4" Longitud de tubo: 3.000 mm. Diámetro de carcasa: 350 mm. Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304
E-204	Precalentador de tubo y carcasa de cabezal fijo	Número de tubos: 136 Diámetro de tubo: 1" Longitud de tubo: 3.000 mm. Diámetro de carcasa: 500 mm. Material de construcción: Acero al carbono A-515-60
V-200	Acumulador de tope	Diámetro: 1.200 mm. Longitud: 2.466 mm. Capacidad: 2 m <sup>3</sup> . Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304

### 3.1 Cálculo del Peso de los Equipos.

Empleando una hoja de cálculo se computan los volúmenes de acero de cada uno los componentes de los equipos tomando como datos los suministrados en la Tabla 3.1 y en las hojas de datos mecánicos de la sección 2.6. Considerando la densidad de los materiales de fabricación y la masa de los fluidos de operación, se determinarán el Peso vacío y el Peso en operación de cada equipo, los cuales serán empleados para la selección del equipo de izamiento y el estudio de la estructura de soporte respectivamente.

#### 3.1.1 Nomenclatura y Símbolos.

$e$  = Espesor  $\rightarrow$  [mm].

$h$  = Altura.  $\rightarrow$  [mm].

$hcil$  = Altura del cilindro.  $\rightarrow$  [mm].

$he$  = Altura exterior.  $\rightarrow$  [mm].

$hi$  = Altura interior.  $\rightarrow$  [mm].

$hp$  = Altura de un plato.  $\rightarrow$  [mm].

$hse$  = Altura de un segmento esférico.  $\rightarrow$  [mm].

$M$  = Masa.  $\rightarrow$  [Kg].

$Re$  = Radio externo.  $\rightarrow$  [mm].

$Ri$  = Radio interno.  $\rightarrow$  [mm].

$V$  = Volumen.  $\rightarrow$  [m<sup>3</sup>].

$Vcil$  = Volumen de un cilindro.  $\rightarrow$  [m<sup>3</sup>].

$Vce$  = Volumen de un casco esférico.  $\rightarrow$  [m<sup>3</sup>].

$Vext$  = Volumen externo.  $\rightarrow$  [m<sup>3</sup>].

$Vint$  = Volumen interno.  $\rightarrow$  [m<sup>3</sup>].

$Vt$  = Volumen total.  $\rightarrow$  [m<sup>3</sup>].

$\varnothing$  = Diámetro.  $\rightarrow$  [mm].

$\varnothing_e$  = Diámetro externo.  $\rightarrow$  [mm].

$\varnothing_i$  = Diámetro interno.  $\rightarrow$  [mm].

$\varnothing_p$  = Diámetro de un plato.  $\rightarrow$  [mm].

$\varnothing_{m\acute{a}x}$  = Diámetro máximo.  $\rightarrow$  [mm].

$\rho$  = Densidad de.  $\rightarrow$  [Kg/m<sup>3</sup>].

### 3.1.2 Ecuaciones.

$$\text{Volumen de un cilindro} = \left[ \left( \frac{\phi^2 \pi}{4} \right) h \right] \rightarrow \text{Ec. (3.1)}$$

$$\text{Volumen de un cilindro hueco} = \left[ \left( \frac{(\phi e^2 - \phi i^2)}{4} \right) h \pi \right] \rightarrow \text{Ec. (3.2)}$$

$$\text{Volumen de un segmento esférico} = \frac{1}{6} h \pi (3R^2 + h^2) \rightarrow \text{Ec. (3.3)}$$

$$\text{Volumen de un casquete esférico} = \frac{1}{6} [h e \pi (3R \cdot e^2 + h e^2) - h i \pi (3R i^2 + h i^2)] \rightarrow \text{Ec. (3.4)}$$

$$\text{Masa} = V \times \rho \rightarrow \text{Ec. (3.5)}$$

### 3.1.3 Información adicional.

$$\text{Densidad del Acero 316L} = 7.950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} .$$

$$\text{Densidad del Acero 304} = 7.900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} .$$

$$\text{Densidad del Acero al Carbono} = 7.800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} .$$

$$\text{Densidad absoluta del agua a } 15,6 \text{ }^\circ\text{C} = 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad promedio de Aceites} = 914 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad de la Gasolina Residual} = 755,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad de IDP-200 @ } 108 \text{ }^\circ\text{C} = 667 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad del Producto de Fondo C-200 @ } 150 \text{ }^\circ\text{C} = 678 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad de IDP-250 @ } 135 \text{ }^\circ\text{C} = 694 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad de IDP-300 @ } 100 \text{ }^\circ\text{C} = 723 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### 3.1.4 Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200.

La Columna de Fraccionamiento C-200 se encuentra constituida por seis secciones cilíndricas unidas por pernos, por lo cual, a través de los datos recabados de la Figura 2.4 de nombre Hoja de Datos de la Columna C-200 y empleando las ecuaciones de la sección 3.2.2, se calculará el peso de cada una de estas secciones por separado y posteriormente se realizará la suma de los pesos de las mismas para obtener el peso global de la Columna C-200 mostrada en la Figura 3.1. Un dato constante empleado en el cálculo del peso las secciones de la columna es el volumen de acero de los platos:

$$\varnothing_p = 650 \text{ mm.}$$

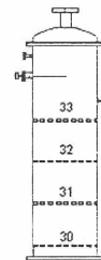
$$h_p = 3 \text{ mm.}$$

$$\text{Volumen de un plato} = \left[ \left( \frac{\varnothing_p^2 \pi}{4} \right) h_p \right] = \left[ \left( \frac{(0,65)^2 \pi}{4} \right) (0,003) \right] = 9,955 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

En las Tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7, se muestran tres columnas con valores; una primera que corresponde a los datos geométricos que posee cada sección; la segunda, en la cual se especifican las variables que se introducen en las ecuaciones de la sección 3.3.2 para realizar los cálculos correspondientes; y una tercera columna donde se presentan los resultados de los volúmenes y masas de acero y el peso total de cada sección empleado para calcular el peso total de la Columna de Fraccionamiento C-200.

**Tabla 3.2. Dimensiones y Peso de la Sección I de la Columna de Fraccionamiento C-200.**

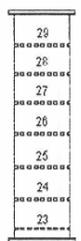
Sección I					
Datos		Variables		Resultados	
$\varnothing$	650 mm	$\varnothing_e$	650 mm	Vce	$8,39 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
hcil	2.050 mm	$\varnothing_i$	644 mm	Vcil	$1,25 \times 10^{-2} \text{ m}^3$
hse	100 mm	Re	325 mm	Vt platos	$3,98 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
e	3 mm	Ri	322 mm	V acero	$1,73 \times 10^{-2} \text{ m}^3$
Nº Platos	4	he	100 mm	M acero	137,45 Kg
V Plato	$9,96 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	hi	97 mm	Peso	1.347 N



Las secciones I y VI corresponden a los cabezales superior e inferior respectivamente, de la Columna de Fraccionamiento C-200. Es por esta razón que se presenta en las Tablas 3.2 y 3.7 un dato adicional en relación a las demás tablas (hse), definido como la altura del segmento esférico que conforma los domos superior e inferior de la columna.

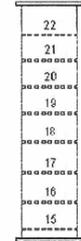
**Tabla 3.3. Dimensiones y Peso de la Sección II de la Columna de Fraccionamiento C-200**

Sección II					
Datos		Variables		Resultados	
Ø	650 mm	Øe	650 mm	Vcil	$1,83 \times 10^{-2} m^3$
hcil	3.000 mm			Vt platos	$6,97 \times 10^{-3} m^3$
e	3 mm	Øi	644 mm	V acero	$2,53 \times 10^{-2} m^3$
Nº Platos	7			M acero	201,14 Kg
V Plato	$9,96 \times 10^{-4} m^3$	hcil	3.000 mm	Peso	1.971,12 N



**Tabla 3.4. Dimensiones y Peso de la Sección III de la Columna de Fraccionamiento C-200**

Sección III					
Datos		Variables		Resultados	
Ø	650 mm	Øe	650 mm	Vcil	$1,83 \times 10^{-2} m^3$
hcil	3.000 mm			Vt platos	$7,97 \times 10^{-3} m^3$
e	3 mm	Øi	644 mm	V acero	$2,63 \times 10^{-2} m^3$
Nº Platos	8			M acero	209,09 Kg
V Plato	$9,96 \times 10^{-4} m^3$	hcil	3.000 mm	Peso	2.057,02 N



**Tabla 3.5. Dimensiones y Peso de la Sección IV de la Columna de Fraccionamiento C-200**

Sección IV					
Datos		Variables		Resultados	
Ø	650 mm	Øe	650 mm	Vcil	$1,22 \times 10^{-2} m^3$
hcil	2.000 mm			Vt platos	$5,98 \times 10^{-3} m^3$
e	3 mm	Øi	644 mm	V acero	$1,82 \times 10^{-2} m^3$
Nº Platos	6			M acero	144,70 Kg
V Plato	$9,96 \times 10^{-4} m^3$	hcil	2.000 mm	Peso	1.417,96 N



Tabla 3.6. Dimensiones y Peso de la Sección V de la Columna de Fraccionamiento C-200

Sección V					
Datos		Variables		Resultados	
Ø	650 mm	Øe	650 mm	Vcil	$1,22 \times 10^{-2} m^3$
hcil	2.000 mm			Vt platos	$7,97 \times 10^{-3} m^3$
e	3 mm	Øi	644 mm	V acero	$2,02 \times 10^{-2} m^3$
Nº Platos	8			M acero	160,60 Kg
V Plato	$9,96 \times 10^{-4} m^3$	hci	2.000 mm	Peso	1.573,90 N

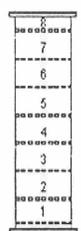
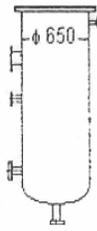


Tabla 3.7. Dimensiones y Peso de la Sección VI de la Columna de Fraccionamiento C-200

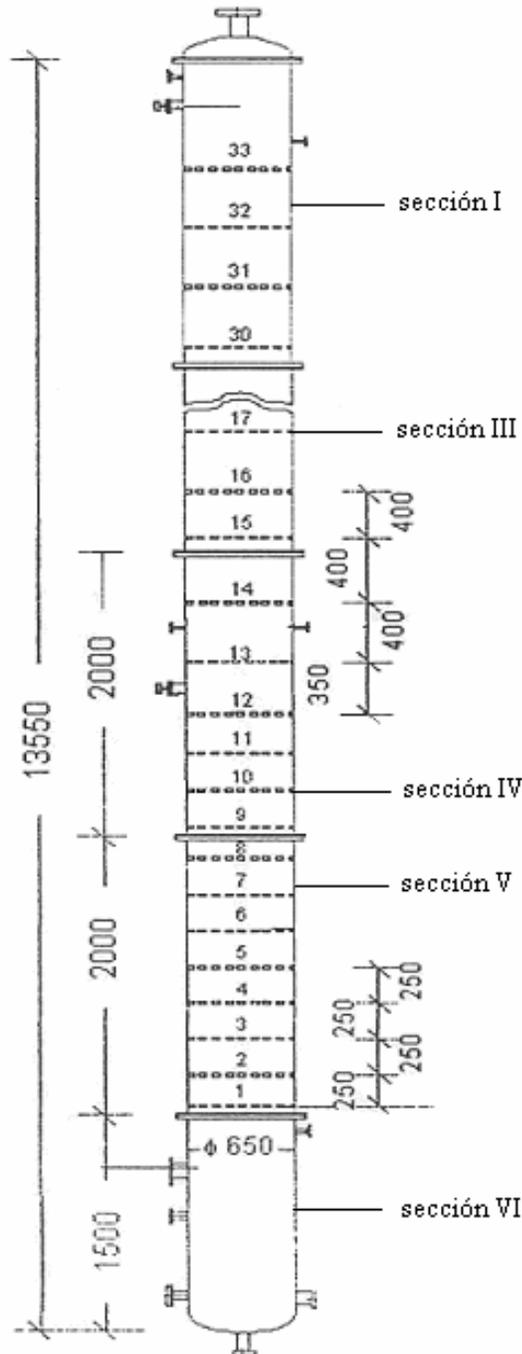
Sección VI					
Datos		Variables		Resultados	
Ø	650 mm	Øe	1.400 mm	Vce	$8,39 \times 10^{-4} m^3$
hcil	1.400 mm	Øi	644 mm	Vcil	$5,58 \times 10^{-3} m^3$
hse	100 mm	Re	325 mm	Vt platos	$0 m^3$
e	3 mm	Ri	322 mm	V acero	$6,42 \times 10^{-3} m^3$
Nº Platos	0	he	100 mm	M acero	51,04 Kg
V Plato	$9,96 \times 10^{-4} m^3$	hi	97 mm	Peso	500,19 N



El volumen, la masa de acero y el peso vacío de la Columna de Fraccionamiento C-200 (ver Figura 3.1), se muestran en la Tabla 3.8 como efecto de la suma de los resultados parciales correspondientes a cada sección de la columna, suministrados en las tablas anteriores. En esta tabla se señala además la masa de gasolina residual que se requiere para la operación de la unidad de fraccionamiento y el peso en operación de la misma, que será empleado posteriormente para el estudio de la estructura de soporte.

Tabla 3.8. Pesos de la Columna de Fraccionamiento C-200.

<b>Volumen total de Acero Columna C-200</b>	$0.114 m^3$
<b>Masa total de Acero, Columna C-200</b>	904,07 Kg
<b>Masa de Gasolina Residual</b>	246,26 Kg
<b>Peso Vacío de la Columna C-200</b>	8.860 N
<b>Peso en Operación de la Columna C-200</b>	11.271,37 N



**Figura 3.1.** Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200.

### 3.1.5 Rehervidor E-200.

El rehervidor E-200 posee un peso vacío de 4.335,52 N y un peso en operación de 5.565,03 N como se remarca en la Tabla 3.9. Estos valores se obtienen de sustituir los datos presentados en la primera columna de esta tabla en las ecuaciones de la sección 3.1.2, conociendo que el material de fabricación del rehervidor (acero 304) posee una densidad de  $7.900 \frac{kg}{m^3}$  y los fluidos que intercambian calor en su interior son aceite térmico y producto de fondo de la Columna C-200.

**Tabla 3.9. Dimensiones y Pesos del Rehervidor E-200.**

Rehervidor E-200			
Datos		Resultados	
Ø de carcasa	305 mm	V acero de la carcasa	$9,23 \times 10^{-3} m^3$
Espesor por corrosión, (e)	4 mm	V acero de los cabezales	$4,01 \times 10^{-3} m^3$
Longitud de carcasa y tubos	2.000 mm	V acero de tubos de intercambio	$3,95 \times 10^{-2} m^3$
Nº de deflectores	5	V acero de los tubos espaciadores	$3,24 \times 10^{-3} m^3$
Altura de los cabezales	500 mm	Vt de acero del Rehervidor	$5,60 \times 10^{-2} m^3$
Cantidad de cabezales	2	M de acero del Rehervidor	442,40 Kg
Nº de tubos de intercambio	92	M de Aceite	57,86 Kg
Ønominal de tubos de intercambio	$\frac{3}{4}''$	M de Fondo de Columna C-200	67,80 Kg
Nº de tubos espaciadores	15	Peso Vacío del Rehervidor	4.335,52 N
Ønominal de tubos espaciadores	$\frac{3}{8}''$	Peso en Operación del Rehervidor	5.565,03 N

### 3.1.6 Condensador de Producto de Tope E-201.

El Condensador E-201 está construido en acero 304 es empleado para el intercambio de calor entre el producto de tope IDP-200 y agua de enfriamiento. Conociendo lo anteriormente mencionado junto con los datos suministrados en la Tabla 3.10 y empleando las ecuaciones de la sección 3.1.2, se obtiene como resultado los volúmenes de acero de los componentes y masas necesarias para calcular el peso vacío y el peso en operación del Condensador E-201 resaltados al final de la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Dimensiones y Pesos del Condensador E-201.

Condensador de Producto de Tope E-201			
Datos		Resultados	
Ø de carcasa	344 mm	V acero de la carcasa	$9,20 \times 10^{-3} m^3$
Espesor por corrosión, (e)	3 mm	V acero de los cabezales	$1,64 \times 10^{-3} m^3$
Longitud de carcasa	2.300 mm	V acero de tubos de intercambio	$7,34 \times 10^{-2} m^3$
Longitud de tubos	3.000 mm	V acero de los tubos espaciadores	$1,95 \times 10^{-3} m^3$
Nº de deflectores	8	Vt de acero del Condensador	$8,62 \times 10^{-2} m^3$
Altura de los cabezales	500 mm	M de acero del Condensador	680,98 Kg
Nº de cabezales	2	M de Producto de Tope IDP-200	112,43 Kg
Nº de tubos de intercambio	114	M de Agua de Enfriamiento	118 Kg
Ønominal tubos de intercambio	¾"	M del Condensador en operación	991,41 Kg
Nº de tubos espaciadores	26	Peso Vacío del Condensador	6.673,60 N
Ønominal de tubos espaciadores	3/8"	Peso en Operación del Condensador	8.931,82 N

### 3.1.7 Precalentador de Materia Prima E-202.

El precalentador E-202, fabricado en acero 316L, presenta las dimensiones geométricas de carcasa, tubos de intercambio y espaciadores señaladas en la columna de los datos de la Tabla 3.11, los cuales sustituidos en las ecuaciones mostradas en la sección 3.1.2, arrojan los valores señalados en la columna de resultados, siendo señalados en color azul el peso vacío con un valor de 2.547,71 N, el cual será comparado con los pesos vacíos de los equipos restantes para realizar la selección del equipo de izamiento de carga, y el peso en operación de 3.950,97 N utilizado para el estudio de la estructura de soporte de la Columna C-200.

### 3.1.8 Precalentador de Materia Prima E-203.

El precalentador E-203, posee las mismas características geométricas del condensador E-201, la única diferencia entre estos equipos radica en los fluidos de intercambio de calor, empleándose en el caso de este precalentador el producto de fondo de la columna C-110 de nombre IDP-300 y la materia prima gasolina residual, fluidos que por poseer una menor densidad que el agua de enfriamiento utilizada en el condensador, le confieren a este equipo un menor peso en operación para un mismo peso vacío como se observa en la Tabla 3.12.

Tabla 3.11. Dimensiones y Pesos del Precalentador E-202.

Precalentador E-202			
Datos		Resultados	
Ø de carcasa	258 mm	V acero de la carcasa	$7,14 \times 10^{-3} m^3$
Espesor por corrosión, (e)	3 mm	V acero de los cabezales	$2,4 \times 10^{-3} m^3$
Longitud de carcasa	2.300 mm	V acero de tubos de intercambio	$2,32 \times 10^{-2} m^3$
Longitud de los tubos	3.000 mm	V acero de los tubos espaciadores	No Indicado
Nº de deflectores	14	Vt de acero del Precalentador	$3,27 \times 10^{-2} m^3$
Altura de los cabezales	500 mm	M de acero del Precalentador	259,97 Kg
Nº de cabezales	2	M de Gasolina Residual	111,84 Kg
Nº de tubos de intercambio	36	M de Producto de Tope IDP-300	31,35 Kg
Ønominal tubos de intercambio	$\frac{3}{4}''$	M de Precalentador en operación	403,16 Kg
Nº de tubos espaciadores	No Indicado	Peso Vacío del Precalentador	2.547,71 N
Ønominal tubos espaciadores	No Indicado	Peso en Operación del Precalentador	3.950,97 N

Tabla 3.12. Dimensiones y Pesos del Precalentador E-203.

Precalentador E-203			
Datos		Resultados	
Ø de carcasa	350 mm	V acero de la carcasa	$9,20 \times 10^{-3} m^3$
Espesor por corrosión, (e)	3 mm	V acero de los cabezales	$1,64 \times 10^{-3} m^3$
Longitud de carcasa	2.300 mm	V acero de tubos de intercambio	$7,34 \times 10^{-2} m^3$
Longitud de los tubos	3.000 mm	V acero de los tubos espaciadores	$1,95 \times 10^{-3} m^3$
Nº de deflectores	8	Vt de acero del Precalentador	$8,62 \times 10^{-2} m^3$
Altura de los cabezales	500 mm	M de acero del Precalentador	680,98 Kg
Nº de cabezales	2	M de Gasolina Residual	89,14 Kg
Nº de tubos de intercambio	114	M de Producto de Tope IDP-300	117,00 Kg
Ønominal tubos de intercambio	$\frac{3}{4}''$	M de Precalentador en operación	887,12 Kg
Nº de tubos espaciadores	26	Peso Vacío del Precalentador	6.673,60 N
Ønominal tubos espaciadores	$\frac{3}{8}''$	Peso en Operación del Precalentador	8.693,78 N

### 3.1.9 Precalentador de Materia Prima E-204.

El precalentador E-204, cuyas características geométricas se muestran en la Tabla 3.13, está construido en acero A 515 90 y A170. Este equipo es el que posee los mayores valores de peso vacío y peso en operación, siendo estos de 12.689,04 N y 16.203,91 N respectivamente.

Tabla 3.13. Dimensiones y Pesos del Precalentador E-204.

Precalentador E-204			
Datos		Resultados	
Ø de carcasa	500 mm	V acero de la carcasa	$1,09 \times 10^{-2} m^3$
Espesor por corrosión, (e)	3 mm	V acero de los cabezales	$1,5 \times 10^{-3} m^3$
Longitud de carcasa	2.300 mm	V acero de tubos de intercambio	$0,13 m^3$
Longitud de los tubos	3.000 mm	V acero de los tubos espaciadores	$2,35 \times 10^{-2} m^3$
Nº de deflectores	No Indicado	Vt de acero del Precalentador	$0,166 m^3$
Altura de los cabezales	500 mm	M de acero del Precalentador	1.294,80 Kg
Nº de cabezales	2	M de Gasolina Residual	194,54 Kg
Nº de tubos de intercambio	136	M de Producto de Tope IDP-300	164,12 Kg
Ø nominal tubos de intercambio	1"	M de Precalentador en operación	1.653,46 Kg
Nº de tubos espaciadores	88	Peso Vacío del Precalentador	12.689,04 N
Ø nominal tubos espaciadores	3/8"	Peso en Operación del Precalentador	16.203,91 N

### 3.1.10 Tambor de Destilado V-200. (Acumulador).

El Tambor de destilado V-200, ver Tabla 3.14, presenta una diferencia bastante amplia entre el peso vacío y el peso en operación señalados en la columna de resultados, esto se debe a que este tambor de destilado funciona como un tanque de almacenamiento de producto de tope de la Columna C-200 de nombre IDP-200. Estos valores se obtienen de evaluar los datos de la Tabla 3.14 en las ecuaciones de la sección 3.1.2, conociendo además que el material de fabricación de este equipo es el acero AISI 304.

Tabla 3.14. Dimensiones y Pesos del Tambor de Destilado V-200.

Tambor de Destilado V-200. (Acumulador)			
Datos		Resultados	
Ø del Acumulador	1.200 mm	V acero del cuerpo cilíndrico	$2,08 \times 10^{-2} m^3$
Espesor por corrosión (e)	3 mm	V acero de los casquetes esféricos	$7,75 \times 10^{-3} m^3$
Longitud total del acumulador	2.466 mm	Vt de acero del Acumulador	$2,86 \times 10^{-2} m^3$
Longitud del cuerpo cilíndrico	1.846 mm	M acero del Acumulador	225,94 Kg
Altura del casquete esférico	310 mm	M de Producto de tope IDP-200	1.334 Kg
Nº de casquetes esféricos	2	Peso Vacío del Acumulador	2.214,21 N
V interno del Acumulador	$2 m^3$	Peso en Operación del Acumulador	15.287,41 N

## **CAPÍTULO IV**

Logística de Desmontaje,  
Traslado y Almacén

## **4 LOGÍSTICA DE DESMONTAJE, TRASLADO Y ALMACÉN.**

En el siguiente capítulo se especifica una lista de las actividades requeridas para el desmontaje y traslado de la Columna de Fraccionamiento y sus equipos principales; se realiza el diagrama de red y la selección de la ruta crítica empleando para ello las teorías de planificación, programación y control de operaciones, definidas en el Fundamento Teórico. Además, se seleccionan los recursos requeridos para realizar estas operaciones.

### **4.1 Planificación de Actividades.**

Primeramente para planificar las actividades, se realizará una lista con cada una de las operaciones requeridas para el desmontaje de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales como es el caso de los precalentadores, condensador de producto de tope, tambor de destilado y rehervidor. En la Tabla 4.1 se especifican el comienzo, final y la duración en espacio de tiempo que se requiere para la culminación de cada actividad.

Posteriormente se realiza el diagrama de red (Figura 4.1), también conocido como diagrama de operaciones, en el cual se muestra la interrelación de los eventos y las actividades. Una vez conocidos los caminos descritos, se procede a seleccionar la ruta crítica (véase Figura 4.2), que permite determinar de una manera muy aproximada el tiempo necesario para la culminación del proyecto de desmontaje y traslado de los equipos.

Otra herramienta para la planificación y control de actividades que complementa al diagrama PERT-CPM, es el Diagrama de Gantt (Figura 4.3). Este se construirá a partir de la lista de actividades antes mencionada y permitirá ver de una manera más sencilla, el desarrollo de estas actividades en una división del espacio del tiempo y la relación entre el tiempo y el trabajo ejecutado. Para este caso en particular se emplea como unidad de medida del tiempo la hora.

Tabla 4.1. Actividades Requeridas para Desmontaje y Traslado de los Equipos.

Act.	Descripción de la Actividad	Duración	Comienzo	Final
	<b>Desmontaje de Condensador de Tope E-201</b>		07/10/2002 08:00	07/10/2002 10:41
<b>A</b>	Despiece o corte de elementos de fijación	0.94 h	07/10/2002 08:00	07/10/2002 08:56
<b>B</b>	Traslado y descenso del condensador con polipasto	1.25 h	07/10/2002 08:56	07/10/2002 10:11
<b>C</b>	Traslado con montacargas y ubicación en el transporte	0.5 h	07/10/2002 10:11	07/10/2002 10:41
	<b>Desmontaje de Acumulador V-200</b>		07/10/2002 10:11	07/10/2002 12:53
<b>D</b>	Despiece o corte de elementos de fijación	0.94 h	07/10/2002 10:11	07/10/2002 11:08
<b>E</b>	Traslado y descenso del acumulador empleando un polipasto	1.25 h	07/10/2002 11:08	07/10/2002 12:23
<b>F</b>	Traslado con montacargas y ubicación en el transporte	0.5 h	07/10/2002 12:23	07/10/2002 12:53
	<b>Desmontaje de Precalentador E-202</b>		07/10/2002 12:23	07/10/2002 15:49
<b>G</b>	Despiece o corte de elementos de fijación	0.94 h	07/10/2002 12:23	07/10/2002 13:19
<b>H</b>	Descenso del precalentador E-201 empleando polipasto	1 h	07/10/2002 13:19	07/10/2002 15:19
<b>I</b>	Traslado con montacargas y ubicación en el transporte	0.5 h	07/10/2002 15:19	07/10/2002 15:49
	<b>Desmontaje del Precalentador E-203</b>		07/10/2002 15:19	08/10/2002 08:45
<b>J</b>	Despiece o corte de elementos de fijación	0.94 h	07/10/2002 15:19	08/10/2002 08:45
<b>K</b>	Descenso del precalentador empleando polipasto	1 h	07/10/2002 16:15	08/10/2002 08:15
<b>L</b>	Traslado con montacargas y ubicación en el transporte	0.5 h	08/10/2002 08:15	08/10/2002 08:45
	<b>Desmontaje del Precalentador E-204</b>		08/10/2002 08:15	08/10/2002 11:00
<b>M</b>	Despiece o corte de elementos de fijación	1.25 h	08/10/2002 08:15	08/10/2002 09:30
<b>N</b>	Descenso del Precalentador con la ayuda de un polipasto	1 h	08/10/2002 09:30	08/10/2002 10:30
<b>Ñ</b>	Traslado con montacargas y ubicación en el transporte	0.5 h	08/10/2002 10:30	08/10/2002 11:00
	<b>Desmontaje Columna de destilación C-200</b>		08/10/2002 10:30	08/10/2002 13:35
	<b>Sección I</b>		08/10/2002 10:30	08/10/2002 13:35
<b>O</b>	Quitar pernos de sujeción y colocación de ganchos en Sección I	1 h	08/10/2002 10:30	08/10/2002 11:30
<b>P</b>	Movimiento de la Sección I con polipasto	0.63 h	08/10/2002 11:30	08/10/2002 12:08
<b>Q</b>	Descenso de la Sección I de la estructura empleando un polipasto	0.96 h	08/10/2002 12:08	08/10/2002 13:05
<b>R</b>	Traslado con montacargas hasta el transporte	0.5 h	08/10/2002 13:05	08/10/2002 13:35
	<b>Sección II</b>		08/10/2002 13:05	08/10/2002 17:07
<b>S</b>	Quitar pernos de sujeción y colocación de ganchos en Sección II	1 h	08/10/2002 13:05	08/10/2002 15:05
<b>T</b>	Movimiento de la Sección II con polipasto	0.63 h	08/10/2002 15:05	08/10/2002 15:43
<b>U</b>	Descenso de la Sección II de la estructura empleando polipasto	0.89 h	08/10/2002 15:43	08/10/2002 16:37
<b>V</b>	traslado de la sección con montacargas hasta el transporte	0.5 h	08/10/2002 16:37	08/10/2002 17:07
	<b>Sección III</b>		08/10/2002 16:37	09/10/2002 10:42
<b>W</b>	Quitar pernos de sujeción y colocación de ganchos en Sección III	1 h	08/10/2002 16:37	09/10/2002 08:37
<b>X</b>	Movimiento de la Sección III con polipasto	0.63 h	09/10/2002 08:37	09/10/2002 09:14
<b>Y</b>	Descenso de la Sección III de la estructura empleando polipasto	0.96 h	09/10/2002 09:14	09/10/2002 10:12
<b>Z</b>	traslado de la sección con montacargas hasta el transporte	0.5 h	09/10/2002 10:12	09/10/2002 10:42
	<b>Sección IV</b>		09/10/2002 10:12	09/10/2002 13:17
<b>a</b>	Quitar pernos de sujeción y colocación de ganchos en Sección IV	1 h	09/10/2002 10:12	09/10/2002 11:12
<b>b</b>	Movimiento de la Sección IV con polipasto	0.63 h	09/10/2002 11:12	09/10/2002 11:49
<b>c</b>	Descenso de la Sección IV de la estructura empleando polipasto	0.96 h	09/10/2002 11:49	09/10/2002 12:47
<b>d</b>	traslado de la sección con montacargas hasta el transporte	0.5 h	09/10/2002 12:47	09/10/2002 13:17
	<b>Sección V</b>		09/10/2002 12:47	09/10/2002 16:45
<b>e</b>	Quitar pernos de sujeción y colocación de ganchos en Sección V	1 h	09/10/2002 12:47	09/10/2002 13:47
<b>f</b>	Movimiento de la Sección V con polipasto	0.63 h	09/10/2002 13:47	09/10/2002 15:25
<b>g</b>	Descenso de la Sección V de la estructura empleando polipasto	0.83 h	09/10/2002 15:25	09/10/2002 16:15
<b>h</b>	traslado de la sección con montacargas hasta el transporte	0.5 h	09/10/2002 16:15	09/10/2002 16:45
	<b>Sección VI</b>		09/10/2002 16:15	10/10/2002 10:12
<b>i</b>	Quitar pernos de sujeción y colocación de ganchos en Sección V	1 h	09/10/2002 16:15	10/10/2002 08:15
<b>j</b>	Movimiento de la Sección VI con polipasto	0.63 h	10/10/2002 08:15	10/10/2002 08:53
<b>k</b>	Descenso de la Sección VI de la estructura empleando polipasto	0.83 h	10/10/2002 08:53	10/10/2002 09:42
<b>l</b>	traslado de la sección con montacargas hasta el transporte	0.5 h	10/10/2002 09:42	10/10/2002 10:12
	<b>Desmontaje del Rehervidor E-200</b>		10/10/2002 09:42	10/10/2002 12:09
<b>m</b>	Despiece o corte de elementos de fijación	0.94 h	10/10/2002 09:42	10/10/2002 10:39
<b>n</b>	Descenso del Rehervidor con la ayuda de un polipasto	1 h	10/10/2002 10:39	10/10/2002 11:39
<b>ñ</b>	Traslado con montacargas y ubicación en el transporte	0.5 h	10/10/2002 11:39	10/10/2002 12:09
<b>o</b>	<b>Traslado de Equipos hasta Nueva Sede</b>	9 h	10/10/2002 12:09	11/10/2002 08:00
<b>p</b>	<b>Desembarque de los Equipos</b>	4 h	11/10/2002 08:00	11/10/2002 12:00

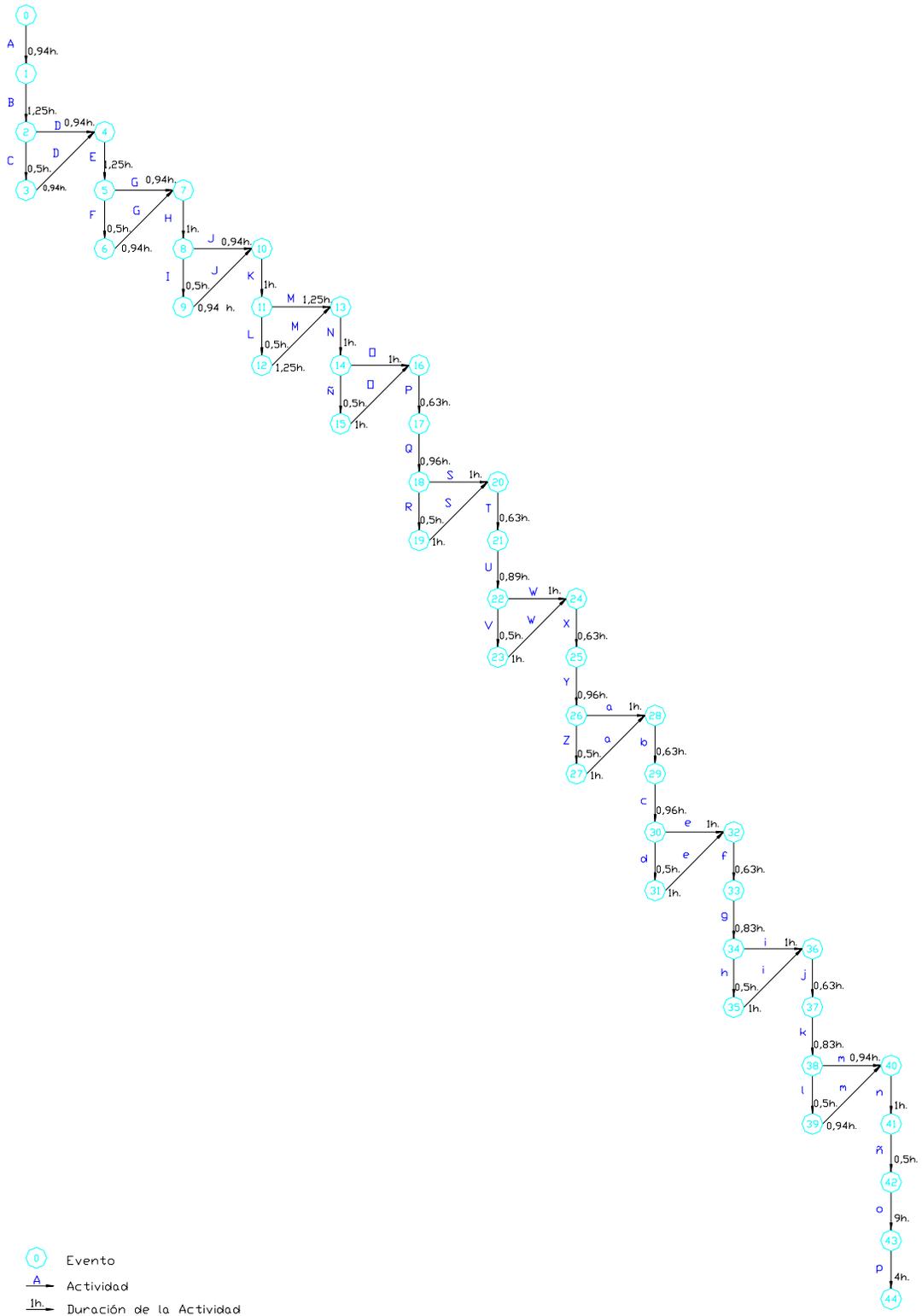


Figura 4.1. Diagrama de Red u Operaciones.

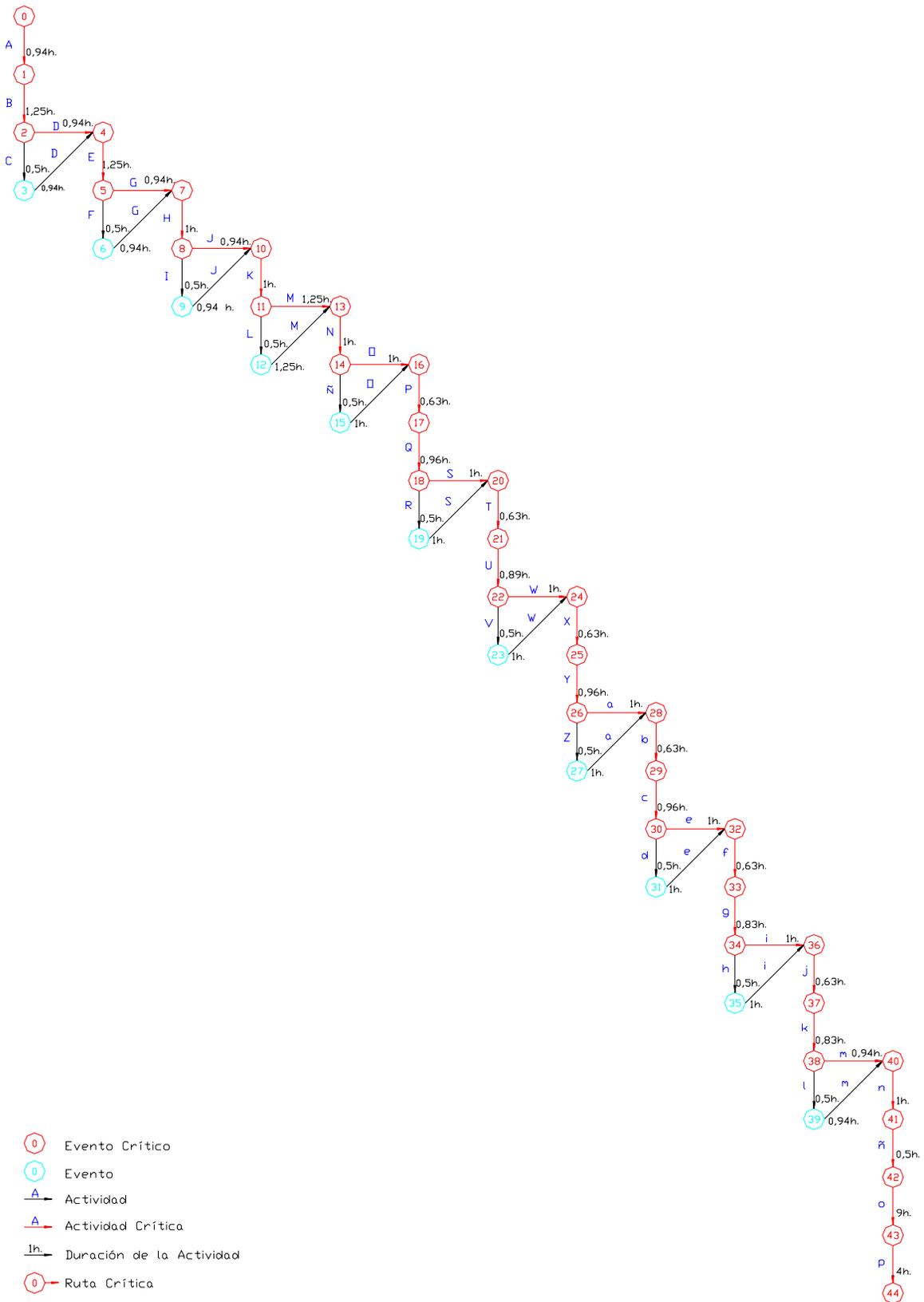


Figura 4.2. Método del Camino Crítico (CPM).



## 4.2 Selección del Equipo de Izamiento de Cargas.

Una vez calculado los pesos de los equipos que se desean trasladar, conocidas sus características geométricas especificadas en las hojas de datos mostradas en las Tablas 2.4 a la 2.11 de la sección 2.6 y conocidas las consideraciones detalladas en la sección 2.4, se puede seleccionar el equipo de izamiento requerido para realizar las operaciones del desmontaje.

Para seleccionar la máquina de elevación a utilizar, se realizó un estudio referido a la disposición en el mercado de las máquinas de elevación y transporte más convenientes para la ejecución de las operaciones de desmontaje de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales, obteniéndose los Polipastos y Grúas Telescópicas. En la Tabla 4.2 se presenta una comparación entre estas dos máquinas de elevación y transporte.

**Tabla 4.2. Matriz de Comparación entre Equipos de Izamiento de Cargas.**

Polipasto de Control Manual	Grúa Telescópica
Sistema especial de poleas y cadenas de pequeñas dimensiones (portátil).	Máquina formada por una superestructura, fuente de potencia y controles de operación, montadas en una base fija transportable. Suelen ser de grandes dimensiones.
Es de fácil operación, no requiere de entrenamientos rigurosos.	Debe ser operado por un conductor calificado y certificado.
Puede ser trasladado fácilmente entre una o varias personas debido a su bajo peso.	Por sus dimensiones y peso debe ser trasladado empleando para ello un camión.
Su sistema de anclaje le permite adaptarse a diferentes perfiles estructurales.	La estructura posee una base fija que debe ser ubicada sobre un suelo asentado o con cierta resistencia.
Sus dimensiones le confieren una gran versatilidad a la hora de realizar trabajos en espacios reducidos.	Requiere de un amplio espacio para su ubicación y operación.
El usuario debe vencer el momento de torsión del freno a través de unos tiradores de accionados manualmente para trasladar de la carga.	La carga a través de un sistema hidráulico o de motores eléctricos dirigidos por el conductor en un panel de control.
Su costo de adquisición es significativamente bajo con respecto a otros equipos de izamiento.	Esta maquinaria posee un alto costo de adquisición y su alquiler para los fines de este proyecto de desmontaje, involucran un costo superior al de compra del polipasto de control manual.

Tomando en cuenta la comparación antes realizada, se cotizaron varias ofertas de Polipastos y Grúas Telescópicas entre la cuales se seleccionó la siguiente:

Polipasto YALE mostrado en la Figura 4.4, de características:

Polipasto manual con carro manual de capacidad 2 toneladas y longitud máxima de cadena 15 metros.

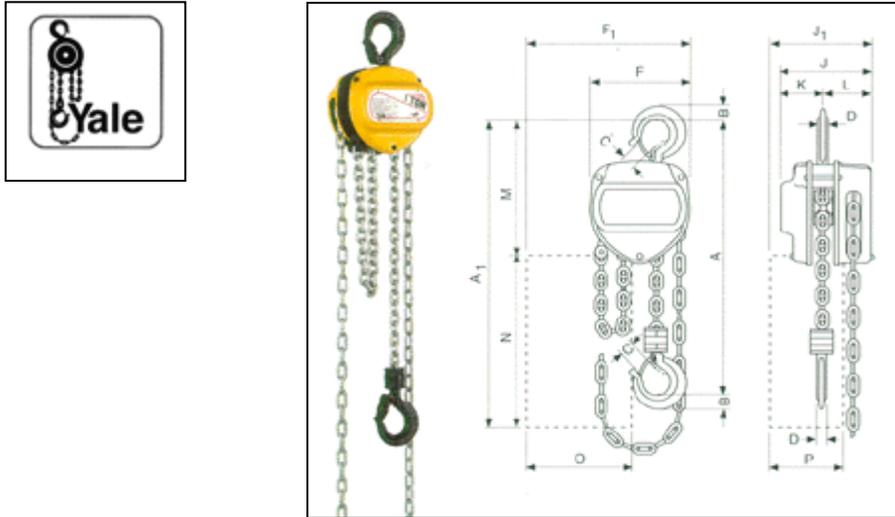


Figura 4.4. Polipasto Yale VS2 de control manual.

La selección del equipo a ser empleado para esta operación se basó principalmente en el peso de los equipos y en el costo de arrendamiento o compra de la máquina, ya que, la empresa desea realizar nuevos desmontajes de equipos en la planta de Solventes Ecológicos GREENSOL, C.A., para mudarlos a INGRAMELCA, Derivados del Petróleo, S.A., a fin de aumentar aún más su capacidad de producción.

La carga que puede resistir el polipasto, es el peso externo aplicado al equipo incluyendo los aparejos, ganchos y cadena. De la Tabla 3.13 se conoce que el peso del Precalentador E-204, equipo de mayor peso a trasladar, es de 12.689,04 N y de la Tabla 4.3 el peso máximo de 100 pie (30 m) de cadena de tamaño nominal ¼” es de 84 lb → 373,4 N, pero el polipasto posee una longitud máxima de 15 m, es decir la mitad, lo que quiere decir que, el peso máximo equivale a 186, 7 N.

El límite de carga de trabajo para una cadena de tamaño ¼”, según Tabla 4.3 es 3.250 lb y el peso máximo al que será sometida incluyendo su propio peso es 13.062,44 N → 2.936,55 lb por lo cual se evidencia que la cadena no fallará.

**Tabla 4.3. Especificaciones ASTM para cadenas de aleación.** (Norma NACM 1001).

Tamaño nominal de la cadena (pulg.)	Límite de Carga de Trabajo (lb)	Carga mínima para prueba, (lb)	Carga mínima para prueba de rotura (lb)	Peso máximo de 100 pie (lb)
¼	3.250	6.500	10.000	84
⅜	6.600	13.200	19.000	175
½	11.250	22.500	32.500	288
⅝	16.500	33.000	50.000	453
¾	23.000	46.000	69.500	655

De igual forma se debe comprobar que la carga máxima a levantar de 13.062,44 N, no sobrepasa la capacidad de carga del polipasto. Asumiendo  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , se tiene que la masa correspondiente a la carga equivale a 1.332,90 Kg  $\rightarrow$  1,333 toneladas  $<$  2 toneladas, por lo cual se puede asegurar que el polipasto seleccionado si cubre las necesidades requeridas.

### 4.3 Logística para Realización del Traslado.

En esta sección se seleccionará el transporte que por sus características y dimensiones, permita de la manera más conveniente y efectiva realizar el traslado de los equipos señalados en la sección 3.1.

#### 4.3.1 Selección del Transporte.

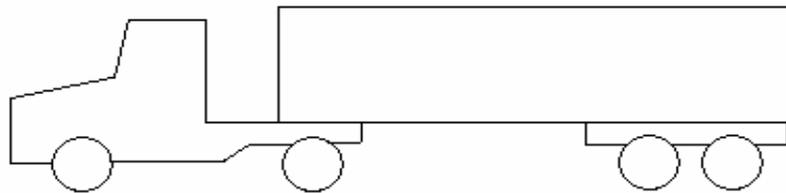
El traslado de los equipos desde la Planta de Solventes Ecológicos GREENSOL, C.A., ubicada en la Urbanización Industrial Boca de Uchire, Estado Anzoátegui hasta su nueva sede en la Empresa INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A. en la Zona Industrial el Tigre en Guacara, Estado Carabobo, abarca un recorrido de 380 kilómetros de transporte terrestre automotor.

Para realizar esta actividad se dispone según la Norma COVENIN 2402 de nombre “Tipología de los Vehículos de Carga”, con un camión tractor 2S2 (ver glosario técnico), es decir, un camión con dos ejes y semirremolque con dos ejes como se observa en la Figura 4.5,

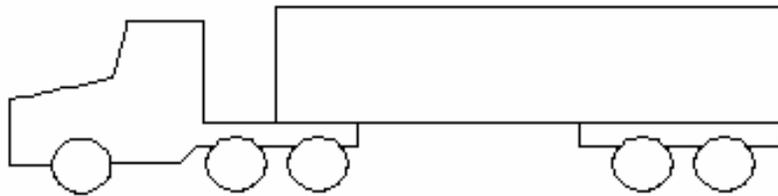
o un camión tractor 3S2; camión con tres ejes y semirremolque con dos ejes, como se muestra en la Figura 4.6, los cuales presentan las dimensiones máximas especificadas en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Capacidades Máximas de Camiones de Carga.**

Ancho máximo	2,60 metros
Altura máxima	4,10 metros
Longitud máxima en Camión de 2 ejes 2S	11,50 metros
Longitud máxima en Camión de 3 ejes 3S	12,20 metros



**Figura 4.5.** Camión Tractor 2S2.



**Figura 4.6.** Camión Tractor 3S2.

De estas dos opciones se seleccionó el Camión Tractor 3S2 mostrado en la Figura 4.6, el cual posee un mayor volumen interior para la disposición de las secciones de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales según lo indicado en la Tabla 4.4, permitiendo además realizar un único viaje para trasladar todos los equipos, sin exceder las especificaciones de la Norma COVENIN 2402 antes mencionada.

#### **4.3.2 Preparación para Embarque.**

1. Las partes de acero al carbono de las bandejas o platos, deberán recubrirse con grasa antióxido fácilmente removible, y deberán protegerse contra daños durante el embarque.
2. Se añadirán un 4% adicional a la cantidad necesaria de accesorios de apernado (pernos, tuercas y arandelas).
3. Los componentes internos de la columna de fraccionamiento que no estén instalados en las secciones deberán ser embalados adecuadamente en cajas para protegerlos de pérdidas o daños durante su transporte.

#### **4.3.3 Pintura y Marcado de Identificación.**

1. Las bandejas o platos no deberán pintarse, debido a que esta acción producirá la contaminación de estos dispositivos de contacto de la Columna de Fraccionamiento C-200, pudiendo ocasionar daños en las válvulas contenidas en los mismos.
2. Los contenedores para embarque, piezas, equipos y secciones de la Columna de Fraccionamiento deberán identificarse marcando en un lado de los mismos con letras de molde de 100 mm como mínimo, los números y letras asignados a cada uno de estos, en las Tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 del Capítulo III de manera de llevar un control a la hora de realizar el montaje de los equipos en su nueva sede.
3. La identificación de piezas o la escritura sobre aquellos elementos de aleaciones austeníticas, se hará con pinturas o tintas que contengan pigmentos no-metálicos.

#### **4.3.4 Requerimientos para Cargar Vehículos.**

1. Los conductores acarreadores de tierra y de vehículos similares, se deben retirar de la cabina mientras el vehículo se esté cargando, cuando esté expuesto a peligros provenientes de aparatos o métodos de carga suspendida o elevada.
2. Ningún vehículo será cargado de manera que obstaculice la visibilidad del conductor hacia delante.

3. Ninguna parte de la carga deberá sobresalir de los lados del vehículo, excepto bajo circunstancias inevitables. No obstante, se señalará el peligro con bandas rojas. De noche se utilizará una luz roja.
4. El personal encargado se comprometerá a respetar las normas de seguridad estipuladas en el Apéndice 2, referidas al manejo de cargas, utilización del montacargas, etc., dentro de las instalaciones de la empresa.

#### **4.4 Procedimiento de Desmontaje.**

El traslado de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos desde el sitio donde se encuentran ubicados originalmente en la estructura de soporte, hasta el nivel del suelo, para posteriormente ser embarcados, involucra un conjunto de actividades que deben ser cumplidas a cabalidad con el fin de evitar daños en los equipos o accidentes en las instalaciones de la planta. De esta forma se enumeran en esta sección, los pasos a seguir para realizar desmontaje de cada uno de los equipos a trasladar.

##### **4.4.1 Columna de Fraccionamiento C-200.**

1. Fijar el polipasto seleccionado a la estructura, en el tramo superior al punto de mayor altura de la Columna de Fraccionamiento C-200.
2. Remover de la sección a desmontar, las conexiones de salida y entrada de fluidos a la Columna de Fraccionamiento, empleando para ello llaves de tuerca, palancas, dados, entre otras herramientas.
3. Enganchar la Sección I de la Columna de Fraccionamiento C-200 con los ganchos ubicados en el extremo de la cadena del polipasto como medida de seguridad.
4. Desmontar los pernos ubicados en la brida que unen la sección a desmontar con la sección siguiente.
5. Eliminar los elementos de fijación y soporte de la sección de la columna de fraccionamiento a la estructura con herramientas comunes o cortar con la máquina de oxicorte en caso de ser necesario.

6. Una vez libre de cualquier conexión, suspender la carga para comprobar que esté bien enganchada y balanceada además del correcto funcionamiento del polipasto.
7. Realizar el izamiento de la sección para desprenderla del resto de la columna.
8. Atar la sección a trasladar con un mecate que posea una longitud tal, que permita al ayudante tomarlo con sus manos estando éste a nivel del suelo.
9. Guiar la sección hacia la parte de afuera de la estructura, empleando para esto el mecate.
10. Bajar lentamente la carga, evitando balanceo y movimientos bruscos que puedan ocasionar tropiezos y daños de la sección contra la estructura.
11. Al finalizar el recorrido, reposar la carga sobre la superficie del suelo.
12. Empleando un montacargas, elevar la sección e introducirla en el transporte seleccionado para realizar su traslado hasta la nueva sede.
13. Realizar este procedimiento de manera similar para las secciones restantes de la Columna de Fraccionamiento C-200.

#### **4.4.2 Rehervidor E-200.**

1. Colocar el polipasto en el tramo superior de la estructura por encima del punto de mayor altura del rehervidor.
2. Encajar los ganchos ubicados en el extremo de la cadena en las posiciones del rehervidor sugeridas por el supervisor.
3. Empleando herramientas como llaves de tuerca, palancas y dados, desunir las siguientes conexiones del rehervidor E-200 fijadas por pernos:
  - \* Entrada y salida de producto de fondo.
  - \* Entrada y salida de aceite térmico.
  - \* Drenaje.
4. Cortar con la máquina de oxicorte los soportes con refuerzos soldados a la estructura.
5. Una vez libre de cualquier conexión, suspender la carga para comprobar que esté bien enganchada y balanceada además del correcto funcionamiento del polipasto.
6. Realizar el izamiento del rehervidor hasta una altura suficiente para que ningún equipo obstaculice su traslado, considerando que este se encuentra en posición vertical.

7. Movilizar el intercambiador E-200 hacia la parte de afuera de la estructura para poder bajar la carga hasta el nivel del suelo.
8. Bajar lentamente la carga, evitando balanceo y movimientos bruscos que puedan ocasionar tropiezos.
9. Dejar reposar el rehervidor sobre la superficie del suelo.
10. Empleando un montacargas, elevar e introducir el equipo en el transporte seleccionado para realizar su traslado hasta la nueva sede.

#### **4.4.3 Condensador E-201.**

1. Colocar el polipasto en el tramo superior de la estructura por encima del punto de mayor altura del condensador.
2. Encajar los ganchos ubicados en el extremo de la cadena en las posiciones del rehervidor sugeridas por el supervisor como medida de seguridad.
3. Empleando herramientas como llaves de tuerca, palancas y dados, desarmar las siguientes conexiones del condensador E-201 fijadas por pernos:
  - \* Entrada y salida de agua de enfriamiento.
  - \* Salida de condensado.
  - \* Entrada de vapor de tope.
4. Cortar con precaución, empleando la máquina de oxicorte las uniones de los soportes soldados a la estructura.
5. Dejar reposar sobre el piso de la estructura el equipo.
6. Una vez libre de cualquier conexión, suspender la carga para comprobar que esté bien enganchada y balanceada además del correcto funcionamiento del polipasto.
7. Con la ayuda del polipasto llevar el condensador E-201 a posición vertical.
8. Realizar el izamiento del intercambiador hasta una altura suficiente para ningún otro equipo obstaculice su traslado.
9. Movilizar el condensador hacia la parte de afuera de la estructura para poder bajar la carga hasta el nivel del suelo.

10. Bajar lentamente la carga, evitando balanceo y movimientos bruscos que puedan ocasionar tropiezos.
11. Dejar reposar el condensador sobre la superficie del suelo.
12. Empleando un montacargas, elevar e introducir el equipo en el transporte seleccionado para realizar su traslado hasta la nueva sede.

#### **4.4.4 Precalentadores E-202, E-203, y E-204.**

1. Colocar el polipasto en el tramo superior de la estructura por encima del punto de mayor altura del precalentador.
2. Encajar los ganchos ubicados en el extremo de la cadena en las posiciones del precalentador sugeridas por el supervisor como medida de seguridad.
3. Empleando herramientas como llaves de tuerca, palancas y dados, desarmar las siguientes conexiones del condensador E-201 fijadas por pernos:
  - \* Entrada y salida de alimentación.
  - \* Entrada y salida de corriente caliente.
4. Cortar con precaución, empleando la máquina de oxicorte las uniones de los soportes soldados a la estructura.
5. Dejar reposar sobre el piso de la estructura el precalentador.
6. Una vez libre de cualquier conexión, suspender la carga para comprobar que esté bien enganchada y balanceada además del correcto funcionamiento del polipasto.
7. Con ayuda del polipasto llevar el precalentador a posición vertical.
8. Realizar el izamiento del intercambiador hasta una altura suficiente para ningún otro equipo obstaculice su traslado.
9. Movilizar el intercambiador de calor hacia la parte de afuera de la estructura para poder bajar la carga hasta el nivel del suelo.
10. Bajar lentamente la carga, evitando balanceo y movimientos bruscos que puedan ocasionar tropiezos.
11. Dejar reposar el equipo sobre la superficie del suelo.

12. Empleando un montacargas, elevar e introducir el equipo en el transporte seleccionado para realizar su traslado hasta la nueva sede.
13. Realizar el mismo procedimiento para los precalentadores restantes.

#### **4.4.5 Tambor de Destilado (Acumulador).**

1. Colocar el polipasto en el tramo superior de la estructura por encima del punto de mayor altura del acumulador.
2. Encajar los ganchos ubicados en el extremo de la cadena en las posiciones del precalentador sugeridas por el supervisor como medida de seguridad.
3. Desmontar las siguientes conexiones, empleando las herramientas necesarias:
  - \* Entrada de producto de tope.
  - \* Salida de producto de tope.
4. Cortar empleando la máquina de oxicorte las uniones de los soportes soldados a la estructura.
5. Dejar reposar sobre el piso de la estructura el acumulador.
6. Con ayuda del polipasto llevar el precalentador a posición vertical.
7. Realizar el izamiento del intercambiador hasta una altura suficiente para ningún otro equipo obstaculice su traslado.
8. Movilizar el intercambiador de calor hacia la parte de afuera de la estructura para poder bajar la carga hasta el nivel del suelo.
9. Bajar lentamente la carga, evitando balanceos bruscos que puedan ocasionar tropiezos.
10. Dejar reposar el acumulador sobre la superficie del suelo.
11. Empleando un montacargas, elevar e introducir el equipo en el transporte seleccionado para realizar su traslado hasta la nueva sede.

#### **4.5 Almacenaje de los Equipos.**

Una vez trasladada La Columna de Fraccionamiento C-200 junto con sus equipos principales hasta la nueva sede, en la planta INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A., ubicada en la

Zona Industrial el Tigre en Guacara, Estado Carabobo, se procede al desembalaje de los mismos en la estación de carga y descarga de camiones, la cual posee un área total de 95 metros cuadrados.

La columna de Fraccionamiento y los demás equipos trasladados, reposarán en un galpón destinado para almacén que posee un área aproximada de 250 metros cuadrados. Estos equipos serán debidamente resguardados bajo las normas de seguridad industrial según lo indique el personal capacitado de la compañía INGRAMELCA, D.P., S.A., a fin de evitar su deterioro y contaminación, antes de su instalación y puesta en funcionamiento.

**4.6 Personal y Recursos para las Actividades.**

En este proyecto que abarca el desmontaje, traslado y almacenaje de la columna de fraccionamiento de gasolina residual C-200 junto con sus equipos principales, se requiere de la contratación de un personal capacitado (ver Tabla 4.5), que permita la perfecta interrelación y cumplimiento de las actividades señaladas en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.5. Descripción del Personal a Contratar.**

Personal	Cantidad	Descripción de su labor
Supervisor	1	Designado por I.D.P., S.A. Velará por el cumplimiento de las normas de seguridad dentro de la empresa, la correcta utilización de los equipos y coordinará las labores de los demás empleados.
Mecánico	1	Realizar el despiece y desmontaje de la columna C-200 y sus equipos principales, empleando para ello los recursos y procedimientos suministrados
Ayudante	2	Colaborar con las labores de despiece, desmontaje, embarque y conducción del montacargas.
Soldador	1	Emplear la máquina de oxicorte para cortar los elementos de sujeción y anclaje de los equipos a trasladar.
Conductor de Montacargas	1	Realizar el traslado dentro de la planta y el embarque de los equipos en el transporte empleando el montacargas.

Los recursos empleados por el personal descrito en la Tabla 4.5 se enumeran a continuación y serán suministrados por la empresa Ingramelca Derivados del Petróleo, S.A.

1. Máquina de Oxicorte.

2. Caja de herramientas.
3. Polipasto.
4. Mecates.
5. Montacargas

#### 4.7 Evaluación de Costo de Desmontaje y Traslado.

La contabilidad de costos de las operaciones de desmontaje y traslado de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos auxiliares, proporcionada en la Tabla 4.6, se realiza basándose en los gastos totales y por día, que involucran la contratación del personal descrito en la Tabla 4.5 y los recursos que debe adquirir o arrendar Ingramelca Derivados del Petróleo, S.A., por no poseer como patrimonio de la empresa.

**Tabla 4.6. Descripción de Costos de Personal y Recursos.**

Descripción	Cantidad	Bs. Día	Total Bs.
Supervisor	1	20.000,00	80.000,00
Mecánico	1	12.890,00	51.560,00
Ayudante	2	10.350,00	82.800,00
Soldador	1	12.890,00	51.560,00
Arrendar Camión Tractor 3S2	1	550.000,00	550.000,00
Comprar Polipasto Manual de Cadena	1	→	1.550.000,00
<b>Total costo de desmontaje y traslado de los equipos</b>			<b>2.365.920,00</b>

## **CAPÍTULO V**

Diseño de la Fundación de  
la Columna de Fraccionamiento C-200

## **5 DISEÑO DE FUNDACIÓN DE LA COLUMNA C-200.**

En este capítulo se especificarán las características del terreno de la planta I.D.P, S.A., que es una de las condiciones principales que se requiere para realizar el diseño de la fundación de la columna de fraccionamiento C-200, además del cálculo detallado de cada uno de los componentes necesarios para la fundación, tomando en cuenta los parámetros y consideraciones establecidos en los fundamentos teóricos.

### **5.1 Condiciones del Suelo de la planta Ingramelca D.P., S.A.**

- Área total del terreno: 99.582,55 m<sup>2</sup>.
- Resistencia del suelo: 0,75 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Presenta un canal natural de drenajes ubicado a 250 metros aproximadamente del acceso, en sentido oeste-este.
- Parte del terreno está conformado por arena mezclada con material de desecho tóxico producido por la planta.
- Tiene en su terreno un pozo de 80 gal/min, actualmente en operación que surte de agua a toda la planta y sus diferentes áreas.

### **5.2 Ubicación de la Estructura de Soporte de la Columna C-200.**

Para una mejor selección de la ubicación de la estructura de soporte de la columna de fraccionamiento C-200 y sus equipos auxiliares, se realizó el levantamiento planimétrico de las parcelas 10, 11, 12 y 13 de la Zona Industrial El Tigre, en Guacara, Estado Carabobo, correspondientes al área de la Planta INGRAMELCA Derivados del Petróleo, S.A.

En este levantamiento planimétrico se especifican las zonas de trabajo, equipos principales, edificaciones, estructuras, tanques, recorrido de los sistemas de tuberías y ubicación del canal natural de drenaje para construir el plano de planta, empleando para ello el programa de diseño AUTOCAD 2002. (Ver Apéndice 3.1)

Buscando minimizar el capital requerido para el desarrollo del proyecto, conociendo que el costo de las tuberías involucra un factor significativo; la disposición de los servicios necesarios para el funcionamiento de la Columna de Fraccionamiento C-200 y de sus equipos auxiliares tales como: aire, para los equipos neumáticos; aceite, para el rehervidor E-200; agua: para el condensador de producto de tope E-201 y la ubicación de la Columna de Fraccionamiento C-110 que complementa a la unidad de fraccionamiento C-200 en el proceso diseñado para el fraccionamiento de Gasolina Residual, se determinó, empleando el plano de planta, que la ubicación de la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200 debe estar en las adyacencias de los surtidores o tomas de estos servicios y cercana a la Unidad C-110, respetando la mínima distancia de separación exigida por el Manual de Riesgos, la sección concerniente a Separación de Equipos de Equipos e Instalaciones en plantas petroleras y petroquímicas de PDVSA.

De esta manera se muestra con un área rayada en color gris en el plano de planta, la porción de terreno seleccionada para la ubicación de la estructura de soporte de la columna C-200 tratando de alterar en lo mínimo posible la distribución y características actuales de la planta.

### **5.3 Diseño de Fundación para Columna de Fraccionamiento C-200.**

Antes de comenzar a realizar el diseño de la fundación es necesario aclarar, que los suelos de relleno, como es el caso del terreno de la planta I.D.P., pueden tener las más diversas procedencias y además estar formados por materiales de desecho de todo tipo, incluyendo derivados de procesos industriales, basura y escombros.

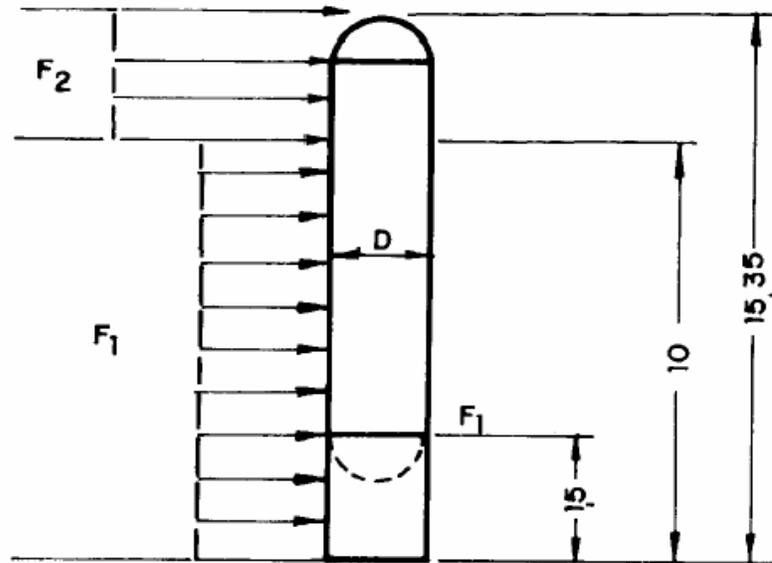
Cuando se los usa para apoyo de fundaciones, deben estar muy bien compactados antes de reconocerles cierta capacidad resistente, y se deben realizar los pertinentes ensayos para determinar sus características mecánicas.

La fundación de la Columna de Fraccionamiento C-200, por las condiciones de esta unidad, corresponde a la fundación de un recipiente vertical, la cual se encuentra compuesta de una zapata y un pedestal. Como elementos de sujeción de la Columna C-200 a la fundación se

emplearán pernos de anclaje, los cuales serán dimensionados según las condiciones de viento y el momento de volcamiento a los cuales se encontrará sometida la misma en Ingramelca Derivados del Petróleo, S.A.

De esta manera se hace necesario estudiar las fuerzas ejercidas por el viento sobre la Columna de Fraccionamiento C-200, empleando para ello El Manual de Ingeniería de Diseño de PDVSA, Volumen 18-I, referente a las “Cargas de Viento Sobre Recipientes Verticales Auto-soportables”, donde se resalta:

- La velocidad del viento para el diseño es equivalente a la mayor velocidad medida a 10 metros de altura sobre el nivel del terreno, para varios intervalos promedios de retorno o recurrencia.
- El factor de respuesta a ráfagas es un factor que depende de la categoría de exposición al viento y de las características de respuesta dinámica de la estructura considerada.



**Figura 5.1.** Fuerzas actuantes del viento sobre Columna C-200. (Medidas en m.)

Como se muestra en la Figura 5.1, se sumará el efecto del viento sobre la falda de apoyo de la columna sobre la fundación la cual posee una altura de 1,5 metros. Se asumirá una velocidad

de viento de 100 mph. (160 Km/h) para realizar un diseño conservador o dicho de otra manera de alta resistencia.

De la Figura 2.4, Hoja de Datos de la Columna de Fraccionamiento C-200, de la sección 2.6, se conoce que el diámetro de la Columna C-200 es  $\varnothing = 0,65$  m. y la altura  $h = 13,860$  m. Adicionalmente tomando la altura de la falda  $h = 1,5$  m. se tiene que la altura total de la Columna C-200 es  $h_t = 15,36$  m., siendo esta última la que se empleará para los cálculos.

La Fuerza de Diseño por viento se calcula a través de la ecuación:

$$F = qhxA \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (5.1)}$$

$$y, \quad qh = q_{efectiva} \times Cs \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (5.2)}$$

Donde:

$qh$  = Presión del viento de diseño a una altura  $h$ .

$A$  = Área expuesta al viento (pies<sup>2</sup>).

$q_{efectiva}$  = Presión efectiva por viento sobre la estructura.

$Cs$  = Coeficiente de forma.

El valor de  $qh$  se obtiene de la Tabla 5.1, según sea su nivel de exposición:

- A.- Grandes Ciudades y Terrenos Montañosos.
- B.- Áreas suburbanas, pueblos, áreas boscosas y terreno ondulado.
- C.- Terrenos planos o a campo abierto y áreas costeras planas.

**Tabla 5.1. Presión Efectiva por Viento  $q_{efectiva}$  (lb/pie<sup>2</sup>), para una Velocidad  $V=100$ mph.**

Altura (pie)	Estructuras			Partes y Porciones de Estructuras		
	A	B	C	A	B	C
Menos de 30	9	16	26	13	24	38
30	11	20	33	13	24	38

De estas tres opciones se seleccionó la letra B, por lo cual se emplearán los valores de  $q_{efectiva} = 16 \text{ lb/pie}^2$  para alturas menores de 10 metros y  $q_{efectiva} = 20 \text{ lb/pie}^2$  para alturas de más de 10 metros.

El coeficiente de forma se selecciona de la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2. Formas Sólidas y Tipo de Superficie.**

<b>FORMAS</b>	<b>C<sub>s</sub></b>		
	<b>h/d ≤ 1</b>	<b>h/d = 7</b>	<b>h/d ≥ 25</b>
Cuadrada o Rectangular:			
– Viento perpendicular a la superficie	1,3	1,4	2,0
– Viento oblicuo	1,0	1,1	1,5
Circular:			
– Superficie lisa (metal, concreto, madera).	0,5	0,6	0,7
– Superficie rugosa	0,7	0,8	0,9
Miembros Individuales:			
– Cilíndricos	–	1,2	1,4
– Planos o angulares	–	1,4	2,0

Donde el valor seleccionado por aproximación a las características de la Columna C-200 de  $C_s = 1,4$ .

Debido a que las unidades de las tablas se encuentran en sistema inglés, las medidas del diámetro  $\varnothing$  y las alturas  $h$  se convierten a pies:

$$1\text{m} \rightarrow 3,28 \text{ pies.}$$

$$\varnothing = 0,65 \text{ m} \rightarrow 2,13 \text{ pies.}$$

$$h_1 = 10 \text{ m} \rightarrow 32,8 \text{ pies.}$$

$$h_2 = 5,36 \text{ m} \rightarrow 17,55 \text{ pies.}$$

De esta manera con los datos obtenidos en las tablas 5.1 y 5.2, se pueden determinar las fuerzas ejercidas por el viento sobre la Columna de Fraccionamiento C-200, combinando las ecuaciones 5.1 y 5.2:

$$F_1 = q_{efectiva} \times C_s \times A_1 = 16 \times 1,4 \times 2,13 \times 32,8 = 1.564,95 \text{ lb.}$$

$$F_2 = q_{efectiva} \times C_s \times A_2 = 20 \times 1,4 \times 2,13 \times 17,55 = 1.046,68 \text{ lb.}$$

### 5.3.1 Pernos de Anclaje.

Haciendo referencia a las ecuaciones 2.4 y 2.5 presentadas en la sección 2.12.3, se realiza el dimensionamiento de los pernos de anclaje calculando la Tensión y la Fuerza cortante actuante sobre los mismos, considerando que las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  calculadas en la sección anterior deben ser corregidas por el factor de carga que se obtiene de la Tabla 2.6, “Factores Multiplicadores de Carga por Viento” del mismo capítulo; en relación al diámetro de la columna de fraccionamiento C-200, de donde se obtiene un factor multiplicador = 1,5.

$$F_1 = 1.564,95 \text{ lb} \times 1,5 = 2.341,43 \text{ lb.}$$

$$F_2 = 1.046,68 \text{ lb} \times 1,5 = 1.570,02 \text{ lb.}$$

$$Tensión = \frac{4M}{BC.N} - \frac{W}{N} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

$M$  = Momento máximo de volcamiento en la base del recipiente.

$N$  = Número de pernos de anclaje.

$BC$  = Diámetro del círculo de pernos (en metros).

$W$  = Peso vacío del recipiente.

El momento máximo de volcamiento se obtiene como la suma de los momentos producidos por las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  sobre la base del recipiente, es decir:

$$M = M_1 + M_2 \quad \rightarrow \quad \text{donde } M_1 = b_1 \times F_1 \text{ y } M_2 = b_2 \times F_2$$

$$M = 2.341,43 \text{ lb} \times 16,404 \text{ pie} + 1.570,02 \text{ lb} \times 41,585 \text{ pie} = 103.698,01 \text{ lb.pie}$$

Convirtiendo el momento máximo de volcamiento en la base del recipiente de sistema inglés a sistema internacional, para poder introducirlo en la ecuación 2.5, conociendo que: 1 lb.pie → 1,3558 N.m

$$M = 103.698,01 \text{ lb.pie} \rightarrow 140.593,76 \text{ N.m}$$

$$Tensión = \frac{4 \times (140.593,76)}{0,660 \times (18)} - \frac{8.860}{18} = 46.845,74 \text{ N}$$

$$Fuerza Cortante = \frac{Fuerza cortante máxima en la base del recipiente}{Número de pernos de anclaje} \rightarrow \text{Ec. (2.5)}$$

La fuerza cortante máxima en la base del recipiente es la suma de la fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  corregidas, es decir:

$$F_{\text{máx}} = 2.341,43 + 1.570,02 = 3.911,45 \text{ lb.}$$

$$Fuerza Cortante = \frac{3.911,45 \text{ lb}}{18} = 217,3 \text{ lb} \rightarrow 966,6 \text{ N}$$

El esfuerzo admisible en los pernos de anclaje se indica en la Norma COVENIN 1618 de nombre “Estructuras de Acero para Edificaciones. Proyecto, Fabricación y Construcción”, donde se obtuvo bajo las especificaciones ASTM A 307 los valores de Resistencia a la tracción = 4.220 Kgf/cm<sup>2</sup> y Resistencia a Corte = 1.690 Kgf/cm<sup>2</sup> para pernos y espárragos de Acero al Carbono de ½” de diámetro.

Convirtiendo los valores de Tensión y Fuerza cortante máxima de sistema inglés a sistema internacional,

$$1 \text{ N} \rightarrow 0,102 \text{ Kgf}$$

$$Tensión = 46.845,74 \text{ N} \rightarrow 4.776,94 \text{ Kgf.}$$

$$Fuerza Cortante = 966,6 \text{ N} \rightarrow 98,565 \text{ Kgf.}$$

El diámetro de los pernos de anclaje corresponde a  $\varnothing = \frac{1}{2}'' \rightarrow 1,27 \text{ cm.}$ , por lo tanto el área de la sección transversal de un perno se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi \times \phi^2}{4} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (5.3)}$$

$$A = \frac{\pi(1,27)^2}{4} = 1,267 \text{ cm}^2$$

Dividiendo los resultados obtenidos de la Tensión y la Fuerza Cortante por el área de la sección transversal de los pernos de anclaje, se obtiene los esfuerzos de tracción y corte respectivamente, los cuales pueden compararse con los valores de Resistencia a la tracción y Resistencia a Corte indicados en la Norma COVENIN 1618.

$$\text{Esfuerzo a Tracción} = \frac{4.776,94 \text{ Kgf}}{1,267 \text{ cm}^2} = 3.770,28 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo Cortante} = \frac{98,565 \text{ Kgf}}{1,267 \text{ cm}^2} = 77,8 \text{ Kgf/cm}^2$$

El Esfuerzo a Tracción y el Esfuerzo Cortante deben ser menores o iguales que los valores de Resistencia a la Tracción y Resistencia a Corte respectivamente, para verificar que los pernos de anclaje no presentarán falla.

$$\text{Tracción} \rightarrow 3.770,28 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 4.220 \text{ Kgf/cm}^2.$$

$$\text{Corte} \rightarrow 77,8 \text{ Kgf/cm}^2 \leq 1.690 \text{ Kgf/cm}^2.$$

De esta manera queda comprobado que los pernos de anclaje seleccionados cumplen con las exigencias de la Norma COVENIN 1618.

Por último, la longitud de los pernos de anclaje será de 25 cm., de los cuales 15 cm. estarán contenidos dentro del pedestal, y los 10 cm. restantes por encima de éste, para el anclaje de la Columna de Fraccionamiento C-200.

### 5.3.2 Pedestal.

#### 5.3.2.1 Dimensionamiento.

La dimensión cara a cara del pedestal será el mayor valor entre:

- Diámetro del círculo de pernos + 203 mm.
- Diámetro del círculo de pernos + 5 veces el diámetro de los pernos.
- Diámetro del círculo de pernos + diámetro de la camisa del perno + 152 mm.

El mayor diámetro obtenido para las tres opciones anteriores corresponde a la letra a, dando como resultado una dimensión de cara del pedestal  $L = 863$  mm. Por tener un tamaño menor de 1.250 mm se empleará un pedestal de sección cuadrada.

La altura del pedestal viene dada por la profundidad de ubicación del suelo firme indicado en el estudio de suelo. Los registros de perforación de campo deben ser analizados simultáneamente con la ejecución de las perforaciones, a fin de determinar si existe una correlación lógica entre los resultados correspondientes a perforaciones adyacentes. En caso de que no exista correlación, deberán hacerse perforaciones inmediatas con objeto de localizar los cambios de estratos.

En este caso particular se asumirá la altura del pedestal  $h_p = 1,40$  m, ya que, los estudios de suelo registrados en el Departamento de Ingeniería determinaron que la ubicación del suelo firme se encuentra aproximadamente a 1,50 metros de profundidad del nivel actual.

#### 5.3.2.2 Acero de Refuerzo.

La unión entre el pedestal y la zapata debe constar de suficientes barras de refuerzo vertical, a fin de contrarrestar la separación entre estos elementos. Estas son dimensionadas empleando la ecuación 2.6 que se presenta a continuación:

$$Tensión = \frac{4M}{BC.N} - \frac{W}{N} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde:

M = Momento máximo de volcamiento en la base del pedestal.

N = Número de barras (asumido).

BC = Tamaño del pedestal menos 0,152 m.

W = Peso del recipiente más el pedestal.

Para calcular el Momento máximo de volcamiento en la base del pedestal se emplean las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  calculadas en la sección 5.3.1 Pernos de anclaje.

$$F_1 = 1.564,95lb \times 1,5 = 2.341,43lb.$$

$$F_2 = 1.046,68lb \times 1,5 = 1.570,02lb.$$

El momento máximo de volcamiento se obtiene como la suma de los momentos producidos por las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  sobre la base del pedestal, conociendo que la altura del pedestal  $h_p = 1,40 \text{ m} \rightarrow 4,59 \text{ pies}$ , es decir:

$$M = M_1 + M_2 \rightarrow \text{donde } M_1 = b_1 \times F_1 \text{ y } M_2 = b_2 \times F_2$$

$$M = 2.341,43lb \times (16,404 + 4,59) \text{ pie} + 1.570,02lb \times (41,585 + 4,59) \text{ pie} = 121.689,74 \text{ lb.pie}$$

Convirtiendo el momento máximo de volcamiento en la base del recipiente de sistema inglés a sistema internacional, para poder introducirlo en la ecuación 2.7, conociendo que:  $1 \text{ lb.pie} \rightarrow 1,3558 \text{ N.m}$

$$M = 121.689,74 \text{ lb.pie} \rightarrow 164.986,95 \text{ N.m}$$

Peso del Pedestal ( $W_{\text{pedestal}}$ ), se calcula como el producto entre la densidad del concreto y el Volumen ocupado por el pedestal.

$$V_{\text{pedestal}} = L^2 \times h_p = (0,83)^2 \times 1,4 = 0,964 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{pedestal}} = \rho_{\text{concreto}} \times V_{\text{pedestal}} = 2.500 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,964 \text{ m}^3 = 2.410 \text{ Kg} \rightarrow 23.618 \text{ N}$$

$$\text{Tensión} = \frac{4 \times (164.986,95)}{(0,863 - 0,152) \times (20)} - \frac{(23.618 + 8.860)}{20} = 44.785,93 \text{ N} \rightarrow 4.566,90 \text{ Kg}$$

A través de la ecuación 2.7, se puede obtener el área requerida de barras, conociendo que el esfuerzo admisible del acero de refuerzo es de 4.200 Kgf/cm<sup>2</sup>.

$$\text{Área requerida de barras} = \frac{\text{Tensión}}{\text{Esfuerzo _ admisible}} \rightarrow \text{Ec. (2.7)}$$

$$\text{Área requerida de barras} = \frac{4.566,9\text{Kgf}}{4.200 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}} = 1,087\text{cm}^2$$

El diámetro de las barras de acero de refuerzo será entonces  $\varnothing = 1,087 \text{ cm} \rightarrow 0,428 \text{ pulgadas}$ , aproximando al valor nominal más cercano  $\varnothing = \frac{1}{2}''$ . Los requerimientos de acero de refuerzo para el pedestal corresponde a 20 cabillas verticales # 4, es decir, de  $\varnothing = \frac{1}{2}''$ , con ligaduras # 4 a separación máxima de 380 mm.

### 5.3.3 Diseño de Zapatas.

Los datos encontrados de la exploración de suelo arrojaron que la resistencia del mismo es de 0,75 Kgf/cm<sup>2</sup> y por ser un relleno es poco portante, por lo cual se empleará para el dimensionamiento de la zapata una resistencia de suelo  $R_s = 0,5 \text{ Kgf/cm}^2$ , asumiendo así un valor conservador de este parámetro. A fin de evitar fallas por fuerza cortante y cargas dinámicas, se utilizará un factor de seguridad mínimo de 2,5 con respecto a la carga total sobre la fundación.

El espesor mínimo de la zapata según “Procedimiento de Ingeniería de Fundaciones de Recipientes Verticales” de PDVSA debe ser de 300 mm.

Conociendo la altura de la zapata, se puede calcular el peso de la misma por unidad de superficie  $A = 1 \text{ m}^2$ , como:  $V_z = A \times h_z = 1 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} = 0,3 \text{ m}^3$  y con el peso del concreto armado  $W = 2.500 \text{ Kg/m}^3$  se obtiene de esta manera que el peso por unidad de superficie de la zapata es:

$$W_z = 0,3 \text{ m}^3 \times 2.500 \text{ Kg/m}^3 = 750 \text{ kg.}$$

Asumiendo un área de zapata de 2,5 m<sup>2</sup>, para realizar una primera iteración, se tiene que el peso total soportado por el suelo debe ser la suma de los pesos de la columna C-200 en operación, el pedestal y la zapata calculados en las secciones anteriores por el factor de seguridad mínimo FS = 2,5.

$$W_{total} = (1.150,33 \text{ Kg} + 2.410 \text{ Kg} + (750 \times 2,5) \text{ Kg}) \times 2,5 = 13.588,33 \text{ Kg}.$$

La resistencia del suelo a utilizar es  $R_s = 0,5 \text{ Kgf/cm}^2$ , mientras que la resistencia de la zapata de fundación es  $R_f = 750 \text{ Kgf/m}^2 \rightarrow 0,075 \text{ Kgf/cm}^2$ , por lo tanto, a través de la siguiente ecuación se obtiene la dimensión del lado de la zapata.

$$L_z = \sqrt{\frac{W_{total}}{R_s - R_f}} \rightarrow \text{Ec. (5.4)}$$

Sustituyendo los valores de  $W_{total}$ ,  $R_s$  y  $R_f$  en la ecuación 5.4 se obtiene la dimensión del lado de la zapata.

$$L_z = \sqrt{\frac{13.588,33}{0,5 - 0,075}} = 178,81 \text{ cm} \approx 1,8 \text{ m}$$

Debido a que el lado de la zapata no excede la longitud 2,10 m, esta no tendrá forma octogonal sino cuadrada y el refuerzo mínimo en la parte inferior de la zapata constará de cabillas #5 (5/8" de diámetro) separadas a cada 300 mm lado.

Por otra parte, en el "Manual para Cálculo de Edificios", del Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales se muestra que para fundaciones cuadradas en suelos de resistencia  $R_s = 0,5 \text{ Kgf/cm}^2$ , las fundaciones de lado 180cm y espesor 30cm, sometidas a cargas de 13.870 Kg aproximadamente, debe existir un área de acero de refuerzo de 6,64 cm<sup>2</sup>, es decir, 14 cabillas de 5/16" de diámetro.

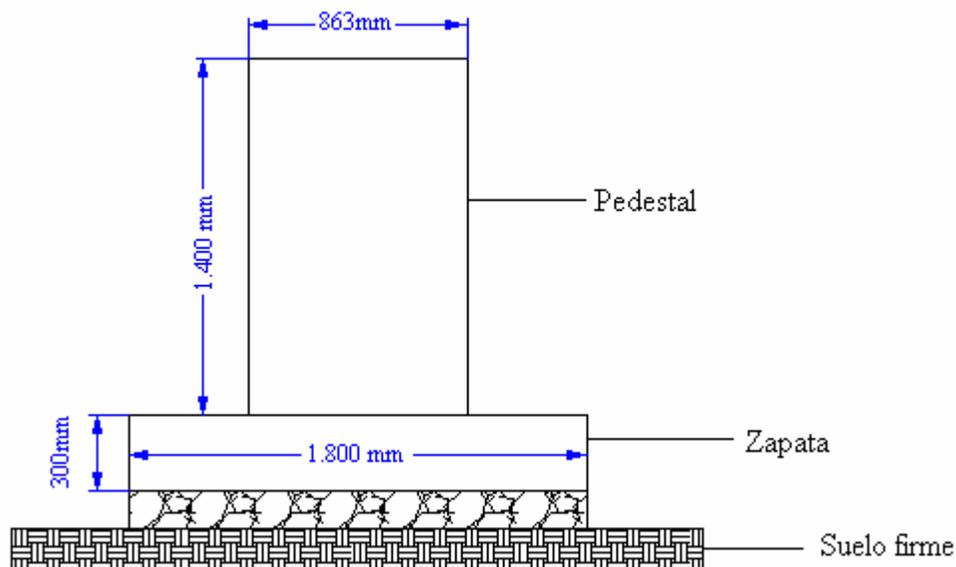
Siendo la opción más conservadora el refuerzo mínimo exigido para Fundaciones de Recipientes Verticales de PDVSA, se toma esta opción para cubrir las exigencias de acero de refuerzo en la zapata.

### 5.3.4 Dimensiones de la Fundación de la Columna C-200.

En la Tabla 5.3, se muestran las dimensiones y materiales de cada una de las partes de la fundación diseñada para la Columna de Fraccionamiento C-200.

**Tabla 5.3. Características de la Fundación de la Columna C-200.**

Parte de la Fundación	Material	Dimensiones
Acero de refuerzo del Pedestal	acero normalizado	20 cabillas verticales de $\varnothing = 1/2''$ , con ligaduras de $\varnothing = 1/2''$ a 380 mm máx.
Acero de refuerzo de la Zapata	acero normalizado	Cabillas $\varnothing = 5/8''$ cada 300 mm en 2 direcciones, con una longitud de 2.000 mm
Pedestal	concreto armado	Cuadrado, de lado 863 mm y con altura de 1.400 mm.
Pernos de anclaje	acero ASTM A 307	18 pernos de $\varnothing = 1/2''$ y longitud 250 mm formando un círculo de 660 mm.
Zapata	concreto armado	Cuadrada, de lado 1.800 mm y con altura de 300 mm.



**Figura 5.2.** Diseño de Fundación para Columna C-200.

## **CAPÍTULO VI**

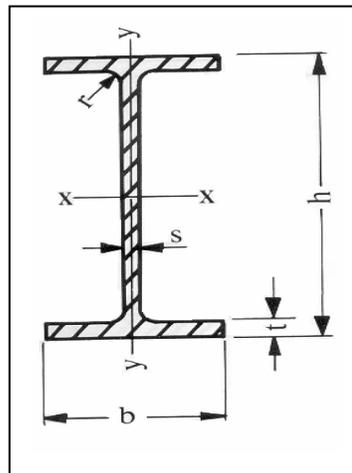
Estudio de la Estructura de Soporte  
de la Columna de Fraccionamiento C-200

## 6 ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA COLUMNA C-200.

La Estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200, sirve de alojamiento de los equipos principales y como anclaje de la columna, ésta se encuentra conformada principalmente de perfiles estructurales de acero IPE y WF (wide flange) de calidades ASTM-A-36 y los pisos están diseñados en rejillas electroforjadas.

### 6.1 Perfiles Estructurales de Acero Vigas IPE.

Las vigas IPE, son perfiles estructurales fabricados en acero, compuestos de un alma de espesor “s” y dos alas iguales de ancho “b” y espesor “t”, como se muestra en la Figura 6.1. En la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200, son empleados como vigas horizontales en la posición mostrada, con respecto al eje horizontal, X, para soportar las cargas distribuidas a lo largo del área de la superficie de una de sus alas y como soporte de las escaleras que dan acceso a la estructura.



**Figura 6.1.** Perfil Estructural IPE.

En la Tabla 6.1 se muestran las dimensiones del alma y las alas de los perfiles estructurales IPE que se emplean en la estructura de soporte, además de propiedades tales como el peso, área de su sección transversal y momentos de inercia con respecto a los ejes X y Y identificados en la Figura 6.1.

**Tabla 6.1. Dimensiones y Propiedades de los Perfiles IPE.**

Perfiles IPE													
IPE	Dimensiones (mm)					Área	Peso	Momento respecto a los ejes					
								Eje X-X			Eje Y-Y		
								$I_x$ cm <sup>4</sup>	$S_x$ cm <sup>3</sup>	$R_x$ cm	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$S_y$ cm <sup>3</sup>	$R_y$ cm
(I)	h	b	s	t	r	cm <sup>2</sup>	Kg/m						
100	100	55	4,1	5,7	7	10,30	8,1	171	34,2	4,07	15,90	5,78	1,24
160	160	82	5,0	7,4	9	20,10	15,8	869	109,0	6,58	68,20	16,60	1,84
180	180	91	5,3	8,0	9	23,90	18,8	1320	146,0	7,42	101,00	22,10	2,05
200	200	100	5,6	8,5	12	28,50	22,4	1940	194,0	8,26	142,00	28,40	2,23

Donde:

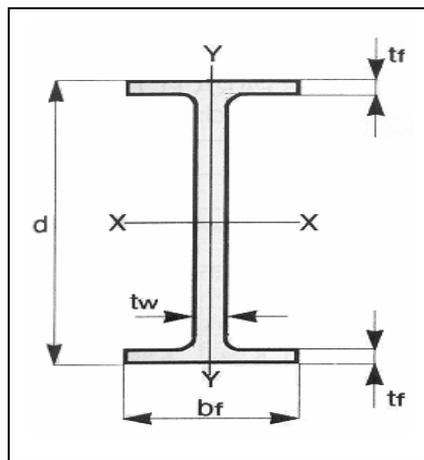
I = Momento de Inercia.

S = Momento de Resistencia.

R = Radio de Inercia, siempre referidos al eje de flexión correspondiente.

### 6.2 Perfiles Estructurales de Acero Vigas WF (WIDE FLANGE).

Al igual que los perfiles IPE, los perfiles estructurales WF conocidos como perfiles de ala ancha (ver Figura 6.2), están conformados por un alma de espesor “tw” y dos alas iguales de ancho “bf” y espesor “tf”. En la estructura de soporte se emplean en las columnas y vigas centrales, debido a que sus características geométricas le confieren una alta resistencia a cargas de compresión y flexión.



**Figura 6.2.** Perfil Estructural WF.

En la Tabla 6.2, se pueden observar las dimensiones y características de los diferentes perfiles WF utilizados en la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200.

**Tabla 6.2. Dimensiones y Propiedades de los Perfiles WF.**

Perfiles WF														
Designación	Peso	Área	Dimensiones				Propiedades						Constantes	
WdxPeso	P	A	Altura	Alas		Alma	Eje X-X			Eje Y-Y			Flexión	
			d	bf	tf	tw	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>T</sub>	d/Af
Plgxl/pie	Kgf/m	cm <sup>2</sup>	mm				cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm <sup>-1</sup>
w24x55	83,3	106	599	178	12,8	10,0	57300	1910	23,2	1210	136	3,38	4,31	2,62
w21x44	66,8	85,1	525	165	11,4	8,89	35900	1370	20,5	861	104	3,18	4,04	2,78
w16x26	39,9	50,8	399	140	8,76	6,35	13000	652	16,0	400	57,2	2,80	3,50	3,26
w14x61	91,7	117	353	254	16,4	9,53	26900	1530	15,2	4470	352	6,19	6,92	0,848
w14x53	80,0	102	354	205	16,8	9,40	22800	1290	15,0	2400	235	4,86	5,52	1,03
w14x43	64,7	82,4	347	203	13,5	7,75	18000	1040	14,8	1880	185	4,78	5,46	1,27
w14x38	56,8	72,4	358	172	13,1	7,87	16100	900	14,9	1110	129	3,92	4,54	1,59
w14x36	53,9	68,7	356,5	171,5	12,35	7,56	15150	851	14,85	1040	121	3,90	4,53	1,69
w14x34	51,0	64,9	355	171	11,6	7,24	14200	802	14,8	970	113	3,87	4,51	1,79

Donde:

I = Momento de Inercia.

S = Momento de Resistencia.

r = Radio de Inercia, siempre referidos al eje de flexión correspondiente.

### 6.3 Rejillas Electroforjadas.

Las rejillas electroforjadas se emplean en esta estructura como pisos para sustentar algunos de los equipos principales de la Columna C-200, permitir el acceso del personal al área interna de la estructura para realizar el mantenimiento de los equipos y servir de soporte para algunas de las tuberías del proceso. Las propiedades de estas rejillas se detallan en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3. Dimensiones y Propiedades de la Rejilla Electroforjada.**

Pletina (pulg.)	Pletina (mm)	Peso
Alto x espesor	Alto x espesor	Kg/m <sup>2</sup>
1¼"x1/8"	31,8 x 3,2	35,91

Estas rejillas electroforjadas vienen en paneles de medidas estándares de 0,91 m X 3,05 m o, 0,91 m X 6,10 m de ancho X largo respectivamente, por lo cual la estructura de soporte debe poseer un conjunto de perfiles estructurales I-100 denominados por su función “correas” y son empleados para la sujeción y apoyo de los paneles y aportar las vigas de la estructura.

#### **6.4 Sistema de Identificación de los Miembros Estructurales.**

Con el fin de establecer un orden para designar los perfiles correspondientes para cada miembro que conforma la estructura de soporte de la Columna C-200, se diseñó un sistema de numeración conformado por números y letras para facilitar la ubicación de los miembros y la construcción del modelo a ensayar con el programa SAP 2000 NonLinear. Este sistema de numeración consta de 4 dígitos, los cuales proporcionan la ubicación exacta y la función que cumple el tramo dentro de la estructura.

El primer dígito representado por una letra, describe la función a la cual está destinado el tramo en la estructura de soporte. De esta forma, como se conoce que la estructura se encuentra conformada por vigas y columnas, se emplea el siguiente criterio.

1. Se asigna una letra C, si el tramo corresponde a una columna.
2. Se asigna la letra V, si el tramo corresponde a una viga.

El segundo dígito corresponde a un número entre 1 y 6, el cual indica el nivel de la estructura en el cual se ubica el perfil.

El tercer dígito de este sistema de identificación, especifica la dirección que tiene el perfil estructural con respecto a los ejes cartesianos X, Y, Z. De esta manera se empleará el siguiente criterio:

1. Se asigna la letra Z a todas las columnas sin excepción.
2. Se designa con la letra X, todas aquellas vigas distribuidas en dirección del eje X, como se muestra en la Figura 6.4, (Isometría de la Estructura de Soporte).
3. Se le asigna la letra Y a todas aquellas vigas que poseen la misma dirección del eje Y indicado en la Figura 6.4.

Por último, el cuarto dígito indicado con números, sirve para enumerar el tramo e indicar su posición en el nivel correspondiente de la estructura de soporte, bajo el siguiente juicio:

1. Se enumeran por separado las vigas de las columnas, comenzando por el número 1.
2. Cada vez que se culmine la enumeración de los perfiles de un nivel, se reinicia nuevamente la cuenta partiendo desde el número 1.
3. En el caso de las vigas:
  - 3.1 Primero se asignan los tramos en la dirección del eje X, siguiendo el orden de izquierda a derecha y posteriormente desde adelante hacia atrás, como se visualiza en la Figura 6.4, Isometría de la Estructura de Soporte.
  - 3.2 Después se enumeran los perfiles en la dirección del eje Y (ver Figura 6.4), desde adelante hacia atrás, partiendo de la vista frontal BB (ver Apéndice 3.2)
4. En el caso de las columnas se enumeran de izquierda a derecha y desde adelante hacia atrás, según se muestra en la vista frontal en el Plano de la Estructura (ver Apéndice 3.2).

Los dígitos se separan con un guión de la siguiente forma: C-2-X-3. De esta forma se dice que el tramo mencionado corresponde a una columna, ubicada en el segundo nivel de la estructura de soporte, en dirección del eje X y en la tercera posición de izquierda a derecha.

En la Tabla 6.4 mostrada a continuación se especifica el tipo de perfil estructural que posee cada tramo de la estructura aplicando el sistema de identificación anteriormente explicado.

**Tabla 6.4. Especificación de los Perfiles Estructurales por Tramo de la Estructura.**

Identificación	Perfil Estructural	Identificación	Perfil Estructural
C-1-Z-1	WF-14X53	V-1-X-5	I - 160
C-1-Z-2	WF-14X61	V-1-X-6	I - 180
C-1-Z-3	WF-14X53	V-1-Y-7	WF-24X55
C-1-Z-4	WF-14X38	V-1-Y-8	WF-24X55
C-1-Z-5	WF-14X53	V-1-Y-9	WF-24X55
C-1-Z-6	WF-14X61	V-1-Y-10	WF-14X36
C-1-Z-7	WF-14X53	C-2-Z-1	WF-14X53
C-1-Z-8	WF-14X38	C-2-Z-2	WF-14X61
V-1-X-1	I - 160	C-2-Z-3	WF-14X53
V-1-X-2	I - 160	C-2-Z-4	WF-14X38
V-1-X-3	I - 180	C-2-Z-5	WF-14X53
V-1-X-4	I - 160	C-2-Z-6	WF-14X61

Tabla 6.4. Especificación de los Perfiles Estructurales de la Estructura. (Continuación)

Identificación	Perfil Estructural	Identificación	Perfil Estructural
C-2-Z-7	WF-14X53	C-4-Z-5	WF-14X53
C-2-Z-8	WF-14X38	C-4-Z-6	WF-14X43
V-2-X-1	I - 160	V-4-X-1	I - 160
V-2-X-2	I - 160	V-4-X-2	I - 160
V-2-X-3	I - 180	V-4-X-3	I - 160
V-2-X-4	I - 160	V-4-X-4	I - 160
V-2-X-5	I - 160	V-4-Y-5	WF-16X26
V-2-X-6	I - 180	V-4-Y-6	WF-21x44
V-2-Y-7	WF-21X44	V-4-Y-7	WF-16X26
V-2-Y-8	WF-21X44	C-5-Z-1	WF-14X43
V-2-Y-9	WF-21X44	C-5-Z-2	WF-14X53
V-2-Y-10	WF-14X34	C-5-Z-3	WF-14X43
C-3-Z-1	WF-14X53	C-5-Z-4	WF-14X43
C-3-Z-2	WF-14X61	C-5-Z-5	WF-14X53
C-3-Z-3	WF-14X53	C-5-Z-6	WF-14X43
C-3-Z-4	WF-14X38	V-5-X-1	I - 160
C-3-Z-5	WF-14X53	V-5-X-2	I - 160
C-3-Z-6	WF-14X61	V-5-X-3	I - 160
C-3-Z-7	WF-14X43	V-5-X-4	I - 160
C-3-Z-8	WF-14X53	V-5-Y-5	WF-16X26
C-3-Z-9	WF-14X43	V-5-Y-6	WF-21x44
C-3-Z-10	WF-14X43	V-5-Y-7	WF-16X26
C-3-Z-11	WF-14X53	C-6-Z-1	WF-14X43
C-3-Z-12	WF-14X43	C-6-Z-2	WF-14X53
V-3-X-1	I - 160	C-6-Z-3	WF-14X43
V-3-X-2	I - 160	C-6-X-4	WF-14X43
V-3-X-3	I - 160	C-6-X-5	WF-14X53
V-3-X-4	I - 160	C-6-X-6	WF-14X43
V-3-Y-5	WF-16X26	V-6-X-1	I - 200
V-3-Y-6	WF-21x44	V-6-X-2	I - 200
V-3-Y-7	WF-16X26	V-6-X-3	I - 200
C-4-Z-1	WF-14X43	V-6-X-4	I - 200
C-4-Z-2	WF-14X53	V-6-Y-5	WF-12X31
C-4-Z-3	WF-14X43	V-6-Y-6	WF-12X31
C-4-Z-4	WF-14X43	V-6-Y-7	WF-12X31

**NOTA:** Los perfiles estructurales empleados en las escaleras son del tipo I-180 sin excepción.

Los perfiles estructurales empleados para los arriostramientos son I-100 sin excepción.

## **6.5 Ubicación de los Equipos en la Estructura de Soporte.**

Los arreglos generales y separación entre los diferentes equipos identificados en la Tabla 2.1, de la sección 2.3, en el área de las instalaciones de la planta Ingramelca Derivados del Petróleo, S.A., se realizan bajo los criterios especificados en el “Manual de Ingeniería de Riesgos” de PDVSA y la Tabla 2.5.

### **6.5.1 Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200.**

Una separación de 3 metros, es generalmente adecuada, según el Manual de Ingeniería de Riesgos, para operación y mantenimiento de la columna de fraccionamiento, además que permite el acceso para combate de incendios. Para el caso de los Precalentadores, la separación con respecto a la unidad de fraccionamiento de gasolina residual, puede reducirse a 2 metros por ser intercambiadores que operan a temperaturas menores que la de auto-inflamación de la materia prima.

### **6.5.2 Precalentadores y Condensador de Producto de Tope.**

Los precalentadores se deben ubicar en la planta baja de la estructura a nivel del suelo. En la ubicación de estos intercambiadores que manejan productos inflamables debe tenerse cuidado especial con la separación respecto a equipos con fuego.

Una separación de 1,5 metros, según el Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA, permite el acceso para operación y mantenimiento; en el caso de los precalentadores de materia prima E-202, E-203 y E-204 los cuales poseen condiciones de operación similares, pueden ser agrupados con una separación mínima entre sí de 1 metro.

El condensador de producto de tope E-201, se localiza en el segundo nivel de la estructura de soporte por debajo del domo superior de la unidad de fraccionamiento C-200 de manera de permitir el flujo por gravedad del producto IDP-200.

### 6.5.3 Tambor de Destilado.

El Tambor de destilado V-200 se ubica en el primer nivel de la estructura por debajo del condensador de tope para permitir el flujo por gravedad de IDP-200 proveniente de condensador E-201. Por ser un recipiente de proceso, se aplica una separación de 3 metros para efectos de operación, mantenimiento y acceso en caso de incendio.

### 6.5.4 Rehervidor.

El Rehervidor termosifón E-200, se instala de forma vertical junto a la columna C-200 de manera de disminuir las pérdidas de transferencia de calor en las tuberías, disminuir los consumos de energía y proveer mejores condiciones al proceso.

### 6.5.5 Bombas de Proceso.

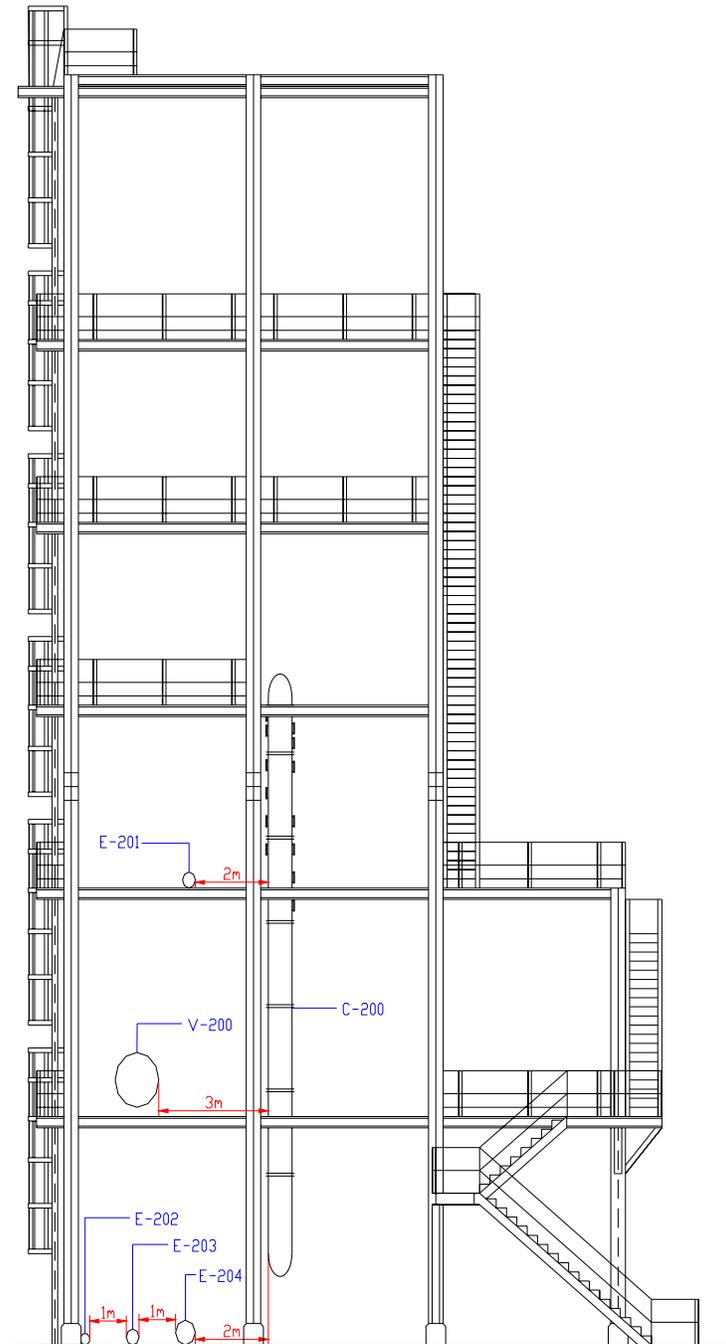
Las bombas en este proceso de fraccionamiento de Gasolina Residual, sin excepción se colocarán a nivel del terreno de la planta. Estas bombas trabajan a temperaturas menores que las de auto-ignición del fluido del proceso, por lo cual, una separación de 3 metros permite un acceso aceptable para el combate de incendios. Las bombas para un mismo servicio requieren una separación de 1 metro, para efectuar los trabajos de operación y mantenimiento.

La separación asignada entre equipos para este proceso se muestra en la Tabla 6.5.

**Tabla 6.5. Distancia entre Equipos en la Estructura de Soporte.**

	C-200	E-200	E-201	E-202	E-203	E-204	V-200
<b>Columna C-200</b>	-	0,40 m	2,00 m	4,80 m	3,50 m	2,00 m	4,85 m
<b>Rehervidor E-200</b>	0,4 m	-	6,70 m	4,40 m	3,10 m	1,60 m	5,90 m
<b>Condensador E-201</b>	2,00 m	6,70 m	-	9,75 m	9,66 m	9,50 m	3,80 m
<b>Pre calentador E-202</b>	4,80 m	4,40 m	9,75 m	-	1,00 m	2,26 m	4,5 m
<b>Pre calentador E-203</b>	3,50 m	3,10 m	9,66 m	1,00 m	-	1,00 m	4,65 m
<b>Pre calentador E-204</b>	2,00 m	1,60 m	9,50 m	2,26 m	1,00 m	-	4,74 m
<b>Acumulador V-200</b>	4,85 m	5,90 m	3,80 m	4,5 m	4,65 m	4,74 m	-

En la siguiente Figura 6.3 se muestra la posición en que se colocarán la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales en la estructura de soporte aplicando las distancias establecidas en la Tabla 6.5.



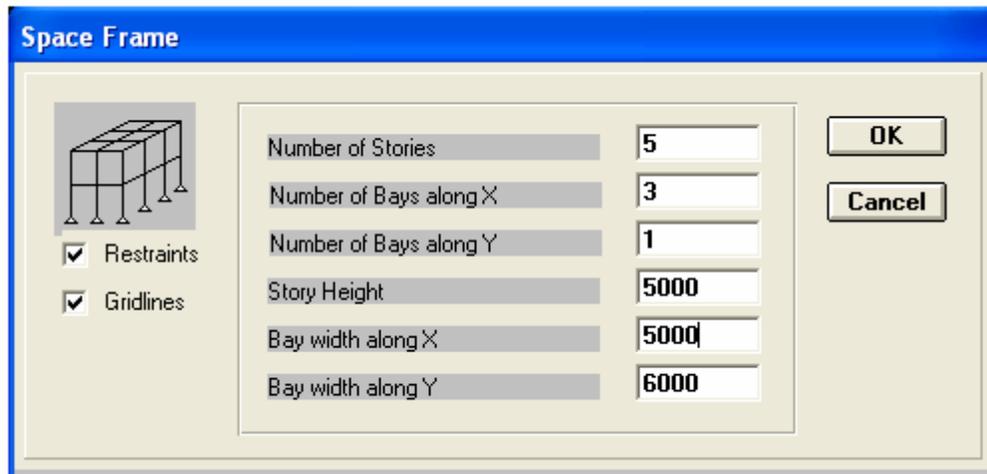
**Figura 6.3.** Disposición de los Equipos en la Estructura de Soporte.

## 6.6 Modelo Estructural.

El modelo de la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200 se realizó empleando el Programa SAP 2000 NonLinear y se diseñó siguiendo los planos de la sección 6.2, en el cual se muestra la forma como se encuentran dispuestos cada uno de sus componentes formando los pórticos y escaleras. Las dimensiones y propiedades de los perfiles estructurales utilizados para la fabricación de la estructura se muestran en las Tablas 6.1 y 6.2.

El programa SAP 2000 NonLinear como se muestra en la Figura 6.4, pide como datos de entrada para realizar el diseño tridimensional de la estructura los siguientes parámetros:

1. Número de niveles.
2. Número de pórticos en la dirección del eje X.
3. Número de pórticos en la dirección del eje Y.
4. Altura de los niveles.
5. Separación entre las columnas de los pórticos en el eje X.
6. Separación entre las columnas de los pórticos en el eje Y.

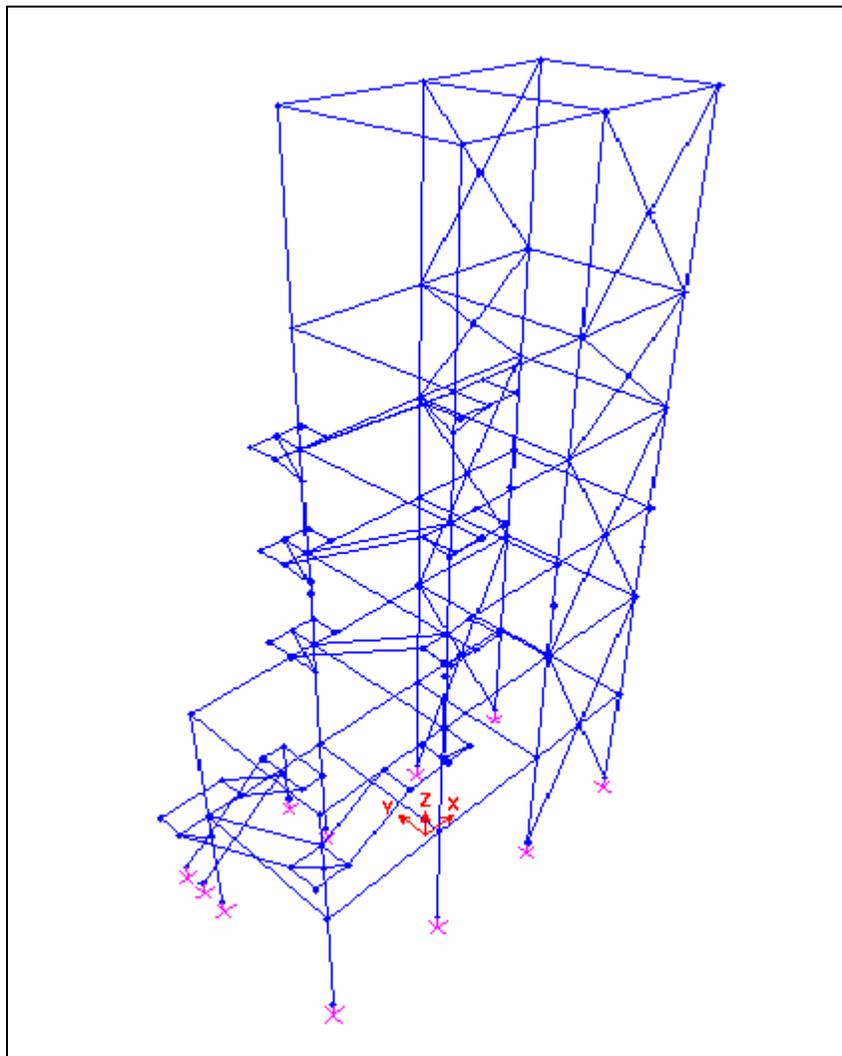


**Figura 6.4.** Datos de Entrada para Diseño del Modelo Estructural en SAP 2000 NonLinear.

Los extremos inferiores de la estructura quedan directamente restringidos a cualquier movimiento como un empotramiento. Una vez establecidas las características básicas de la

estructura, se completan uno a uno los elementos necesarios para construir las escaleras, cruces y demás elementos señalados en el Apéndice 3.2. Posteriormente se deben definir los materiales, perfiles estructurales señalados por tramos siguiendo el sistema de identificación como se especifica en la Tabla 6.4 y sus propiedades mostradas en las Tablas 6.1 y 6.2, que luego se asignarán al modelo, para realizar una simulación que más se acerque lo más posible a la situación real.

La isometría del modelo elaborado de la estructura de soporte empleando el Programa SAP 2000 NonLinear puede observarse en la Figura 6.5.



**Figura 6.5.** Isometría de la Estructura de Soporte.

### 6.6.1 Cálculo de Esfuerzos sobre la Estructura de Soporte.

Una vez realizado el modelo de la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento y sus equipos principales, asignando los perfiles estructurales, propiedades, etc., se procede a calcular las cargas actuantes sobre la estructura. Estas cargas se clasifican en cargas o acciones variables, cargas o acciones permanentes y cargas por viento.

#### 6.6.1.1 Cargas o Acciones Variables.

De la Norma COVENIN MINDUR 2002-88 de nombre “Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones”, de la Dirección General Sectorial de Edificaciones del Ministerio del Desarrollo Urbano, se especifican las cargas vivas sobre entresijos que deben ser consideradas para el diseño de estructuras. Con los datos obtenidos de esta norma se construyó la Tabla 6.6, correspondiente a las cargas variables mínimas para las cuales deben calcularse las edificaciones según su uso.

**Tabla 6.6. Cargas Variables sobre Entresijos para Diseño de Edificaciones Industriales.**

Uso	Carga Distribuida en Kg/m <sup>2</sup>
Azoteas sin acceso	100
Azoteas destinadas a un uso	150
Balcones (*)	igual a la del local que les da acceso
Escaleras	365
Descansos	365
Depósitos	750
Áreas de trabajo y operación	400
Fábricas (cargas livianas)	500

(\*) Además se considerará una carga de 150 Kg/m lineal aplicada en el extremo del voladizo.

#### 6.6.1.2 Cargas o Acciones Permanentes.

Las cargas o acciones permanentes son las que siempre actúan sobre la estructura y no varían en el tiempo. Comprende el peso propio de la estructura y de los componentes no estructurales

que permanecen allí. Para etapas de predimensionamiento, se pueden utilizar las siguientes cargas uniformes señaladas:

1. En plataformas metálicas, el piso de la estructura portante y la rejilla de piso se calculará con una carga permanente no inferior a 100 kgf/m<sup>2</sup>.
2. Peso en operación de los equipos: Peso vacío más el peso del fluido de operación.
3. El peso propio de la estructura. (Es considerado por el programa al asignar los materiales).

La Tabla 6.7 muestra las Cargas Permanentes consideradas para el estudio de la estructura.

**Tabla 6.7. Cargas Permanentes sobre la Estructura de Soporte.**

Elemento	Tipo de Carga	Carga	
Rejilla	Distribuida	→	100 Kgf/m <sup>2</sup>
Peso en operación del Condensador E-201	Puntual	8.931,82 N	910,80 Kgf
Peso en operación del Acumulador V-200	Puntual	15.287,41 N	1.558,88 Kgf

Los pesos en operación de los demás equipos calculados en la sección 3.1, no actúan directamente sobre la estructura debido a que se no se encuentran ubicados en los entresijos de la misma.

### **6.6.1.3 Cargas o Acciones por Viento.**

Son las acciones producidas por el aire en movimiento sobre objetos que se le interponen, y consisten, principalmente en empujes y succiones. Se consideran en este caso las acciones producto de la presión del viento sobre el Acumulador V-200, el Condensador E-201 y la Columna C-200 que son los equipos que se encuentran de alguna forma conectados a la estructura.

De la sección 5.3 se conoce que las fuerzas producto de la presión ejercida por el viento, sobre la Columna de Fraccionamiento C-200 son:

$$F_1 = q_{efectiva} \times C_s \times A_1 = 16 \times 1,4 \times 2,13 \times 32,8 = 1.564,95 \text{ lb.}$$

$$F_2 = q_{efectiva} \times C_s \times A_2 = 20 \times 1,4 \times 2,13 \times 17,55 = 1.046,68 \text{ lb.}$$

Las cuales multiplicadas por el factor de seguridad FS =1,5, aumentan su magnitud a:

$$F_1 = 2.347,43 \text{ lb.}$$

$$F_2 = 1.570,02 \text{ lb.}$$

Empleando el mismo procedimiento que en la sección 5.3, se realiza el cálculo de las acciones del viento sobre el Condensador de Tope E-201 y el Acumulador V-200. En la Tabla 6.8 se pueden observar las fuerzas resultantes producto de la acción del viento los equipos alijados en la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200, las cuales se distribuyen uniformemente sobre los perfiles de la estructura de soporte.

**Tabla 6.8. Acciones del Viento sobre los Equipos.**

Equipo	Fuerza (lbf)	Fuerza (Kgf)
Columna C-200 a una altura menor a 10 m.	2.347,43	1.064,77
Columna C-200 a una altura mayor de 10 m.	1.570,02	712,15
Condensador E-201	522,16	236,85
Tambor de Destilado V-200	1.063,30	482,31

#### 6.6.1.4 Método de los Estados Límites.

La estructura y sus componentes necesitan ser diseñados para las más críticas combinaciones de carga. Las ecuaciones 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 representan las combinaciones de carga nominal que deben ser usadas para el cálculo de los esfuerzos en los miembros estructurales, extraídas de la Norma COVENIN 1618-98, “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”.

$$1,4xCM \rightarrow \text{Ec. (6.1)}$$

$$1,2xCM + 1,6xCV \rightarrow \text{Ec. (6.2)}$$

$$1,2xCM + 1,3xW + 0,5xCV \rightarrow \text{Ec. (6.3)}$$

$$1,2xCM - 1,3x W + 0,5xCV \rightarrow \text{Ec. (6.4)}$$

Donde,

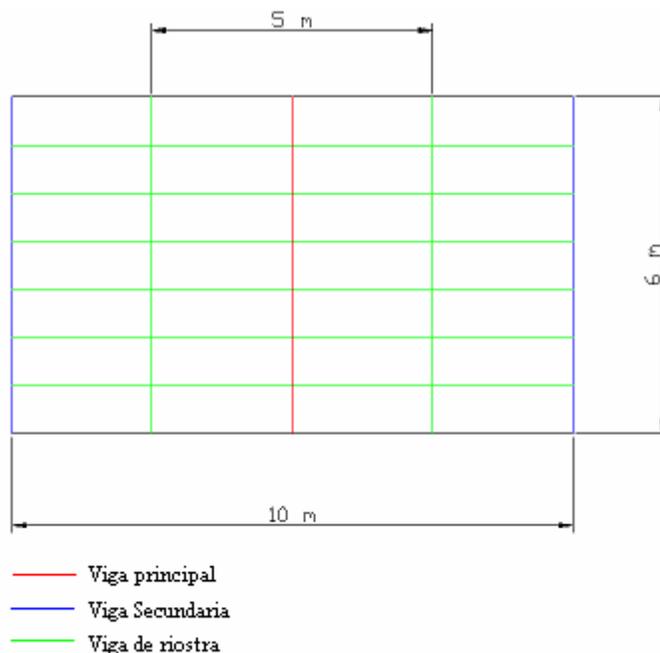
CM: Carga Permanente. (Carga Muerta)

CV: Cargas Variables. (Cargas Vivas)

W: Cargas por efecto del Viento.

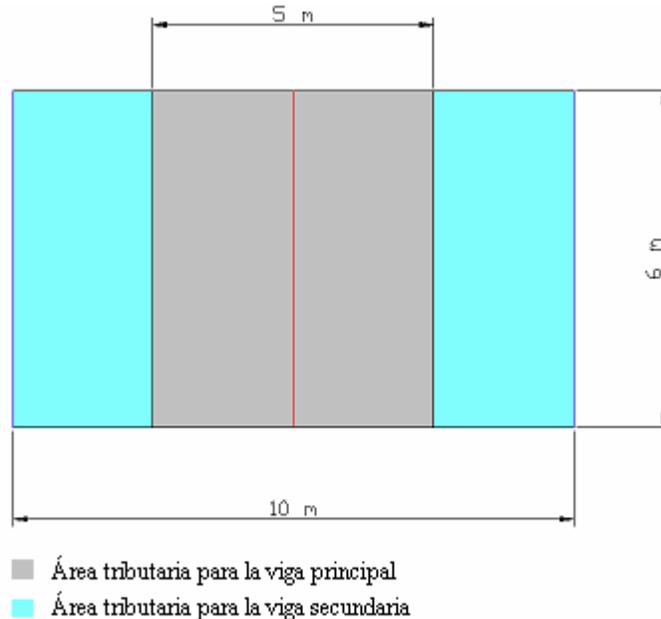
De manera de simplificar la introducción de datos de cargas al programa, se realiza el cálculo de las fuerzas actuantes sobre cada uno de los niveles o entrepisos, tomando en cuenta el peso de la rejilla y los criterios y acciones mínimas exigidos por la Norma COVENIN 2002-88 para el diseño de Edificaciones, a través del método del área tributaria para establecer las cargas distribuidas a ser aplicadas sobre cada uno de los elementos de la estructura.

En la Figura 6.6 se muestra la distribución de la vigas en un entrepiso o nivel de la estructura de soporte de la Columna, donde se identifica la viga principal, que es la viga que soporta la mayor cantidad de carga en el entrepiso, las vigas secundarias y las vigas de riostra que ayudan a distribuir las fuerzas actuantes sobre toda el área de los entrepisos, a las vigas principales y secundarias.



**Figura 6.6.** Entrepiso de la Estructura de Soporte.

Una vez conocida la distribución de las vigas en los entrepisos de la estructura de soporte, se indica en la Figura 6.7 el área de carga correspondiente a cada viga.



**Figura 6.7.** Distribución de Áreas Tributarias.

Una vez conocidos todos los datos de cargas, áreas tributarias, etc., se introducen estos valores en el programa SAP 2000, para evaluar el comportamiento del modelo de la estructura de soporte por el método de los estados límites considerando las combinaciones de carga señaladas en las ecuaciones 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.

En la Figura 6.8, se muestra el cuadro del Programa SAP 2000 NonLinear denominado “Load Combination Data” (Datos de combinación de cargas), donde se introducen las combinaciones de carga viva, muerta y de viento y sus coeficientes de mayorización, según las ecuaciones del método de los estados límites. En este caso particular se ejemplifica la introducción de datos de combinación de carga para el caso identificado con la ecuación 6.2.

Establecidas las combinaciones de cargas posibles, se corre el programa para verificar que no haya errores en el modelo estructural relacionados con el posicionamiento de los perfiles, introducción de cargas, entre otras opciones.

**Load Combination Data**

Load Combination Name: 2

Load Combination Type: ADD

Title: 2

**Define Combination**

Case Name	Scale Factor
MUERTA Load Ca	1.2
MUERTA Load Case	1.2
VIVA Load Case	1.6

Buttons: Add, Modify, Delete

Use for Steel Design:  Use for Concrete Design:

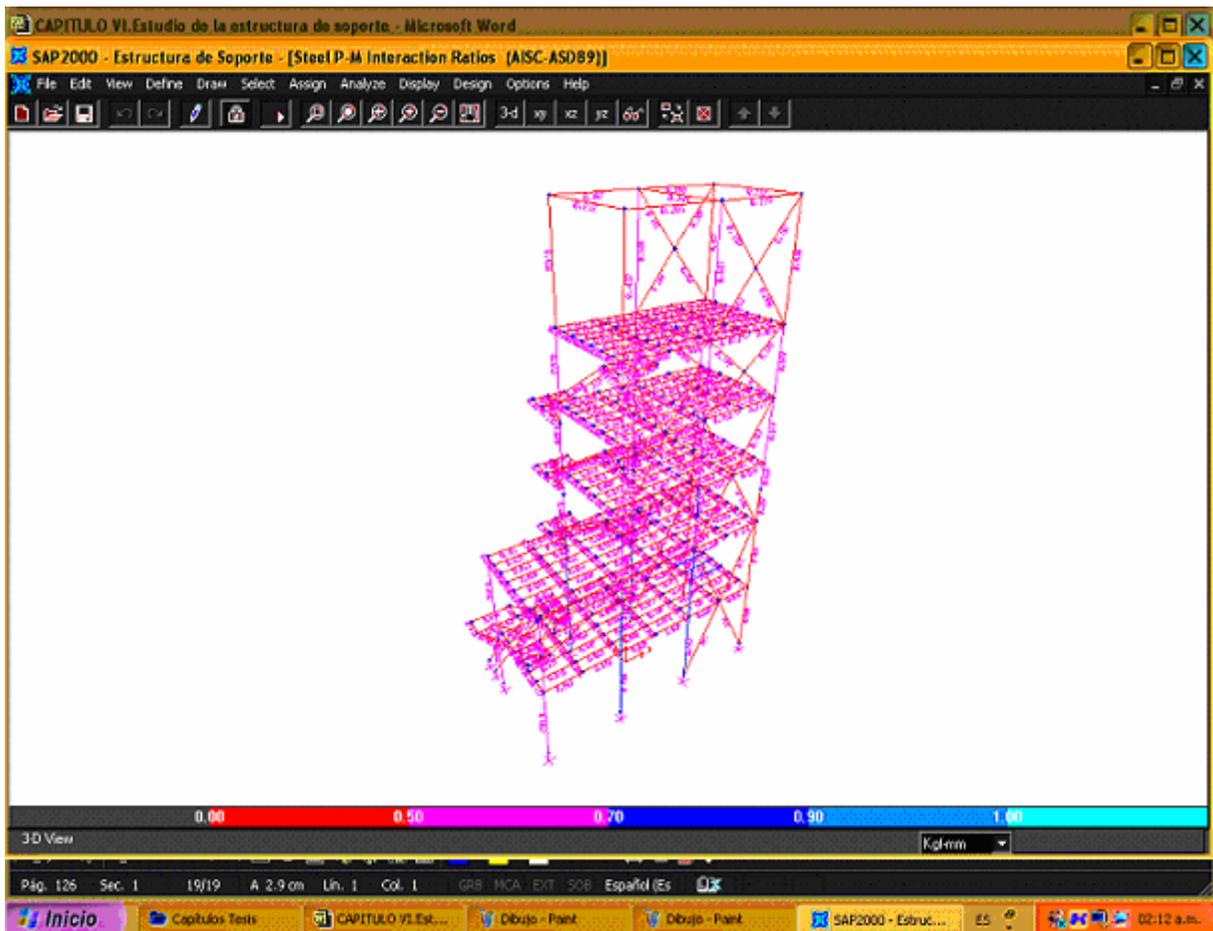
Buttons: OK, Cancel

**Figura 6.8.** Cuadro Introducción de Datos de Combinación de Cargas.

Como se observa en la Figura 6.9, el programa realiza un análisis individual de cada elemento que conforma el modelo de la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200, representado en colores la capacidad de carga a la que se encuentra sometido el perfil. Esta capacidad es indicada en un radio que va desde 0 (cero), hasta 1 (uno). Cada color especifica un valor de radio diferente como se indica a continuación:

1. **El color Rojo:** establece un radio de 0 a 0,5 de la capacidad máxima representada con la unidad, que puede soportar un elemento a las diferentes combinaciones de carga estudiada.
2. **El color Rosado:** indica un radio de 0,5 a 0,7 de la capacidad total representada por la unidad.
3. **El color Azul Oscuro:** identifica a los elementos que se encuentran sometidos a un radio comprendido en 0,7 y 0,9 de su capacidad total.

4. **El color Azul Claro:** representa a los elementos que soportan un radio de 0,9 a 1 de la carga total a la que pueden ser sometidos.
5. **El color Aguamarina:** identifica a los elementos que por alguna combinación de carga, momento o esfuerzo falla por encontrarse en un radio superior a 1, es decir que las combinaciones de carga, exceden los límites permisibles del perfil produciendo la falla del elemento estructural.



**Figura 6.9.** Radios de Acción de las Cargas sobre la Estructura de Soporte.

Los resultados de la simulación del modelo de la estructura de soporte de la Columna de Fraccionamiento C-200, para las diferentes combinaciones de carga, empleando el método de los estados límites se observan en la Figura 6.9. En esta figura se evidencia el comportamiento

de la estructura, mostrando que los elementos más solicitados se encuentran en un rango entre los valores 0,7 y 0,9 representado por el color azul oscuro.

En la Figura 6.10 se muestra en detalle, las características del elemento sometido a mayor carga. Este elemento corresponde a un perfil WF-14x53 cuyo valor de radio es 0,758, lo cual indica que el elemento se encuentra sometido a un 75,8% de su capacidad máxima permisible. En esta hoja se muestra además los valores en Kgf-mm de los momentos con respecto a los ejes 2 y 3, correspondientes a los ejes cartesianos X y Y mostrados en la Figura 6.5.

A través del análisis del modelo estructural queda comprobado que el diseño de la estructura de soporte planteado en este capítulo no falla considerando las especificaciones de la normas COVENIN 2002-88 y 1618-98 para diseño de edificaciones.

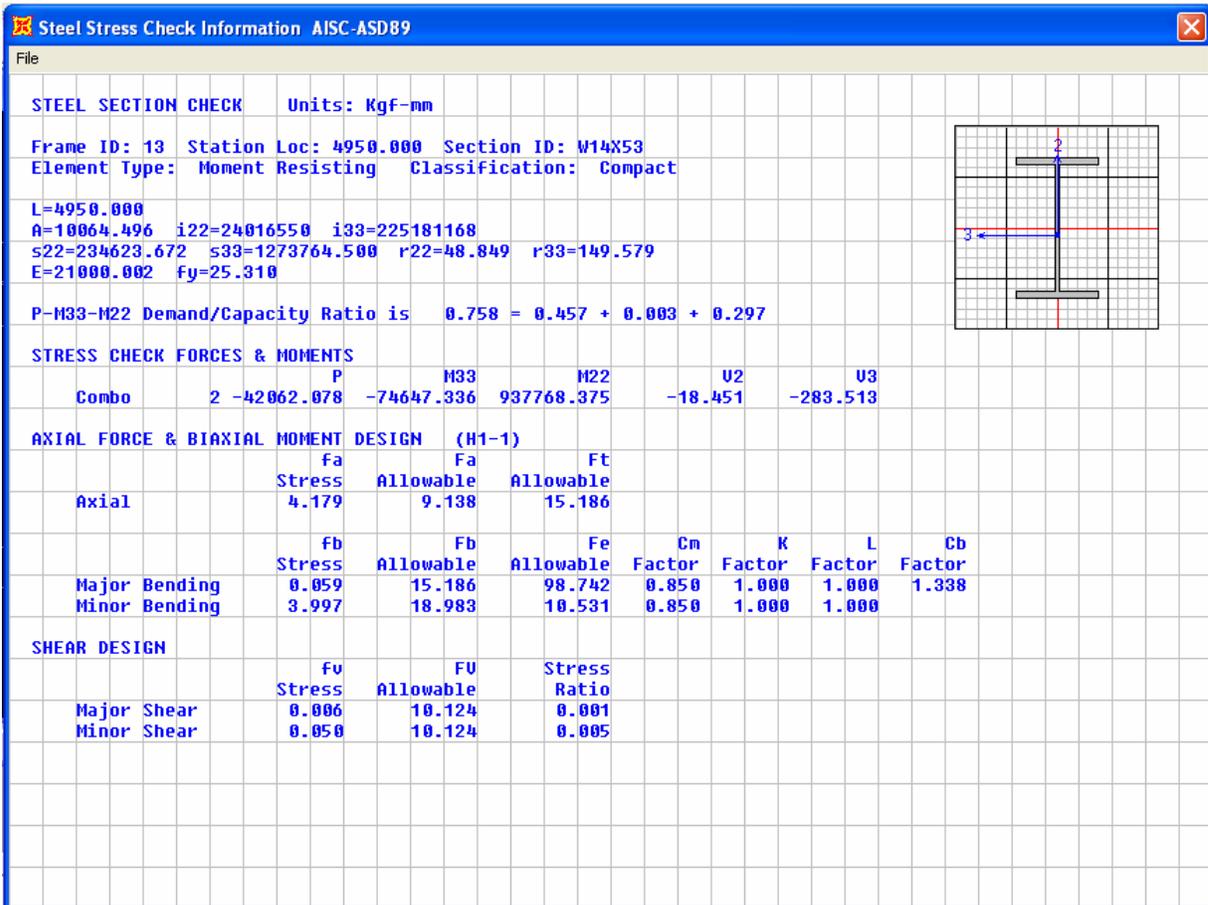


Figura 6.10. Hoja de Información de Análisis de Estrés de Acero.

## **CAPÍTULO VII**

Dimensionamiento de las Redes de Tuberías de la  
Columna de Fraccionamiento C-200

## 7 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS DE LA COLUMNA C-200.

Existen diferentes criterios de diseño empleados por las compañías para el dimensionamiento de tuberías, pero en general todos dirigidos al logro de un objetivo común como lo es el obtener el tamaño óptimo desde el punto de vista técnico-económico. En este capítulo se realiza el dimensionamiento de las líneas de proceso de fraccionamiento de gasolina residual desde el punto de vista de la Ingeniería Básica.

### 7.1 Determinación de los Diámetros de las Tuberías.

Como se explica en la sección 2.16.2 el dimensionamiento de las líneas del proceso de fraccionamiento de gasolina residual, se basa en las cantidades de flujo que corren a través de las tuberías respetando la ecuación 2.10 (Ecuación de la Continuidad) y los siguientes criterios de velocidades:

#### 1 Para Fluidos en Fase Líquida:

- Succión de Bombas: se debe mantener una velocidad entre 3 y 6,6 pie/seg (1 y 2 m/s), para evitar la sedimentación de sólidos.
- Descarga de Bombas: se debe asumir una velocidad entre 3 y 10 pies/s (1 y 3 m/s).
- Flujo por Gravedad: asumir los mismos valores de velocidad de la succión de bombas, considerando además 0,20 psi. como máximo valor del criterio de caída de presión.

#### 2 Para Fluidos en Fase Gaseosa:

- Se deben asumir velocidades entre 33 y 65 pie/s (10 y 20 m/s).

#### 3 Para Fluidos Bifásicos (L+G):

- Se deben tomar velocidades en pie/s aproximadamente igual a 60 dividido por la raíz cuadrada de la densidad de la mezcla en lb/pie<sup>3</sup>.

#### 7.1.1 Tuberías del Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual.

En este proceso de fraccionamiento de gasolina residual encontramos que la materia prima a lo largo de las etapas presenta tres fases diferentes como son, estado líquido representado con la letra L, gaseoso identificado con la letra G y bifásico representado por la suma L+G. En la Tabla 7.1 se muestran las condiciones necesarias para realizar el dimensionamiento

de los diámetros de las tuberías especificados por números de línea como se identifica en el Apéndice 3.1 (Diagrama de Tuberías e Instrumentos).

**Tabla 7.1. Fases y Caudales de los Fluidos en las Líneas del Proceso.**

Nº de Línea	Fase del Fluido	Caudal x 10 <sup>-2</sup> (pie <sup>3</sup> /s)	Densidad (lb/pie <sup>3</sup> )	Ubicación de la Línea
1	L	0	47,76	
2	L	5,00	47,07	Succión Bomba
3	L	5,00	47,07	Descarga Bomba
4	L	5,20	45,26	Paso Precaentador
5	L+G	5,31	44,26	Paso Precaentador
6	L+G	7,50	31,40	Paso Precaentador
7	G	246	1,36	Gravedad
8	L	8,02	41,64	Gravedad
9	L	8,00	41,70	Succión Bomba
10	L	4,85	41,58	Reflujo
11	L	3,17	41,58	Paso Precaentador
12	L	2,93	45,01	A Tanque
13	L	12,03	42,33	Flujo por Gravedad
14	L	9,60	42,33	Termosifón
15	L	2,44	42,33	Succión Bomba
16	L	2,64	39,14	Descarga Bomba
17	G	255	1,51	Flujo por Gravedad
18	L	8,90	43,33	Flujo por Gravedad
19	L	8,90	43,33	Succión Bomba
20	L	7,30	43,33	Reflujo
21	L	1,60	43,33	Paso Precaentador
22	L	1,48	46,70	A Tanque
23	L	7,62	41,83	Termosifón
24	L	0,82	41,83	Succión Bomba
25	L	0,82	41,64	Paso Precaentador
26	L	0,76	45,14	A Tanque

Sustituyendo los datos suministrados en la Tabla 7.2 en las ecuaciones 2.11 y 2.12 para fluidos en estado líquido o bifásico y fluidos en estado gaseoso respectivamente, se obtienen un primer valor de los diámetros para cada una de las líneas. Posteriormente se aproxima a un valor de diámetro nominal y se recalcula la velocidad media del fluido en cada línea.

$$D = \sqrt{\frac{4xQ}{\pi xV}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.11)}$$

$$D = \sqrt{\frac{4xm}{\rho xVx\pi}} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.12)}$$

En la Tabla 7.2, se muestran los valores de velocidad y diámetros seleccionados para cada tramo de tubería, según las características del fluido y los criterios antes mencionados.

**Tabla 7.2. Diámetros de las Líneas del Proceso y Velocidades de los Fluidos.**

Nº de Línea	Velocidad Media (m/s)	Velocidad Media (pie/s)	Diámetro (pulg)
1	0	0	
2	1,24	4,07	1½
3	1,24	4,07	1½
4	1,29	4,23	1½
5	2,97	9,74	1
6	3.01	9,88	1
7	15,3	50,20	3
8	1,12	3,67	2
9	1,12	3,67	2
10	2,71	8,89	1
11	1,77	5,81	1
12	1,64	5,38	1
13	1,68	5,51	2
14	1,34	4,40	2
15	1,36	4,46	1
16	1,36	4,46	1
17	15,43	50,62	3
18	1,24	4,07	2
19	1,24	4,07	2
20	1,81	5,94	1½
21	1,47	4,82	¾
22	1,47	4,82	¾
23	1,89	6,20	1½
24	1,83	6,00	½
25	1,83	6,00	½
26	1,70	5,58	½

A través de esta Tabla 7.2 se demuestra que los diámetros seleccionados cumplen con los criterios de velocidades especificados en la sección 7.1.

### **7.1.2 Tuberías para Servicios del Proceso.**

El Dimensionamiento de las tuberías de los servicios del proceso se realiza bajo los criterios especificados en la Guía para el Dimensionamiento de Tuberías de MARAVEN y las consideraciones expresadas en la sección 7.1.

#### **7.1.2.1 Tubería para Agua de Enfriamiento.**

El agua de enfriamiento se utiliza en el enfriador de producto de tope de la Columna de Destilación C-200. El intercambiador de calor E-201 se integra al circuito de la torre de enfriamiento existente en la planta. El consumo másico de este intercambiador es cercano a los 2900 Kg/h a una temperatura de 25°C.

Conociendo que la densidad del agua a 25 °C es  $\rho = 997,08 \text{ Kg/m}^3$ , se tiene que el caudal de agua de enfriamiento es  $Q = 2,91 \text{ m}^3/\text{h}$ . Empleando la ecuación 2.11 suponiendo una velocidad entre 1 y 3 m/s para la descarga de la bomba, se obtiene un primer diámetro de la línea de 2,27 cm  $\rightarrow$  0,89 pulgadas, aproximando al diámetro nominal más próximo se tiene que el diámetro de la línea de agua de enfriamiento es  $D = 1''$  con una velocidad media  $V = 5,25 \text{ pie/s} \rightarrow 1,6 \text{ m/s}$ .

#### **7.1.2.2 Tubería de Aire para Instrumentos.**

Como se conoce, este proceso de fraccionamiento de gasolina residual se desea implantar como una remodelación de un proceso que funcionaba anteriormente en la planta. Ingramelca D.P, S.A. cuenta actualmente con un compresor Atlas Copco de 25 Hp que trabaja a 1745 rpm, produciendo un caudal  $Q = 45 \text{ lt/s}$  de aire comprimido a una presión de 8,8 bares exclusivamente para suplir las necesidades de instrumentación de la planta. Este compresor cuenta además con un Secador de marca Atlas Copco, el cual ayuda a aumentar la presión del aire hasta 20 bares.

De esta forma el dimensionamiento de las tuberías de aire para instrumentación se reduce únicamente al correspondiente a la línea de alimentación de los instrumentos de la Columna C-200. El tamaño de la línea depende entonces del número de relevadores y

puede dimensionarse a través de la Tabla 7.3 extraída de la “Guía para el Dimensionamiento de Tuberías” de MARAVEN.

**Tabla 7.3. Dimensiones de Ramales de Alimentación de Aire para Instrumentos.**

Número de Relevadores	Tamaño del Ramal
1 a 5	½"
6 a 20	1"
21 a 50	1½"
51 a 100	2"
101 a 300	3"

La Columna C-200 como se muestra en el diagrama de tuberías e instrumentos (ver apéndice), cuenta con cuatro relevadores por lo cual de la Tabla 7.3, el diámetro seleccionado para la red de alimentación de aire para instrumentos es de ½”.

#### 7.1.2.3 Tubería para Sistema de Aceite Caliente.

Se utiliza como medio de calentamiento en el rehervidor E-200 de la Columna de Fraccionamiento C-200, presentando un consumo estimado, en términos de Kcal/h de 66.000 y un flujo másico  $m = 4.386,17 \text{ Kg/h}$ .

La Tabla 7.4 extraída de la Guía para el Dimensionamiento de Tuberías de MARAVEN, permite dimensionar las líneas de aceite térmico conociendo la cantidad de caudal requerido para el precalentador E-200 que fluye a través de las tuberías.

**Tabla 7.4. Dimensiones de Ramales del Sistema de Aceite Caliente.**

Caudal en GPM	Tamaño
0 – 5,9	1" Cédula 80
6 – 19,9	1½" Cédula 80
20 – 34,9	2" Cédula 80
35 – 100	3" Cédula 40
101 – 300	4" Cédula 40

La densidad del aceite térmico a aproximadamente 200 °C es  $\rho = 790 \text{ Kg/m}^3$ , lo que permite calcular el caudal requerido por el rehervidor empleando la ecuación 7.1.

$$Q = m \times \rho \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (7.1)}$$

Donde,

$Q$  = Caudal  $\rightarrow$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

$m$  = Flujo másico  $\rightarrow$  [ $\text{Kg}/\text{h}$ ].

$\rho$  = Densidad  $\rightarrow$  [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ].

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 7.1, se obtiene  $Q = 5,55 \text{ m}^3/\text{h}$ , pero la Tabla 7.4 suministra los datos del caudal en galones por minuto (GPM), por lo cual conociendo que  $1 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 4,403 \text{ GPM}$ , se convierte el valor del caudal obteniéndose el nuevo valor de  $Q = 24,42 \text{ GPM}$  lo que arroja un tamaño del ramal de alimentación de aceite caliente al rehervidor E-200 de 2" y un número de lista de 80.

## 7.2 Selección del Material de las Tuberías.

La selección de los materiales para una aplicación específica requiere de un conocimiento de las condiciones más críticas de los procesos de la industria. Organizaciones encargadas de la investigación de estos procesos constantemente improvisan métodos para el manejo de los siempre crecientes encontrados en el transporte de fluidos de la industria moderna.

La selección de los materiales de tuberías en esta sección, se basa en la aplicación general a la que se utiliza la tubería según las especificaciones de la ASTM, considerando aspectos como el fluido a transportar, la compatibilidad química entre el fluido y el material de la tubería y las condiciones de presión y temperatura a las que se somete la línea.

### 7.2.1 Tuberías para Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual.

El material seleccionado para las tuberías debe poseer resistencia química y compatibilidad con el fluido de trabajo, en este caso particular nos referimos a la gasolina residual entre temperaturas de 30 y 163 °C.

El material de construcción de las tuberías debe ser capaz de cumplir con los requerimientos de las aplicaciones generales designadas por la ASTM, donde se detalla

que para procesos de baja temperatura son requeridos materiales que resistan valores altos contra impacto.

Materiales resistentes a la corrosión son usualmente empleados para este tipo de proceso, entre los cuales califican los aceros inoxidable, aluminio, cobre y sus aleaciones, pero la compatibilidad química con la gasolina y fracciones de petróleo reduce la selección de materiales a los aceros inoxidable 304 y 316, siendo estos los más económicos.

Para las especificaciones de temperatura entre 30 y 163 °C se seleccionó el Acero A312 TP 304, el cual presenta un buen desempeño de resistencia química, corrosión y valores de estrés permisibles dentro de este rango de temperaturas. En la Tabla 7.5 se muestran las especificaciones ASTM de este material.

El valor de fatiga admisible para tuberías en plantas de proceso “S”, correspondiente a tuberías fabricadas en acero inoxidable A 312 TP 304 para las condiciones máximas de servicio de 163 °C es 14.662 psi y su factor de calidad de fabricación “E” es 1. (Valores seleccionados del texto “Diseño de Tuberías para Plantas de Proceso”. Howard Rase, según las normas ASA B.31.3).

**Tabla 7.5 Especificaciones ASTM del Acero Inoxidable A 312 TP 304.**

Material	Especificaciones ASTM				Composición Química %				
	Número	Grado	Mínimo U.T.S (psi)	Fluencia (psi)	C	Si (máx)	Cr	Mn (máx)	Ni
18-8Cr Ni Tipo 304	A 312	TP 304	75.000	30.000	0,08	0,75	18,0/20,0	2,0	8,0/11,0

**7.2.2 Tuberías para Servicios del Proceso.**

Debido a que el proceso de fraccionamiento gasolina residual se requiere de la utilización de agua de enfriamiento para el condensador de tope de la Columna C-200, aceite térmico empleado en el rehervidor E-200 y aire de instrumentación para el control de válvulas neumáticas, los cuales no poseen las mismas condiciones de operación y propiedades diferentes, se realiza una selección de materiales para cada servicio en específico.

### **7.2.2.1 Tuberías para Agua de Enfriamiento.**

El agua de enfriamiento empleada para el condensador de Producto de Tope de la Columna C-200 es agua tratada, proveniente de la torre de enfriamiento de la planta a una temperatura de 25 °C.

Considerando las características del fluido antes mencionadas y empleando los criterios de clasificación de la ASTM, donde se menciona que para aplicaciones de líneas de vapor o agua y procesos no corrosivos se pueden emplearse aceros al carbono, se selecciona como material para las tuberías de esta línea un acero al carbono A-53 soldado por resistencia eléctrica con características de factor de calidad  $E = 0,85$  y esfuerzo máximo admisible  $S = 11.600$  psi para temperaturas por debajo de 100 °C.

### **7.2.2.2 Tuberías para Aire de Instrumentación.**

Al igual que la línea de agua de enfriamiento empleada para el condensador de producto de tope, la línea de aire para instrumentos entra en la clasificación propuesta por la ASTM para una aplicación general de un proceso no corrosivo. De esta forma se puede considerar la utilización del acero al carbono A-53 sin costura con un factor de calidad  $E = 1$  y esfuerzo básico permisible para temperaturas por debajo de 100 °C  $S = 20.000$  psi como material para las tuberías de aire para instrumentación.

### **7.2.2.3 Tuberías para Sistema de Aceite Caliente.**

Las tuberías del sistema de aceite empleado para el rehervidor de la Columna C-200, surten aceite térmico a una temperatura alrededor de los 200°C. Para este tipo de servicio se puede emplear como material para las tuberías acero inoxidable A 312 TP 304 de iguales especificaciones del empleado para las tuberías del proceso de fraccionamiento.

## **7.3 Determinación de los Espesores de Pared de las Tuberías.**

La determinación de los espesores de pared de las tuberías se realiza considerando factores como la calidad de fabricación de la tubería, las condiciones más críticas de presión del

proceso estudiado, en este caso corresponden a las presiones internas de las tuberías, entre otros. Empleando la ecuación 2.15 de la sección 2.16, se obtienen los espesores mínimos de pared para cada una de las líneas requeridas en el proceso, los cuales son aproximados a los espesores nominales mostrados en cualquier tabla de tuberías, para cumplir con los estándares de la industria.

$$t_m = \frac{PD}{2(SE + Py)} + A \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Donde:

$t_m$  = Espesor mínimo admisible  $\rightarrow$  [pulgadas].

$P$  = Presión interna máxima de servicio  $\rightarrow$  [lb/pulg<sup>2</sup>].

$D$  = Diámetro externo del tubo  $\rightarrow$  [pulgadas].

$S$  = Esfuerzo máximo admisible en el material debido a la presión interna  $\rightarrow$  [lb/pulg<sup>2</sup>].

$E$  = Factor de calidad.

$y$  = Un coeficiente, cuyos valores se dan en la Tabla 2.7.

$A$  = Margen que se añade para el roscado, resistencia mecánica y corrosión  $\rightarrow$  [pulgadas].

### 7.3.1 Tuberías para Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual.

Como se aprecia en el Apéndice 3.3 (Diagrama de Tuberías e Instrumentos) y la Tabla 7.2, a lo largo de este proceso de fraccionamiento de gasolina residual, se presentan variaciones de los diámetros de las líneas y presiones y temperaturas del fluido de trabajo, por lo cual se hace necesario determinar para las condiciones más críticas del proceso, los espesores de pared requeridos para asegurar el correcto desarrollo del mismo.

Se conoce que, la presión máxima interna del sistema es 50 lb/pulg<sup>2</sup>, el esfuerzo admisible del material seleccionado para las tuberías es  $S = 14.662$  lb/pulg<sup>2</sup> y el factor de calidad de fabricación de la tubería es  $E = 1$ . Además de las Tablas 2.7 y 2.8 de la sección 2.16.3 se asume el coeficiente  $y = 0,4$ , debido a que la temperatura máxima de servicio se encuentra por debajo de 482 °C y los valores de  $A$  para tubos comunes o especiales de acero de extremos lisos. De esta manera al sustituir los valores de los diámetros mostrados en la

Tabla 7.2, se obtienen los resultados de los espesores mínimos requeridos y los números de lista (schedule) seleccionados que se aprecian en la Tabla 7.6.

**Tabla 7.6. Espesores de Pared para Tuberías del Proceso.**

Nº de Línea	Espesor mínimo tm x 10 <sup>-2</sup> (pulg)	Nº de Lista	Nº de Línea	Espesor mínimo tm x 10 <sup>-2</sup> (pulg)	Nº de Lista
1	6,76	10S	14	6,84	5S
2	6,76	10S	15	5,17	5S
3	6,76	10S	16	5,17	5S
4	6,76	10S	17	7,01	5S
5	5,17	5S	18	6,84	5S
6	5,17	5S	19	6,84	5S
7	7,01	5S	20	6,76	10S
8	6,84	5S	21	5,13	5S
9	6,84	5S	22	5,13	5S
10	5,17	5S	23	6,76	10S
11	5,17	5S	24	5,09	10S
12	5,17	5S	25	5,09	10S
13	6,84	5S	26	5,09	10S

### 7.3.2 Tuberías para Servicios del Proceso.

La determinación y comprobación de los espesores de las redes de tuberías de los servicios del proceso de gasolina residual se realiza de igual forma que para las tuberías de proceso.

#### 7.3.2.1 Tuberías para Servicios del Proceso Tuberías para Agua de Enfriamiento.

El agua utilizada en el sistema de agua de enfriamiento es bombeada a 35 psi desde la torre de enfriamiento. Se emplea para las tuberías un acero austenítico A-53 roscado de diámetro nominal 1” según se especifica en los cálculos de la sección 7.1.2.1, el cual posee un factor  $E = 0.85$  y un valor  $S = 11.600$  psi para temperaturas por debajo de 100 °C.

De la Tabla 2.7 se tiene para aceros austeníticos que el valor del factor “y” corresponde a 0,4. Se asume una profundidad de roscado para la tubería de 0.065 pulgadas para el coeficiente A.

Empleando la ecuación 2.15 de la sección 2.16 se obtiene entonces,

$$tm = \frac{35 \times 1}{2(13.000 \times 0,85 + 35 \times 0,4)} + 0.065 = 6,677 \times 10^{-2} \text{ pulgadas.}$$

En las tablas de propiedades de tuberías de acero comercial, se tiene que el espesor superior próximo al valor de espesor mínimo  $t_m$  corresponde a 0,109 pulgadas para un número de lista 10S.

### 7.3.2.2 Tuberías para Aire de Instrumentación.

Los datos suministrados por la empresa indican que la capacidad máxima que entrega el compresor centrífugo incluyendo el empleo del secador corresponde a 20 bares (290 psi), por lo cual se emplea este valor como la máxima presión interna del sistema. De las secciones 7.1 y 7.2 se conoce respectivamente que el diámetro de línea seleccionado para este servicio es  $D = \frac{1}{2}$ " y el material de fabricación de la tubería corresponde a un acero al carbono A 53 sin costura que posee un factor  $E = 1$  y un valor de  $S = 20.000$  psi.

El valor del factor  $y = 0,4$  se obtiene de la Tabla 2.7, considerando un acero austenítico, mientras que el valor del factor  $A = 0,05$  consigue en la Tabla 7.2 asumiendo tubo común de acero de extremos lisos. De esta forma a través de la ecuación 2.15 se obtiene el siguiente espesor mínimo de pared:

$$tm = \frac{50 \times 0,5}{2(20.000 \times 1 + 290 \times 0,4)} + 0.05 = 5,062 \times 10^{-2} \text{ pulgadas.}$$

Aproximando el valor de espesor mínimo  $t_m = 0,05062$  pulgadas, al valor de espesor de pared nominal inmediato superior de 0,065 pulgadas correspondiente a un número de lista 5S, de acuerdo con las tablas de propiedades de tubos de acero comercial, se tiene que la tubería de alimentación de aire para instrumentación debe ser de N° de lista = 5S.

### 7.3.2.3 Tuberías para Sistema de Aceite Caliente.

En la sección 7.2.2.3 se selecciona como material para el sistema de tuberías de aceite caliente el acero inoxidable A 312 TP 304, cuyas características se especifican en la

sección 7.3.1. Utilizando la ecuación 2.15 se puede verificar el espesor de pared requerido para la tubería, mostrado en la Tabla 7.4 considerando una presión máxima de 50 psi y un valor de esfuerzo máximo admisible  $S = 13.000$ .

$$t_m = \frac{50 \times 2}{2(13.000 \times 1 + 50 \times 0,4)} + 0.065 = 6,88 \times 10^{-2} \text{ pulgadas.}$$

El espesor mínimo obtenido es  $t_m = 0,0688$  pulgadas, aproximando este valor al espesor nominal inmediato superior de 0.109 pulgadas, se obtiene un espesor cuyo número de lista es 10S; por lo cual para cumplir con las normas de diseño y seguridad exigidas por la Guía de Dimensionamiento de Tuberías de MARAVEN, se toma el espesor correspondiente al número de lista o cédula 80 para las tuberías empleadas para el sistema de aceite caliente del rehervidor E-200.

#### 7.4 Determinación de los Sistemas de Bombeo.

En esta sección se realiza una breve descripción de los sistemas de bombeo empleados en el proceso de fraccionamiento de gasolina residual y los servicios auxiliares como son el caso del agua de enfriamiento empleada para el condensador E-201 y el aceite caliente utilizado en el rehervidor E-200, indicando las características de las tuberías seleccionadas, accesorios que la conforman, estimando la rugosidad de las tuberías de la redes, las pérdidas primarias y secundarias de los sistemas de bombeo y la construcción de las curvas que los caracterizan.

Las pérdidas primarias producidas por el contacto entre el fluido y el material de la tubería por efecto de la fricción por la rugosidad de la tubería se obtienen empleando la ecuación 2.16 de pérdidas de carga propuesta por Darcy-Weisbach, donde el factor de fricción  $f$  se obtiene a través de la ecuación (2.19) propuesta por Swamee una vez calculado el número adimensional de Reynolds.

Por otra parte las pérdidas secundarias o menores producidas por los accesorios expresadas por el coeficiente de pérdida  $K$ , se obtienen empleando la ecuación 2.20.

#### **7.4.1 Sistemas de Bombeo para Proceso de Fraccionamiento de Gasolina Residual.**

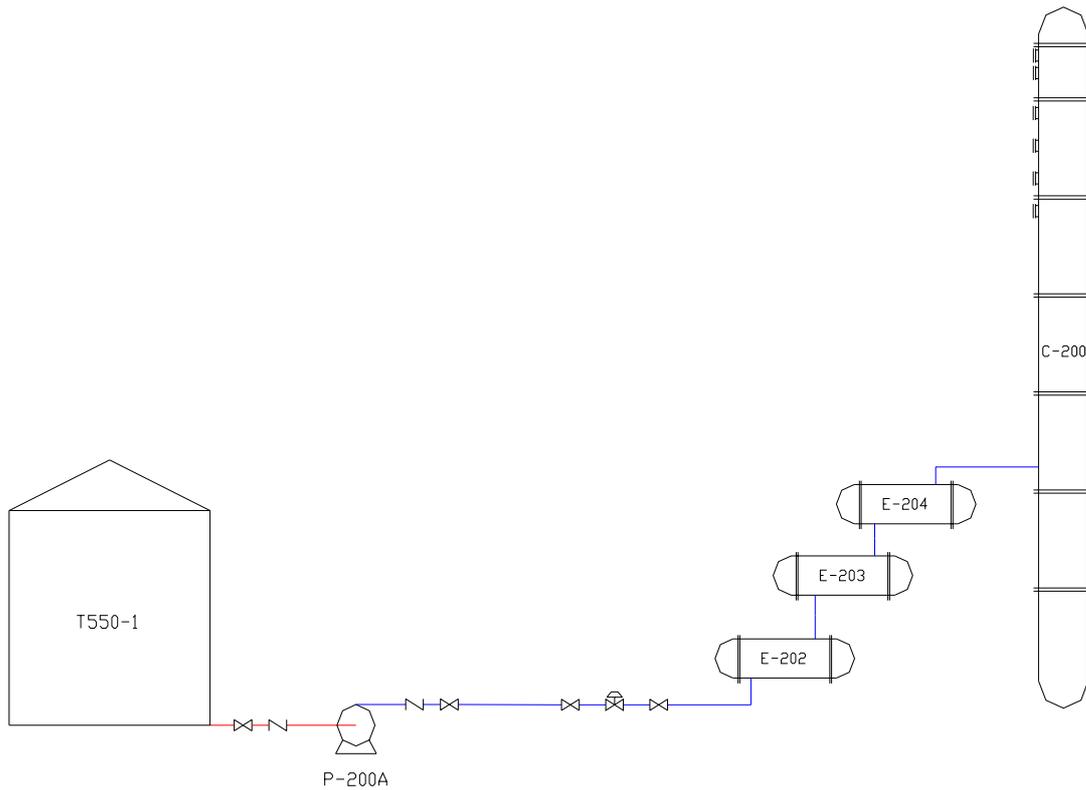
El proceso de fraccionamiento de gasolina residual estudiado, cuenta con 5 bombas que se encargan de trasladar el fluido de trabajo a través de cada una de las etapas del proceso para poder ser transformado, venciendo las pérdidas de energía producto de la fricción en las tuberías y en accesorios.

En las Figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5 se muestran los recorridos de las líneas de succión y descarga de cada una de las bombas empleadas señaladas en color rojo y azul respectivamente. Estas unidades de bombeo se identifican de la siguiente manera (ver Diagrama de Tuberías e Instrumentación):

- P-200A: se encarga de distribuir la materia prima (Gasolina Residual) desde el tanque identificado como T550-1 a la alimentación de la Columna de Fraccionamiento C-200.
- P-200B: se emplea para llevar una fracción del producto de fondo de la Columna de Fraccionamiento C-200, hasta la Unidad de Fraccionamiento C-110.
- P-201A: esta bomba se encarga de impulsar el solvente IDP 200 (producto de tope de la Columna C-200) hacia la boquilla de reflujo y al tanque de almacenamiento T120-1, pasando por el precalentador E-202.
- P-111A: esta turbomáquina bombea una fracción del producto IDP-250 (producto de tope de la Columna C-110) a la boquilla de reflujo ubicada en la parte superior de la Unidad Destiladora C-110 y la fracción restante al tanque de almacenamiento T120-2, pasando por el precalentador E-203.
- P-110B: esta unidad se emplea para bombear el producto IDP-300 (producto de fondo de la Columna C-110), hacia el tanque de almacenamiento T120-5, pasando por el precalentador E-204.

##### **7.4.1.1 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200A.**

Esta primera estación de bombeo mostrada en la Figura 7.1, realiza la succión de la materia prima del Tanque T550-1 para ser bombeada hasta la Columna de Fraccionamiento C-200. En color rojo se señala la tubería de succión de la Bomba P-200A, mientras la línea de color azul representa la tubería de descarga del sistema.



**Figura 7.1.** Sistema de Bombeo de la Unidad P-200A.

Las Tablas 7.7 y 7.8 especifican las longitudes totales de tubería, diámetros, factores de fricción y accesorios, empleados en las líneas de succión y descarga respectivamente de la Bomba P-200A.

**Tabla 7.7. Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-200A.**

Línea de Succión		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	10 m	
Diámetro de Tubería	1 1/2"	
Factor de Fricción f	0,0237	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Entrada proyectada	1	0,78
Contracción 3" - 1 1/2"	1	1,626
Válvula de compuerta	1	0,15
Válvula check	1	2,1

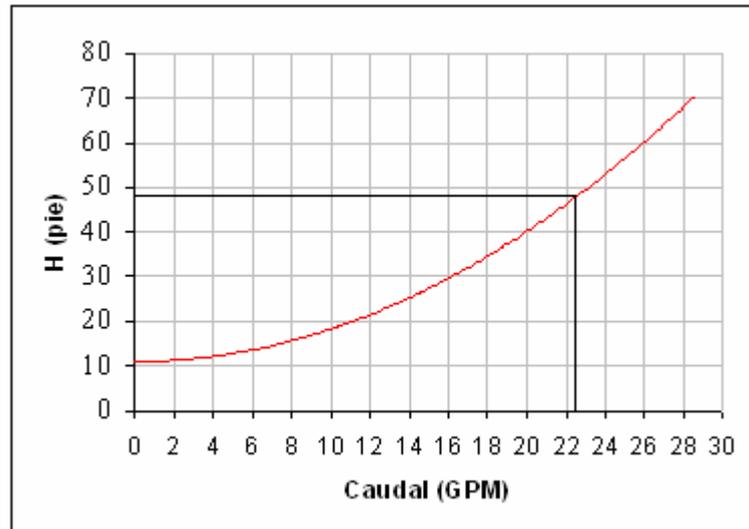
**Tabla 7.8. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-200A.**

<b>Línea de Descarga</b>		
<b>Tubería de Descarga</b>		
Longitud de Tubería	180 m	
Diámetro de Tubería	1 1/2"	
Factor de Fricción f	0,0237	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Ensanchamiento 1 1/2" - 2"	1	0,6
Contracción 2" - 1 1/2"	2	0,15
Válvula de compuerta	5	0,15
Válvula check	1	2,1
Codo 90°	10	0,63
<b>Tubería de Descarga</b>		
Longitud de Tubería	11 m	
Diámetro de Tubería	1"	
Factor de Fricción f	0,024	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Ensanchamiento 1" - 2"	1	4
Contracción 2" - 1"	1	1,88
Codo 90°	4	0,69
Salida a tanque	1	1

Empleando la ecuación 2.31 de la sección 2.18, se calculan las alturas de bombeo considerando las diferencias de presiones de operación entre en tanque T550-1 y la Columna de Fraccionamiento C-200, la diferencia de cotas entre los niveles de los fluidos de trabajo y las pérdidas primarias y secundarias del sistema producto de la fricción en las tuberías y los accesorios.

La Figura 7.2 representa la curva característica del sistema de bombeo de la unidad P-200A, construida a partir de los resultados obtenidos de las alturas de bombeo para diferentes caudales. El punto de operación de la bomba P-200A se encuentra cortando la curva característica del sistema con la línea vertical que representa el caudal de operación

$Q = 22,43$  pies (dato suministrado en el Apéndice 3.3, Diagrama de Tuberías e Instrumentos), lo que arroja como resultado de altura total de bombeo  $H = 48$  pies.



**Figura 7.2.** Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200A.

#### 7.4.1.2 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200B.

Las Tablas 7.9 y 7.10 muestran las características de las tuberías y accesorios de las etapas de succión, señalada con una línea de color rojo; y descarga, identificada por la línea de color azul, en el esquema del sistema de bombeo de la unidad P-200B mostrado en la Figura 7.3.

**Tabla 7.9.** Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-200B.

Línea de Succión		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	12 m	
Diámetro de Tubería	1"	
Factor de Fricción $f$	0,0248	
Rugosidad Absoluta $K_s$	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Válvula de compuerta	1	0,18
Válvula check	1	2,3
Codo 90°	2	0,69

Tabla 7.10. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-200B.

Línea de Descarga		
Tubería de Descarga		
Longitud de Tubería	28	
Diámetro de Tubería	1"	
Factor de Fricción $f$	0,0248	
Rugosidad Absoluta $K_s$	0,046 mm	
Accesorios		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Válvula de compuerta	5	0,18
Válvula check	1	2,3
Codo 90°	8	0,69
Salida a tanque	1	1

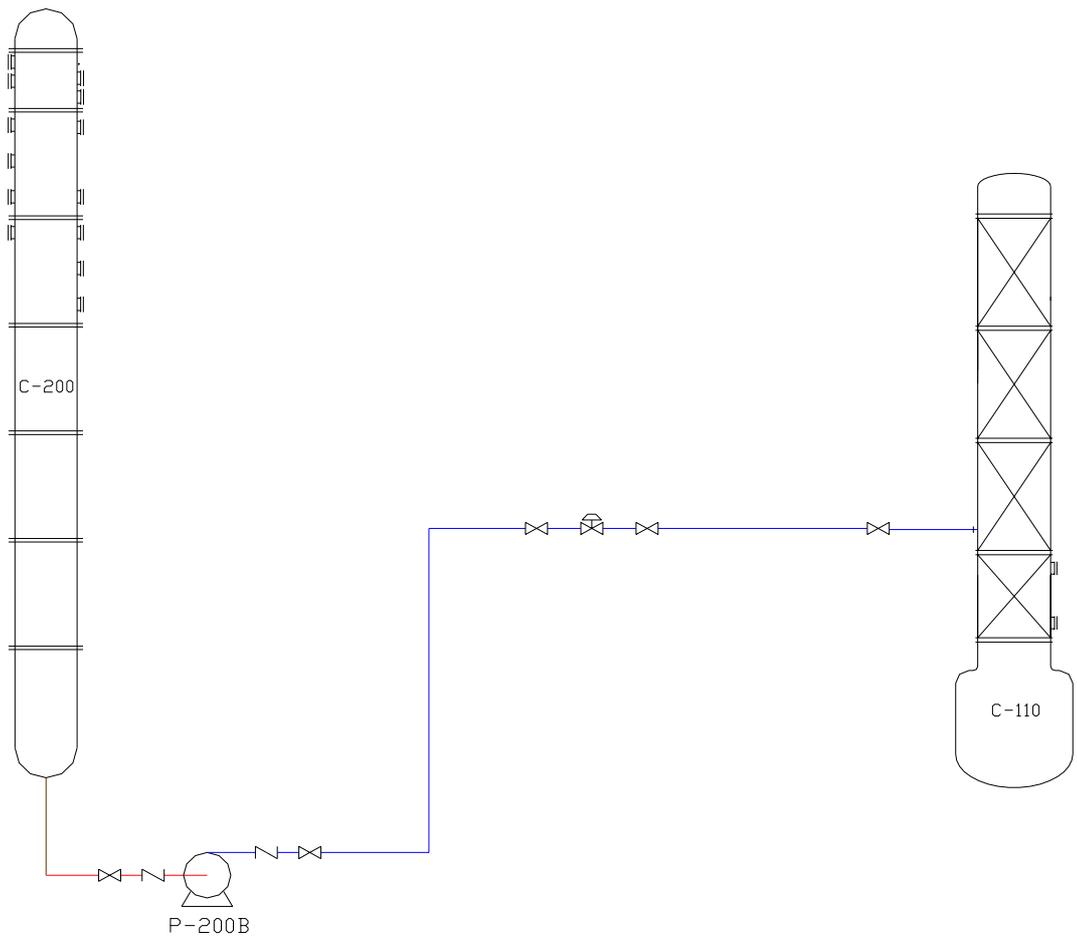
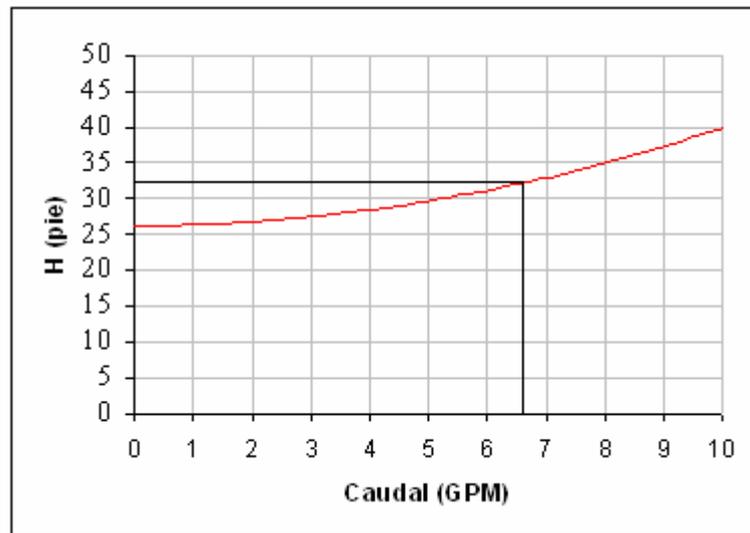


Figura 7.3. Sistema de Bombeo de la Unidad P-200B.

La bomba P-200B, debe ser capaz de vencer las pérdidas por fricción producto de la rugosidad de las tuberías y los accesorios, considerando además las diferencias de presión entre los equipos, las diferencia de cotas de los fluidos de operación y los cambios de velocidad dentro de los tramos de tuberías del sistema.

Empleando nuevamente el mismo procedimiento de la sección anterior, utilizando la ecuación de la altura total de bombeo 2.31, proveniente de la ecuación de Benoulli, se construye la curva característica de la estación de bombeo de la unidad P-200B, mostrada en la Figura 7.4.



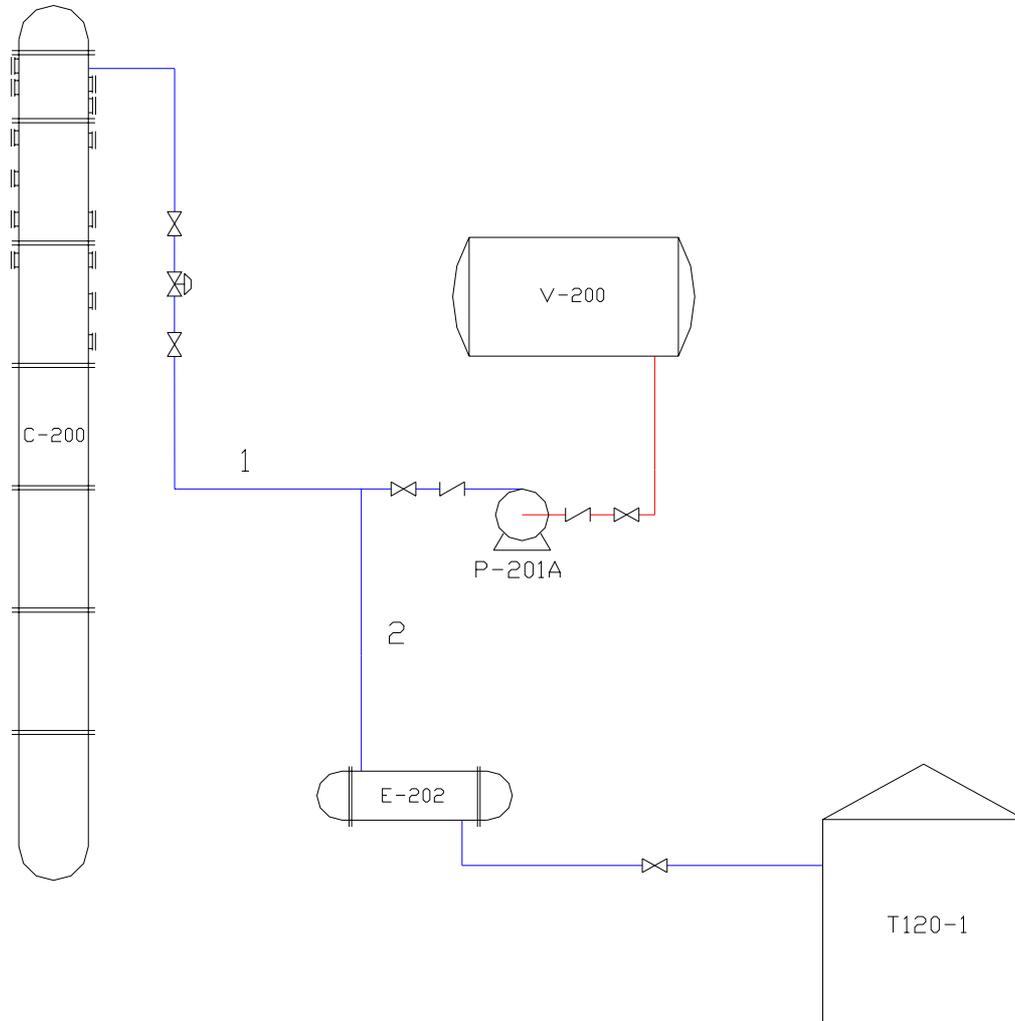
**Figura 7.4.** Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200B.

Entrando a la Figura 7.4 con el valor del caudal de operación de la bomba P-200B  $Q = 6.66$  GPM señalado en la tabla del Apéndice 3.3, se obtiene trazando una línea vertical por este valor en el eje correspondiente al caudal, la altura de bombeo  $H = 32,4$  pies, quedando definido el punto de operación de este equipo.

#### 7.4.1.3 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-201A.

Este sistema a diferencia de los anteriores se encuentra compuesto por un ramal de descarga dividido en dos corrientes de fluido. Una primera corriente identificada con el número uno (1) como se muestra en la Figura 7.5, representa la corriente de refluo de la Columna de Fraccionamiento C-200, la segunda señalada con el número dos (2),

constituye la corriente de producto elaborado IDP-200 dirigida al tanque de almacenamiento T120-1.



**Figura 7.5.** Sistema de Bombeo de la Unidad P-201A.

Las características de las tuberías y accesorios que conforman la línea de succión del equipo de bombeo P-201A, señalada a través de una línea de color rojo, son presentadas en la Tabla 7.11.

De igual forma para la línea de descarga de la Bomba P-201A, se muestran las características totales de la tubería y accesorios que componen ambos tramos, tanto el correspondiente a la corriente de refluo como la línea de producto terminado de IDP-200, en la Tabla 7.12.

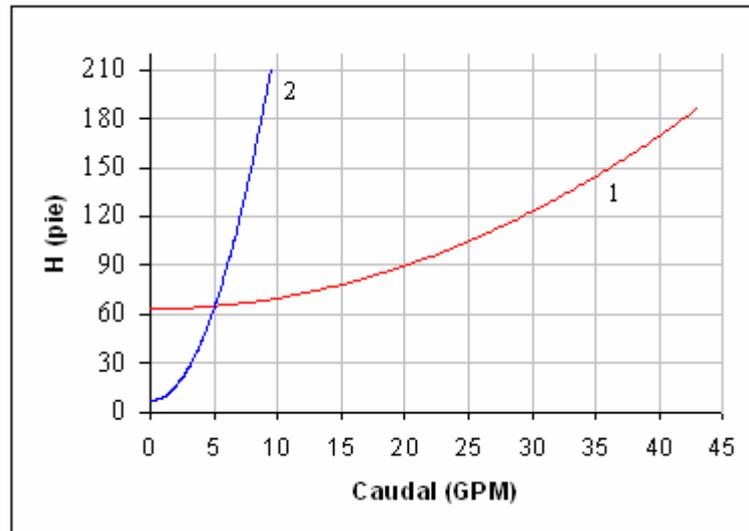
**Tabla 7.11. Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-201A.**

<b>Línea de Succión</b>		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	7,5 m	
Diámetro de Tubería	2"	
Factor de Fricción $f$	0,0211	
Rugosidad Absoluta $K_s$	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Entrada proyectada	1	0,78
Válvula de compuerta	1	0,15
Válvula check	1	1,9
Codo 90°	3	0,57

**Tabla 7.12. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-201A.**

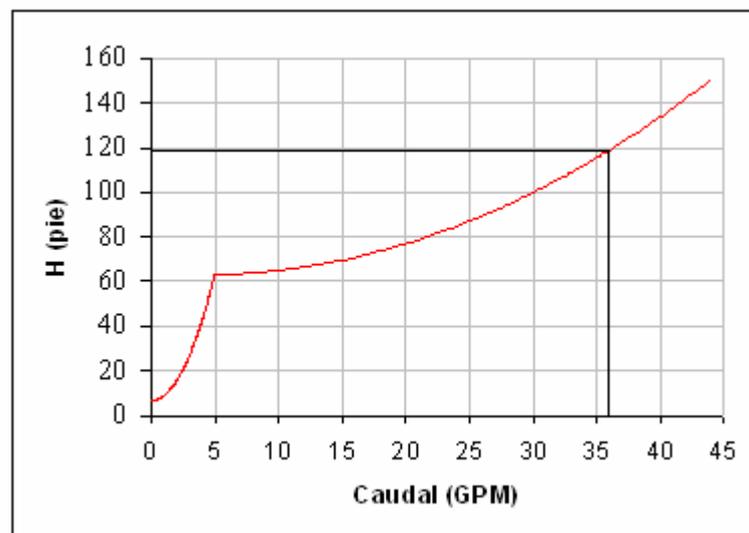
<b>Línea de Descarga</b>		
<b>Tubería de Descarga</b>		
Longitud de Tubería	215 m	
Diámetro de Tubería	1"	
Factor de Fricción $f$	0,0239	
Rugosidad Absoluta $K_s$	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Ensanchamiento 1" - 2"	1	4
Contracción 2" - 1"	1	1,88
Válvula de compuerta	8	0,18
Válvula check	1	2,3
Codo 90°	21	0,69
Salida a tanque	2	1
T estándar	1	1,38

Este sistema de bombeo a diferencia de los anteriores se encuentra representado por dos curvas pérdidas (ver Figura 7.6), una correspondiente a un ramal de corriente de reflujo (1), y otra correspondiente a la corriente de producto elaborado (2), obtenidas a partir de la evaluación de la ecuación 2.31 de la sección 2.18 con diferentes caudales y velocidades de operación.



**Figura 7.6.** Curvas de Pérdida de Carga de los Ramales de Descarga de la Bomba P-201A.

La curva característica equivalente del sistema se construye considerando un arreglo en paralelo de las tuberías de descarga, realizando la suma de los caudales de ambas curvas (1 y 2), manteniendo las alturas o valores de H constantes. En la Figura 7.7 se observa la curva característica equivalente del sistema de bombeo de la unidad P-201A.

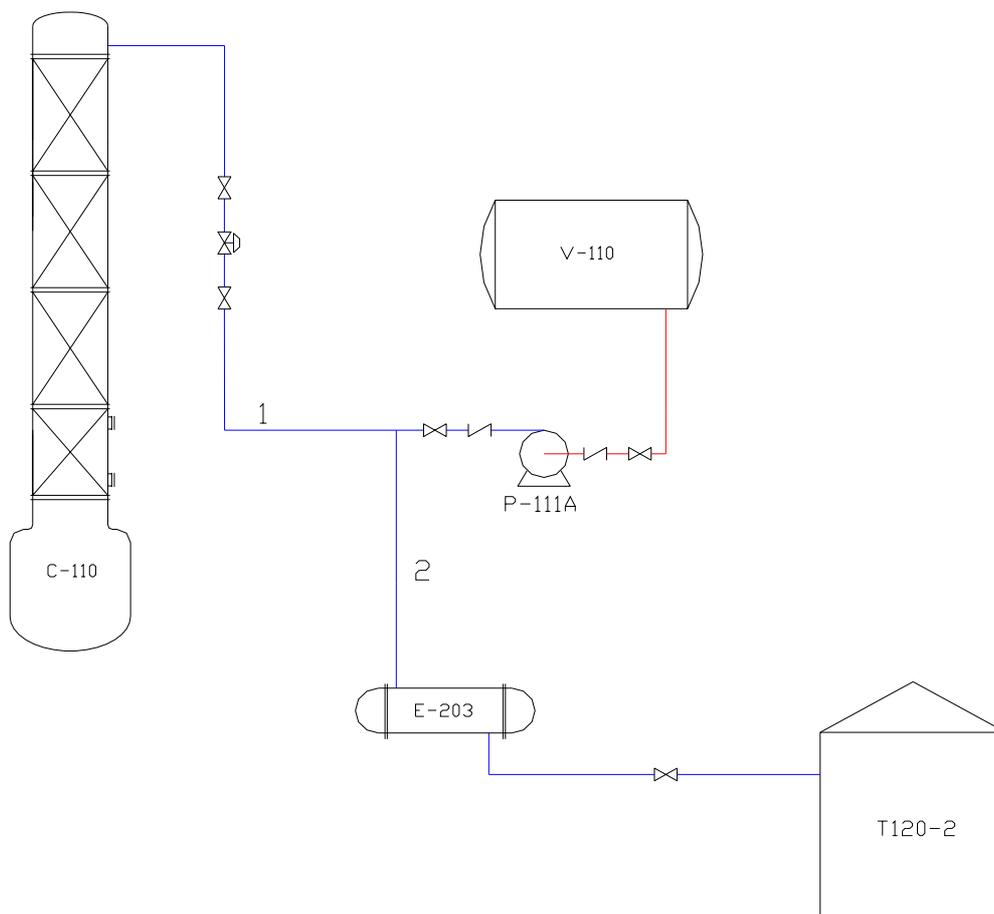


**Figura 7.7.** Curva Característica Equivalente del Sistema de la Unidad P-201A.

Con el valor del caudal de operación de esta unidad  $Q = 35,98$  GPM se obtiene cortando la curva característica del sistema, la altura total de bombeo  $H = 119,9$  pies siendo estos los valores que representan el punto de operación de la unidad P-201A.

#### 7.4.1.4 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-111A.

Como se observa en el esquema de la Figura 7.8, el sistema de bombeo de la unidad P-111A, presenta la misma configuración de la estación de bombeo de la unidad P-201A, ya que la descarga posee dos ramales; un primer ramal señalado con el número uno (1), que representa la corriente de reflujo a la Columna de Fraccionamiento C-110, y un segundo tramo que simboliza el flujo de producto elaborado de tope IDP-250.



**Figura 7.8.** Sistema de Bombeo de la Unidad P-111A.

En las Tablas 7.13 y 7.14 se identifican las características de los tramos de tubería de succión y descarga, así como los coeficientes adimensionales de pérdida de carga K de los accesorios comprendidos en estas líneas, datos necesarios para calcular las alturas de bombeo empleadas en la construcción de las curvas de pérdida de carga de la unidad de bombeo P-111A.

**Tabla 7.13. Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-111A.**

<b>Línea de Succión</b>		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	7,5 m	
Diámetro de Tubería	2"	
Factor de Fricción f	0,0211	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Entrada proyectada	1	0,78
Válvula de compuerta	1	0,15
Válvula check	1	1,9
Codo 90°	2	0,57

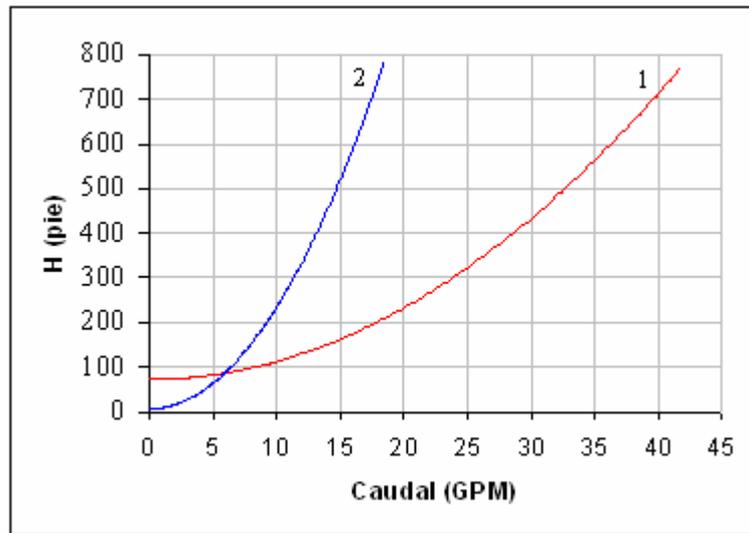
**Tabla 7.14. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-111A.**

<b>Línea de Descarga</b>		
<b>Tubería de Descarga</b>		
Longitud de Tubería	203,5 m	
Diámetro de Tubería	3/4"	
Factor de Fricción f	0,0266	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Ensanchamiento 3/4" - 2"	1	9
Contracción 2" - 3/4"	1	7,78
Válvula de compuerta	8	0.2
Válvula check	1	2,5
Codo 90°	21	0,75
Salida a tanque	2	1
T estándar	1	1,5

Una vez conocidas las características de las tuberías y accesorios de los tramos se construyen las curvas de pérdida de carga de correspondiente para cada tramo de descarga de ésta estación.

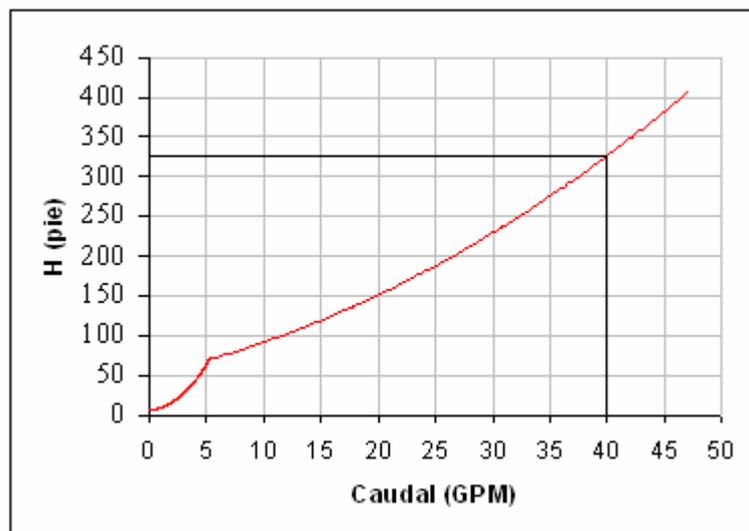
Como se observa en la Figura 7.9, la curva correspondiente al tramo de la corriente de producto elaborado IDP-250, identificado con el número 2 posee un incremento más

acelerado de pérdida de carga que el tramo de reflujo, indicado por la curva correspondiente al número 1.



**Figura 7.9.** Curvas de Pérdida de Carga del Sistema de Bombeo de la Unidad P-111A.

La curva característica equivalente de este sistema de bombeo se muestra en la Figura 7.10, como resultado de la suma de las curvas observadas en la Figura 7.9 considerando un arreglo en paralelo de los tramos de tubería de descarga de la bomba P-201A correspondientes a las corrientes de reflujo y producto elaborado IDP-250. El punto de operación de esta unidad corresponde a un caudal de operación  $Q = 39,93$  GPM y una altura de bombeo  $H = 325$  pies.



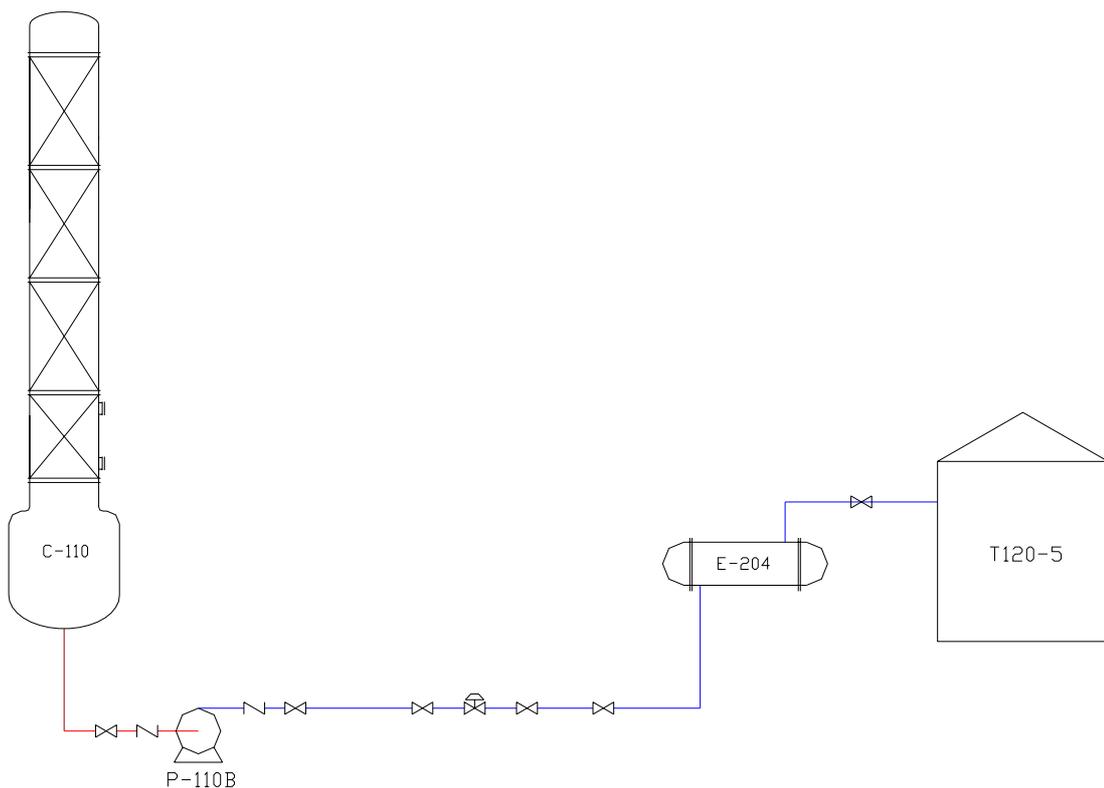
**Figura 7.10.** Curva Equivalente Característica del Sistema de la Unidad P-111A.

#### 7.4.1.5 Descripción del Sistema de Bombeo de la Unidad P-110B.

Esta estación de bombeo de corresponde a la línea de producto terminado de fondo IDP-300 de la Columna de Fraccionamiento C-110, en el cual la unidad P-110B impulsa este fluido hacia el tanque de almacenamiento T120-5 pasando a través del precalentador de materia prima E-204, como se muestra en la Figura 7.11.

El tramo correspondiente a la succión de la bomba de esta estación de bombeo se indica en la Figura 7.11 con una línea de color rojo, mientras que el tramo de descarga se encuentra señalado con la línea de color azul.

Esta bomba P-110B maneja el menor caudal de operación de todo el sistema con un valor  $Q = 3,68$  GPM.



**Figura 7.11.** Sistema de Bombeo de la Unidad P-110B.

En las Tablas 7.15 y 7.16 se establecen los valores necesarios de las características de las tuberías de succión y descarga de la bomba P-110B para calcular las alturas de bombeo y

construir la curva que caracteriza la estación de bombeo de la unidad P-110B, mostrada en la Figura 7.12.

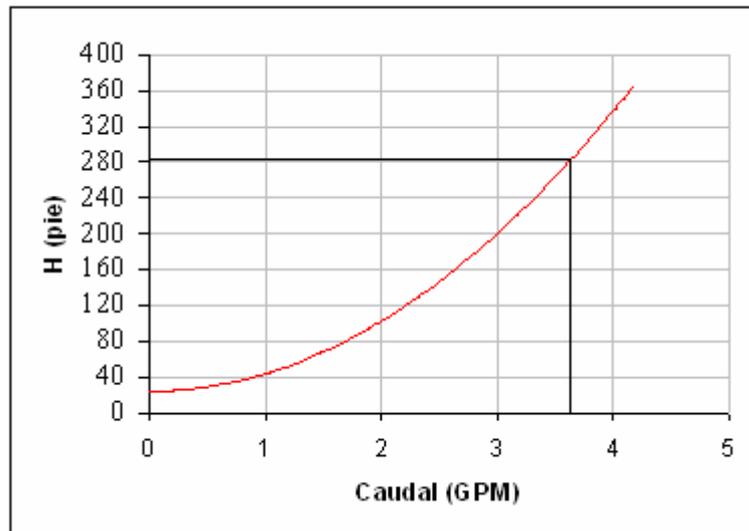
**Tabla 7.15. Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-110B.**

<b>Línea de Succión</b>		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	5,4 m	
Diámetro de Tubería	1/2"	
Factor de Fricción f	0,0295	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Válvula de compuerta	1	0,22
Válvula check	1	2,7
Codo 90°	2	0,81

**Tabla 7.16. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-110B.**

<b>Línea de Descarga</b>		
<b>Tubería de Descarga</b>		
Longitud de Tubería	181 m	
Diámetro de Tubería	1/2"	
Factor de Fricción f	0,0295	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Ensanchamiento 1/2" - 1"	1	9
Contracción 1" - 1/2"	1	2,63
Válvula de compuerta	8	0,22
Válvula check	1	2,7
Codo 90°	21	0,81
Salida a tanque	1	1

Con el valor del caudal de operación de la Bomba P-110B  $Q = 3,68$  GPM indicado al principio de esta sección, se determina a través de la curva característica del sistema la altura dinámica total de bombeo  $H = 283$  pies, requerida por el equipo para vencer los obstáculos producto de las variaciones de las cotas, presiones y pérdidas primarias y secundarias del sistema.



**Figura 7.12.** Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-110B.

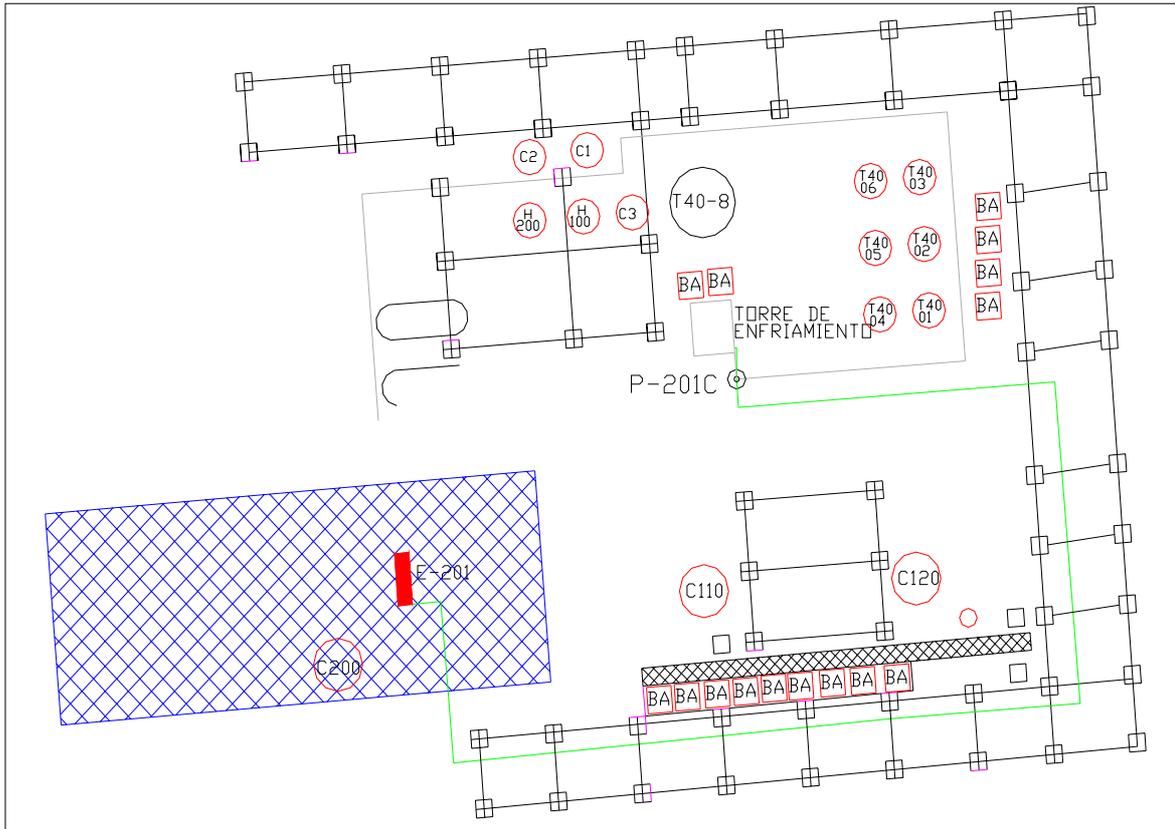
#### 7.4.2 Sistemas de Bombeo para Servicios del Proceso.

En esta sección se muestra la ubicación en planta de los servicios auxiliares empleados en el proceso de fraccionamiento de gasolina residual por la Columna C-200, indicando las características de los sistemas de bombeo de agua de enfriamiento y aceite.

##### 7.4.2.1 Descripción del Sistema de Bombeo de Agua de Enfriamiento.

El sistema de agua de enfriamiento se encuentra formado por una torre de enfriamiento donde se obtiene agua para los condensadores de la planta. El agua después de ser tratada con agentes químicos para hacerla apta para el funcionamiento en los equipos, es bombeada hasta la torre de enfriamiento, donde es pasada por unas colmenas para generar una transferencia de calor por contacto directo con el aire, a fin de mantener su temperatura en 25 °C aproximadamente.

En la Figura 7.13 se aprecia la ubicación de la torre de enfriamiento con respecto a la Columna de Fraccionamiento C-200 y el condensador E-201. Con una línea verde se esquematiza el recorrido del tramo de agua de enfriamiento requerido para alcanzar el condensador de producto de tope E-201.



**Figura 7.13.** Ubicación de la Torre de Enfriamiento en la Planta I.D.P., S.A.

Las características de los accesorios y las líneas de succión y descarga de la bomba P-201C denominada para este servicio se establecen en las tablas 7.17 y 7.18 respectivamente. Se considera además en la línea de descarga el retorno del agua a la torre de enfriamiento.

**Tabla 7.17. Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-201C.**

Línea de Succión		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	6,3 m	
Diámetro de Tubería	1"	
Factor de Fricción $f$	0,0265	
Rugosidad Absoluta $K_s$	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Válvula de compuerta	1	0,18
Válvula check	1	2,3
Codo 90°	1	0,69
Entrada proyectada	1	0,78

Tabla 7.18. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-201C.

Línea de Descarga		
Tubería de Descarga		
Longitud de Tubería	206,7 m	
Diámetro de Tubería	1"	
Factor de Fricción f	0,0265	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
Accesorios		
Tipo	Cantidad	K
Ensanchamiento 1" - 2"	1	4
Contracción 2" - 1"	1	1,88
Válvula de compuerta	8	0,18
Válvula check	1	2,3
Codo 90°	21	0,69
Salida a tanque	1	1

La curva característica del sistema de bombeo correspondiente a la unidad P-201C, se observa en la Figura 7.14, donde se señala el punto de operación de la unidad para un caudal de operación  $Q = 12,81$  GPM, caudal requerido para realizar la transferencia de calor en el condensador de tope E-201, arrojando un valor de altura total dinámica total de bombeo  $H = 126$  pies.

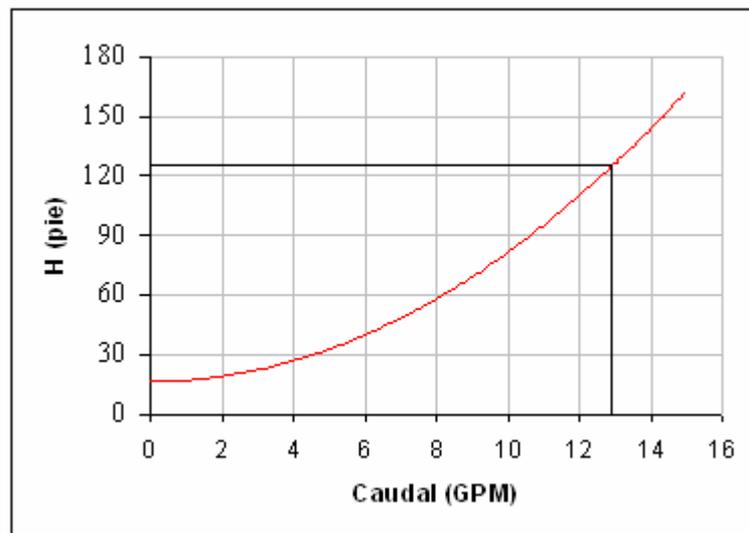
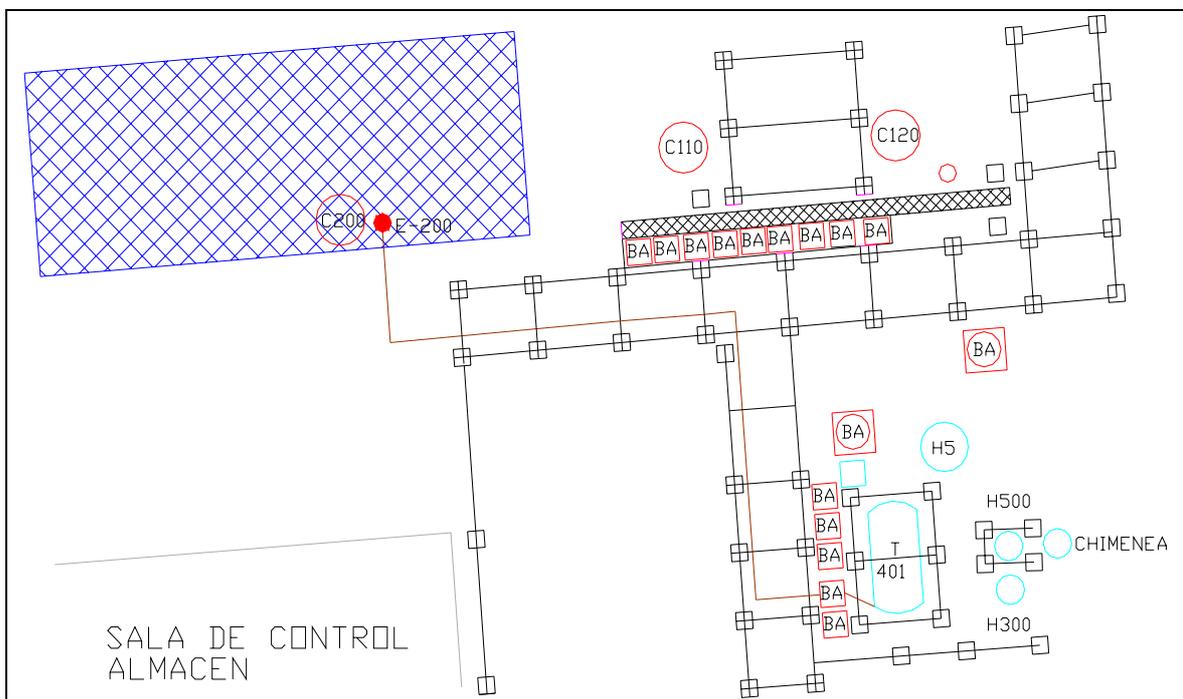


Figura 7.14. Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-201C.

### 7.4.2.2 Descripción del Sistema de Bombeo de Aceite Caliente.

El aceite térmico empleado para el rehervidor E-200 de la Columna de Fraccionamiento de Gasolina Residual C-200, es calentado en el horno H-500 hasta una temperatura de 200°C aproximadamente y bombeado hacia el rehervidor a termosifón para calentar el producto de fondo de esta columna. En la Figura 7.15, puede observarse el recorrido de la tubería de aceite caliente desde la bomba empleada para este proceso denominada P-200H hasta el intercambiador de calor E-200.



**Figura 7.15.** Ubicación del Área de Calentamiento de Aceite en la Planta I.D.P., S.A.

De igual forma que en las secciones anteriores, se muestran las características de las tuberías y accesorios tales como el factor de fricción  $f$  y los valores respectivos de las constantes de pérdida de carga de los accesorios de tuberías que conforman este sistema de bombeo de aceite térmico a través en las Tablas 7.19 y 7.20 para la línea de succión y descarga respectivamente. La línea de descarga de la bomba P-200H abarca el recorrido de la tubería desde la salida de la bomba, pasando por el rehervidor de producto de fondo E-200 y retornando al área de calentamiento de aceite donde se ubican los hornos H-500 y H-300.

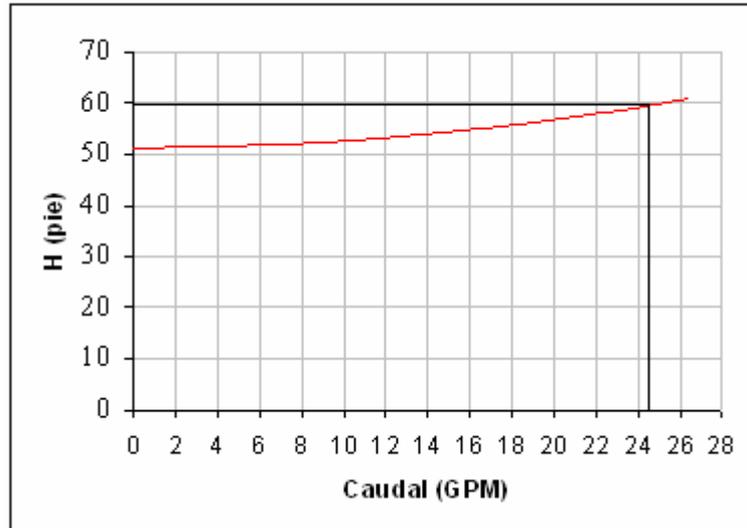
**Tabla 7.19. Tuberías y Accesorios de la Línea de Succión de la Unidad P-200H.**

<b>Línea de Succión</b>		
<b>Tubería de Succión</b>		
Longitud de Tubería	5 m	
Diámetro de Tubería	2"	
Factor de Fricción f	0,0341	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Válvula de compuerta	1	0,15
Válvula check	1	1,9
Codo 90°	2	0,57
Entrada proyectada	1	0,78

**Tabla 7.20. Tuberías y Accesorios de la Línea de Descarga de la Unidad P-200H.**

<b>Línea de Descarga</b>		
<b>Tubería de Descarga</b>		
Longitud de Tubería	96 m	
Diámetro de Tubería	2"	
Factor de Fricción f	0,0341	
Rugosidad Absoluta Ks	0,046 mm	
<b>Accesorios</b>		
<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>K</i>
Ensanchamiento 1" - 2"	1	4
Contracción 3" - 2"	1	0,5
Válvula de compuerta	2	0,15
Válvula check	1	1,9
Codo 90°	9	0,57
Salida a tanque	1	1

Conociendo que el caudal de operación requerido en el rehervidor E-200 para la realización del proceso de transferencia de calor es  $Q = 24,43$  GPM, se obtiene la altura dinámica total de bombeo de la Figura 7.16, cortando la curva característica de este sistema con una línea vertical que pase por el caudal antes mencionado. El valor obtenido corresponde a una altura  $H = 59,9$  pies.



**Figura 7.16.** Curva Característica del Sistema de Bombeo de la Unidad P-200H.

### 7.5 Selección de los Equipos de Bombeo.

Por recomendación de la empresa I.D.P., S.A. las bombas seleccionadas deben ser de la marca GOULDS, fabricante que cumple con las especificaciones de bombas para servicios de las industrias de plantas químicas referidos a alimentación y reflujo de columnas de destilación, procesos de aceite caliente, condensados, químicos especiales entre otros, bajo las normas ANSI.

Para la selección de las bombas requeridas para cada estación de bombeo se empleó un software diseñado por el fabricante de las unidades de bombeo denominado Sistema de Selección de Bombas (PSS), el cual ofrece varias opciones de bombas que cumplen con los requerimientos del proceso y las condiciones del fluido.

Este programa exige la introducción de los siguientes datos:

H = Altura total de Bombeo → [pie].

Q = Caudal de Operación → GPM.

Nombre del fluido.

T = Temperatura → [°F].

Gravedad Específica → Adimensional.

$\mu$  = Viscosidad Absoluta → [cP].

Una vez introducidos estos datos requeridos por el programa, el mismo software realiza la selección de las posibles bombas que cumplen con estos requerimientos, realizando las correcciones por viscosidad y gravedad específica del fluido de operación.

Los datos de los fluidos de operación y los puntos de operación de cada bomba se presentan en la Tabla 7.21.

**Tabla 7.21. Puntos de Operación y Características de los Fluidos de las Bombas.**

Identificación	Punto de Operación	Fluido de Trabajo	
P-200A	Altura	Nombre	Gasolina
	22,43 pies	Gravedad Específica	0,7659
	Caudal	Temperatura	30°C
	22,43 GPM	Viscosidad Absoluta	0,494 cP
P-201A	Altura	Nombre	Fondo C-200
	32,4 pies	Gravedad Específica	0,7917
	Caudal	Temperatura	107,92°C
	35,98 GPM	Viscosidad Absoluta	0,228 cP
P-200B	Altura	Nombre	IDP-200
	118,9 pies	Gravedad Específica	0,7468
	Caudal	Temperatura	150,56
	6,66 GPM	Viscosidad Absoluta	0,231 cP
P-111A	Altura	Nombre	IDP-250
	325 pies	Gravedad Específica	0,7937
	Caudal	Temperatura	134,78
	39,93 GPM	Viscosidad Absoluta	0,233 cP
P-110B	Altura	Nombre	IDP-300
	283 pies	Gravedad Específica	0,7878
	Caudal	Temperatura	162,31
	3,68 GPM	Viscosidad Absoluta	0,226
P-201C	Altura	Nombre	Agua
	126 pies	Gravedad Específica	0,998
	Caudal	Temperatura	25°C
	12,81 GPM	Viscosidad Absoluta	0,83 cP
P-200H	Altura	Nombre	Aceite Caliente
	59,9 pies	Gravedad Específica	0,850
	Caudal	Temperatura	200 °C
	24,43 GPM	Viscosidad Absoluta	0,470

En la Tabla 7.22 se muestran los modelos de los equipos de bombeo seleccionados para cada una de las estaciones junto con sus especificaciones. Las curvas características de estos equipos y sus condiciones de operación pueden observarse en el Apéndice 4.

**Tabla 7.22. Equipos de Bombeo y sus Características.**

Ident.	Características del Equipo		Ident.	Características del Equipo	
P-200A	Modelo	3700	P-110B	Modelo	IC/ICB/ICV
	Potencia	0,5 hp		Potencia	4,7 hp
	Tipo	centrífuga		Tipo	centrífuga
	Diámetro Impulsor	6,875 pulg.		Diámetro Impulsor	7,754 pulg.
	NPSHr	2 pies		NPSHr	2,9 pies
P-201A	Modelo	3355	P-201C	Modelo	3655/3755
	Potencia	5.2 hp		Potencia	1,5 hp
	Tipo	centrífuga		Tipo	centrífuga
	Diámetro Impulsor	6,625 pulg.		Diámetro Impulsor	5,625 pulg.
	NPSHr	1,8 pies		NPSHr	5,5 pies
P-200B	Modelo	3196HT3196	P-200H	Modelo	3996
	Potencia	0,25 hp		Potencia	1 hp
	Tipo	centrífuga		Tipo	centrífuga
	Diámetro Impulsor	5,25 pulg.		Diámetro Impulsor	7,125 pulg.
	NPSHr	2 pies		NPSHr	2 pies
P-111A	Modelo	3355			
	Potencia	5.2 hp			
	Tipo	centrífuga			
	Diámetro Impulsor	6,625 pulg.			
	NPSHr	1,8 pies			

### 7.5.1 Verificación de Posibilidad de Cavitación.

Se debe tener en cuenta siempre que para evitar la cavitación de una bomba se debe cumplir la relación de carga neta positiva de succión mostrada en la ecuación 2.33 para un determinado caudal de operación.

$$NPSH_d > NPSH_r \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.33)}$$

Conociendo de la Tabla 7.22 los valores de NPSHr suministrados por el fabricante, se puede predecir la ocurrencia del fenómeno de cavitación calculando el NPSHd con los datos especificados a lo largo de este capítulo y la relación expuesta en la ecuación 2.33.

$$(NPSH)_d = \frac{P_1 + P_{atm} - P_v}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - hc - h_{fsuc} \quad \rightarrow \quad \text{Ec. (2.32)}$$

Los resultados de NPSHd para cada uno de los sistemas de bombeo a las condiciones de operación se expresan en la Tabla 7.23.

**Tabla 7.23. Valores del NPSHd y Verificación de Cavitación.**

Bomba	NPSHr	Relación	NPSHd	Evaluación del Fenómeno
P-200A	2 pies	<	7,48 pies	No se presenta
P-201A	1,8 pies	<	4,12 pies	No se presenta
P-200B	2 pies	<	2,26 pies	No se presenta
P-111A	1,8 pies	<	3,86 pies	No se presenta
P-110B	2,9 pies	<	3,40 pies	No se presenta
P-201C	5,5 pies	<	43,17 pies	No se presenta
P-200H	2 pies	<	5,25 pies	No se presenta

A través de este cuadro comparativo de los valores de las cargas netas positivas de succión dadas por el fabricante y calculadas para los sistemas, se observa el cumplimiento de la relación  $NPSHd > NPSHr$ , por lo cual no debe presentarse el fenómeno de cavitación en los sistemas de bombeo estudiados.

## **CAPÍTULO VIII**

### Consideraciones Generales en la Inspección de Columnas de Fraccionamiento

## **8 CONSIDERACIONES GENERALES EN LA INSPECCION DE COLUMNA.**

Los aspectos que se mencionan a continuación, constituyen un factor de gran importancia en el mantenimiento tanto de la columna de fraccionamiento, como de la seguridad industrial y mantenimiento de la planta. Es importante destacar que estas consideraciones son exigidas por PDVSA, basándose además en las Normas ASME correspondientes a los Recipientes a Presión.

### **8.1 Procedimiento de Inspección.**

Las torres destiladoras constituyen uno de los elementos críticos de las instalaciones petroleras y petroquímicas, debido a la importancia del servicio que desempeñan y por representar un posible riesgo potencial de falla catastrófica. Por esta razón, es necesario inspeccionarlas periódicamente, a fin de determinar si están en condiciones para continuar operando en forma segura, conocer la vida útil remanente y establecer tasas de corrosión para próximas inspecciones. Antes de iniciarse los trabajos de inspección de una torre, el inspector deberá conocer el historial del equipo, esto es, especificaciones técnicas, material y planos de fabricación, lista de accesorios internos, resultados de inspecciones anteriores, servicio que presta y las condiciones de operación (presión, temperatura, flujo, etc.)

### **8.2 Criterios de Inspección.**

El tipo de inspección que se debe efectuar a una torre destiladora depende de sus condiciones de diseño, del servicio y de la instalación donde opera, y deberá ajustarse a los requerimientos del reglamento de las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo. Esta inspección puede realizarse de dos formas: externamente con el equipo en marcha o fuera de servicio, e internamente con el equipo fuera de servicio, utilizando para ello las técnicas de ensayos no destructivos, adicionales a la inspección visual.

La inspección externa puede ser realizada bajo condiciones normales de operación, siempre que la inspección no interfiera con el proceso operacional, mientras que para realizar la

inspección interna se requiere dejar fuera de servicio el equipo, despresurizar, purgar con gas inerte, lavar internamente con vapor, abrir pasa-hombres, hacer pruebas de gas y solicitar permiso a la unidad de operación para el acceso interno del mismo. Es importante que el tipo de inspección que se realice, suministre la información necesaria para determinar si el equipo está en condiciones de seguir operando en forma segura. En los casos donde se detecten daños en el material del recipiente, equipos o tuberías, como pérdida de espesor, y cuando el proceso de corrosión es uniforme, la vida remanente del recipiente debe calcularse a través de la fórmula siguiente:

**Cálculo de la vida remanente del recipiente:**

$$Vida\_remanente(años) = \frac{t(actual) - t(requerido)}{Tasa\_de\_corrosión} \rightarrow Ec. (8.1)$$

donde:

t (actual): Espesor de pared actual (mm) o (pulg)

t (requerido): Mínimo espesor de pared requerido por diseño (mm) o (pulg)

Tasa de corrosión expresada en milímetros por año o (pulg por año)

El espesor mínimo de pared requerido para continuar operando el equipo se determinará de acuerdo a las especificaciones de diseño del fabricante. En caso que se determine que la torre destiladora permanecerá fuera de servicio por un lapso de tiempo mayor de 3 meses, se recomienda establecer un programa de preservación de las partes internas y así evitar la corrosión de las mismas.

**8.3 Frecuencia de Inspección.**

El tiempo de frecuencia entre inspecciones completas (interna y externa) de las torres destiladoras, equipos y sistemas de tuberías, no debe exceder la mitad de la vida útil remanente del recipiente ó 5 años, el menor valor entre ambos, siempre que los accesorios internos se encuentren en condiciones de operar normalmente durante el tiempo estipulado. En caso que se detecten zonas con pérdida de material en las paredes del recipiente por alguna de

las diferentes formas de corrosión, tales como: picaduras, corrosión por ácidos nafténicos, corrosión galvánica, fatiga, erosión, etc., la vida remanente y el intervalo de inspección deberán ser revisados y ajustados de acuerdo a la severidad de los daños.

#### **8.4 Inspección Externa o Inspección en Marcha.**

La técnica más utilizada en inspección externa (en marcha) con el equipo en operación es la medición de espesores con ultrasonido en puntos identificados en diferentes niveles de la pared del recipiente, tope, fondo, boquillas y especialmente donde los antecedentes de inspecciones anteriores indiquen que hay indicios de disminución de espesor de pared por efecto de corrosión-erosión, y para verificar la tasa de corrosión establecida anteriormente. Igualmente se debe hacer una revisión a los soportes, fundaciones, estructuras de plataformas, escaleras de acceso a la columna, aislamiento térmico, pasa-hombres, boquillas, tuberías, revisión de los instrumentos de medición de temperatura y presión. En la inspección externa, cuando el equipo esté en funcionamiento, se pueden aplicar algunos métodos de ensayos no destructivos. Se debe evitar la fricción entre materiales metálicos (martillo), debido al riesgo de producir una chispa. Se recomienda utilizar herramientas de bronce.

La inspección externa en marcha puede proporcionar información útil de las condiciones del equipo, siempre que se tomen en cuenta sus limitaciones, la inspección en marcha no es sustituto de una inspección general interna o inspección en parada programada. Esta inspección puede iniciarse tomando como parámetros algunas desviaciones de las condiciones normales de operación, o de un posible desperfecto en el funcionamiento del equipo.

#### **8.5 Inspección Interna.**

Antes de iniciar la inspección de una torre fraccionadora, el inspector debe tomar en cuenta que el equipo se encuentre internamente lo más limpio posible, tanto las paredes del recipiente como los accesorios: platos, copas y boquillas. El inspector debe asegurarse de tener todos los permisos correspondientes. Se deberá abrir todos los pasa-hombres externos e internos entre platos o bandejas, a fin de obtener una ventilación eficiente y acceso continuo entre platos.

Por razones de seguridad, el inspector que realice la inspección deberá cumplir con lo establecido en el procedimiento para trabajos en espacios confinados y normas de seguridad industrial. La inspección deberá realizarse comenzando desde la parte superior donde se observará toda el área adyacente al nivel o sección y así sucesivamente hasta llegar a la parte del fondo, tomando en cuenta los siguientes puntos:

### **8.5.1 Cuerpo y Sistemas de Tuberías.**

- a.* Inspeccionar visualmente la superficie de las paredes, hacer énfasis en aquellos puntos (si existieran) donde según los reportes anteriores, se han detectado pérdidas de material por corrosión.
- b.* Verificar erosión, corrosión o combinaciones de ambas; la erosión puede ocurrir donde existan zonas con choque de flujo: entrada de línea de reflujo, alimentación y turbulencias.
- c.* Observar pérdida de material por corrosión–erosión y detectar grietas y deformaciones en distintas zonas, colocando el haz de luz de una linterna en forma paralela a la superficie inspeccionada, ésta es una de las técnicas más eficaces para detección de estos defectos, en especial si es corrosión nafténica. Indicaciones de grietas pueden ser descubiertas con ayuda de una lupa y buena iluminación, es por lo que el inspector debe proveerse de buena linterna con baterías suficientemente cargadas. Para una completa investigación de la extensión de una grieta, se emplean las técnicas no destructivas, como partículas magnéticas y líquidos penetrantes.
- d.* Todas las soldaduras y conexiones deben ser inspeccionadas visualmente, y en casos de indicios de grietas o daños de las empacaduras, éstas deben inspeccionarse con líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido.

### **8.5.2 Boquillas.**

Toda conexión tipo boquilla se deberá inspeccionar visualmente en las paredes internas y soldadura diametral de unión. Se verificará el espesor de las mismas utilizando para ello la técnica de ultrasonido.

### **8.5.3 Accesorios Internos.**

Los accesorios internos removibles no es necesario desmontarlos para inspección amenos que existan circunstancias o indicios de deterioro o deformación por falla en la operación.

Los accesorios deberán ser revisados visualmente durante la inspección interna del equipo en forma progresiva, empezando desde la parte superior hasta la parte inferior. Las bandejas, copas, deflectores, mallas y sus soportes deben ser revisados para determinar la pérdida de material por corrosión u otra causa. Los soportes internos o aros soportes son normalmente soldados a las paredes del equipo y son susceptibles a defectos, es por ello que las soldaduras necesitan ser vistas con especial atención, ya que las grietas iniciadas en estas soldaduras pueden propagarse en el material de la pared del equipo.

### **8.6 Informe.**

Se elaborará un informe escrito con las condiciones generales encontradas durante la inspección y con las recomendaciones de los trabajos a realizar para el reacondicionamiento.

## **CAPÍTULO IX**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

## 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1 Conclusiones.

Implantar el diseño de la fundación, la estructura de soporte y redes de tuberías de la Columna de Fraccionamiento C-200 realizado en este trabajo especial de grado.

Realizar la compra del polipasto “Yale” de control manual y carro manual para ser empleado en las operaciones de desmontaje de los equipos.

Arrendar el camión tractor 3S2, el cual posee un volumen interior capaz de alojar todas las secciones de la Columna de Fraccionamiento C-200 y sus equipos principales, permitiendo realizar un único viaje para trasladarlos.

La planificación de las actividades del proyecto es factor determinante que permitió la culminación del mismo en un tiempo total de 5 días.

A través del levantamiento planimétrico de la planta se seleccionó la ubicación de la estructura de soporte y los equipos trasladados, y permitió evaluar las dimensiones del terreno para un mejor diseño del sistema de redes de tuberías del proceso.

Las placas de fundación en los terrenos de relleno residual de limitada capacidad portante, confieren una mayor rigidez del conjunto y un mejor comportamiento estructural de la Columna de Fraccionamiento.

El modelo de la estructura de soporte y la simulación del modelo a través de un paquete computacional, permiten predecir y evaluar el comportamiento de una edificación sometido a diversas cargas, simplificando las labores de diseño de una estructura o remodelación de un diseño conocido.

La estandarización de los diámetros en el diseño de las redes de tuberías permite disminuir la existencia de repuestos en almacén y disminuir los costos de mantenimiento e inversión de un proyecto.

El dimensionamiento de las líneas se basa en las cantidades de flujo de servicio, considerando la densidad, fases y velocidades de los fluidos de trabajo.

Para el diseño de las redes de tuberías del proceso de fraccionamiento de gasolina residual, se emplearon tamaños de tubería con un diámetro exterior constante, por lo que a medida que se incrementa el espesor de pared, se reduce el área de flujo y se incrementa la velocidad del fluido.

El mínimo tamaño de línea empleado para el dimensionamiento de los sistemas de tuberías en este proceso es de  $\frac{1}{2}$ ", por consideraciones de resistencia y fortaleza.

Manteniendo en todo momento succiones positivas de las bombas de proceso, se logró evitar la ocurrencia del fenómeno de cavitación inclusive en los casos en que la presión de vapor del fluido de trabajo presentaba un valor elevado.

La constante inspección y la elaboración de un adecuado plan de mantenimiento de las torres destiladoras, constituyen factores de gran importancia en la prevención y seguridad ante un riesgo potencial de falla catastrófica, por ser elementos críticos de las instalaciones petroleras y petroquímicas por el manejo de fluidos inflamables a altas presiones y temperaturas.

La realización de este Trabajo Especial de Grado, permite adquirir nuevos conocimientos en cuanto al manejo de criterios para el diseño de tuberías de proceso, diseño de fundaciones para equipos, planificación de actividades, evaluación del comportamiento de estructuras sometidas a cargas asistido por computadoras, así como los procesos de destilación de fracciones de petróleo.

## 9.2 Recomendaciones.

Realizar la remoción del suelo para verificar si la profundidad de suelo firme se conserva y compactar el fondo de la excavación de la fundación de la Columna de Fraccionamiento C-200, para obtener mejores propiedades del terreno.

Utilizar sistemas de aliviadero como consecuencia del nivel freático que posee el terreno. La solución más económica consiste en perforar agujeros de drenaje en la placa de fondo o colocar una capa de piedra picada uniforme de espesor máximo 15 centímetros, a lo largo de toda la fundación, la cual servirá de drenajes remanentes.

Para obtener una mejor estabilidad de la losa de fundación de la Columna de Fraccionamiento C-200, se recomienda arriostrar la misma a las vigas de riostra de las fundaciones de la estructura de soporte empleada.

Verificar el estado de los tramos de tuberías y de la Columna de Fraccionamiento C-110 existente en planta, de manera de garantizar su perfecta operación y así disminuir los costos de remodelación del proceso.

En caso de disponerse de programas de computación, comercialmente probados, se recomienda su uso para un diseño más exhaustivo del sistema de tuberías, considerando factores como resistencia mecánica y golpe de ariete.

Una vez instalada la Columna de Fraccionamiento C-200, aplicar las consideraciones generales en la inspección de columna enumeradas en el Capítulo VIII y desarrollar un plan básico de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento, eficiencia del proceso, instalaciones y equipos.

Con el fin de evitar paradas de emergencia del proceso provocadas por fallas de bombas, se recomienda colocar al menos dos bombas en cada uno de los puntos de bombeo, con las

especificaciones mencionadas a fin de poder cubrir la demanda de caudal requerida en caso de quedar una de ellas fuera de servicio.

Realizar el diseño de la línea de retorno o SLOP de la Columna de Fraccionamiento C-200 a los tanques de reproceso, necesaria para el arranque de la columna, mejoramiento de las especificaciones de los productos terminados y para evitar la pérdida de materia prima en caso de una falla o eventual parada de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2002. ASME Code for Pressure Piping, B31-3. New York, USA.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS. 1972. Metals Handbook. Séptima Edición. Ohio, USA.
- AVALLONE, Eugene. 1995. Manual del Ingeniero Mecánico. Novena Edición. McGraw-Hill. México.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. Norma 253:1999. “Colores para Identificación de Tuberías que conduzcan Fluidos”.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. ”, Norma 2002-88. “Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. Norma 3088:2000. “Equipos de Izamiento Terrestre”.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. Norma 1618-98. “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. Norma 1618:1998. “Estructuras de Acero para Edificaciones. Proyecto, Fabricación y Construcción”.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. Norma 2004:1998. “Terminología de las Normas COVENIN-MINDUR de Edificaciones”.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. Norma 2402:1997. “Tipología de los Vehículos de Carga”.
- CRANE, Co. 1987. Flujo de Fluidos en Válvulas Accesorios y Tuberías. McGraw-Hill. México.
- DELGADO, Manuel. 1996. Ingeniería de Fundaciones. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

- FRATELLI, María Graciela. 1993. Suelos, Fundaciones y Muros. Caracas, Venezuela.
- HELMUT, Ernest. 1972. Maquinas de Elevación y Transporte. Editorial Blume. Volúmen 1. Barcelona, España.
- HENGSTEBECK, R. J. 1976. Distillation: Principles and Desing Procedures. Editorial Huntington. New York. USA.
- HOWARD, Rase. 1973. Diseño de Tuberías para Plantas de Proceso. H. Blume Ediciones. Madrid, España.
- IZARRA, Jorge E. 2002. Simulación de un Planta de Solventes Alifáticos Livianos. Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Zulia.
- KRELL, Erich. 1963. Handbook of Laboratory Distillation. Editorial Ámsterdam Elsevier. Alemania.
- MARAVEN. 1985. “Guía para el Dimensionamiento de Tuberías”. Venezuela.
- MENDEZ, Manuel V. 1995. Tuberías a Presión en los Sistemas de Abastecimiento de Agua. Publicaciones de la Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 1945. “Manual para Cálculo de Edificios e Instalaciones Industriales”. Caracas, Venezuela.
- MOTT, Robert. 1995. Diseño de Elementos de Máquinas. Editorial Prentice Hall. México.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. 1994. “Manual de Ingeniería de Diseño, Cargas de Viento sobre Recipientes Verticales”. Venezuela.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. 1994. “Manual de Ingeniería de Diseño de PDVSA, Cargas de Viento sobre Recipientes Verticales Auto-soportables”. Volumen 18-I. Venezuela.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A.1995. “Manual de Ingeniería de Riesgos, Separación entre Equipos e Instalaciones”. Venezuela.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA, S.A. 1991. “Procedimiento de Ingeniería, Fundaciones de Recipientes Verticales”. Venezuela.

- PIETERSZ, Frank. 2000. “Perdidas por Fricción en Tuberías debido a la Resistencia del Flujo de Líquidos”. UCV. Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas, Venezuela.
- SEIB E., Jacob. 1974. Máquinas de Elevación y Transporte. UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. Caracas, Venezuela.
- SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS OF AIME. 1972. An Experimental Study of Two- Phase Flow in Inclined Pipes. Texas, USA.
- TAMAYO, Mario. El Proceso de la Investigación Científica. Editorial Limusa. S/F.

## GLOSARIO TÉCNICO

- **Acciones de Viento:** Son las producidas por la presión del viento sobre el área de la estructura.
- **Acciones de Sismo:** Son las producidas por los movimientos del terreno originados por los sismos.
- **Acciones Permanentes:** Son aquellas debidas al peso propio de la estructura y todos los materiales o elementos constructivos soportados en ella en forma permanente.
- **Acciones Variables:** Son las debidas a la ocupación o uso habitual de la estructura, incluyendo tabiques removibles y grúas móviles.
- **Actividad:** Es todo aquello que consume un tiempo definido y utilice recursos dentro de un proyecto.
- **Actividad Crítica:** Es aquella en la cual un retraso o adelanto en su terminación tiene el mismo efecto sobre el proyecto total.
- **Actividad Ficticia:** Es un artificio de diagramación utilizado para indicar interrelación entre actividades e identificación única de ellas.
- **Camino Crítico:** Es la trayectoria que siguen las actividades críticas, es decir, es el camino más largo desde el principio hasta el fin del proyecto.
- **Camión:** Vehículo de carga, que puede ser utilizado también para remolcar. Su diseño puede incluir una carrocería o estructura portante.
- **Camión tractor (Chuto):** Vehículo diseñado para remolcar y soportar la carga que le transmite un semirremolque.

- **Capacidad de Carga:** Vehículo destinado al transporte de bienes. Puede contar con equipos adicionales para prestación de servicios especializados.
- **Carga:** Es el peso externo aplicado al equipo incluyendo aparejos, gancho auxiliar, cadenas, etc.
- **Cargas Variables:** Son las debidas a la ocupación o uso habitual, con intensidad que es función del tiempo tales como las cargas de personas, objetos, vehículos, incluyendo las cargas de impacto de maquinarias, grúas móviles, ascensores, etc.
- **Diagrama:** Es un conjunto de líneas y símbolos que representan esquemáticamente una actividad creada por el hombre. Esta actividad puede referirse a una secuencia de movimientos establecidos para ejecutar una o varias acciones en forma progresiva desde un principio hasta un fin.
- **Diseño Estructural:** Dimensionamiento definitivo de las secciones de los elementos estructurales y refuerzos.
- **Edificación:** Construcción cuya función principal es alojar personas, animales o cosas.
- **Equipos de Izamiento Terrestre:** Los equipos de izamiento son máquinas formadas en lo fundamental por una superestructura, fuente de potencia y controles de operación montadas en una base fija transportable o portátil. Estos están diseñados para levantar, bajar, girar o transportar cargas en forma controlada.
- **Eslinga:** Es un dispositivo intermedio entre el mecanismo de izamiento de carga y la carga suspendida, destinado a sujetar y manejar la carga distribuyendo adecuadamente los esfuerzos.
- **Estructura:** Conjunto de miembros y elementos cuya función principal es resistir y transmitir las acciones al suelo a través de fundaciones.
- **Evento:** Es un instante en el tiempo cuando todos los trabajos han terminado y los siguientes pueden comenzar.

- **Izamiento:** Es toda operación de subir, bajar o desplazar una carga.
- **Modelo Matemático:** Formulación de la situación real en forma idealizada, adecuada para el cálculo y con propósitos de predicción y control.
- **Peso de Montaje:** Peso de fabricación del recipiente de acuerdo a los planos, más el peso adicional debido a plataformas, escaleras, etc.
- **Peso de Operación:** Peso vacío más el peso de fluido de operación y/o del catalizador.
- **Peso de Prueba:** Peso vacío más el peso del agua necesarias para la prueba hidrostática.
- **Peso Vacío:** Peso de fabricación del recipiente más el peso de las partes internas, tuberías, aislamiento y plataformas.
- **Placa de Fundación:** Una placa de fundación es una losa armada en dos direcciones ortogonales, de grandes dimensiones, que sirve de cimiento a un grupos de columnas o muros, o soporta estructuras tales como silos, estanques de agua, depósitos, chimeneas, torres de alta tensión, etc.
- **Polipasto Diferencial:** También llamado como un venezolanismo “señorita”, es un sistema especial de poleas empleado para subir, mover o descender cargas.

# APÉNDICES

## **APÉNDICE 1**

### Procedimiento de Arranque de la Unidad de Destilación C-200

## **8 PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DE LA UNIDAD C-200**

### **8.1 Arranque de los Servicios Asociados.**

Una etapa preliminar al arranque de la unidad de destilación es la puesta en operación de las unidades de servicios asociados a ésta. En este apartado, se hace mención del orden en el cual deben ser colocados en servicio dichas las unidades auxiliares.

1. Antes de proceder al arranque se debe chequear que todas las válvulas de proceso estén cerradas hacia los equipos de proceso respectivos, dejando abiertas solo las válvulas de bloque de las válvulas de control e instrumentos, verificándose en todo momento que no quede ningún instrumento aislado.
2. Verificar que todos los interruptores de los motores eléctricos correspondientes a esta unidad estén apagados, es decir en posición OFF.
3. Poner en servicio el sistema de energía eléctrica.
4. Poner en servicio el sistema de aire de instrumentación.
5. Poner en servicio el sistema de agua de enfriamiento.
6. Poner en servicio el sistema de aceite caliente.
7. Ya en servicio todas la unidades auxiliares, se procede al arranque de la columna C-200.

### **8.2 Arranque de la Columna C-200.**

Los pasos a seguir para el arranque de la unidad son los siguientes:

1. Alinear desde el tanque almacenamiento de la Gasolina Residual (T550-1) hasta la succión de la bomba de alimentación P-200A y cebarla.
2. Abrir parcialmente la válvula en la descarga de la bomba de alimentación.
3. Alinear desde la descarga de la bomba hasta la columna C-200, verificando que las válvulas de bloque de la estación de control de la FCV-200 estén abiertas y la de desvío (bypass) cerrada.

4. Alinear la salida del producto de tope (IDP-200) desde la succión de la bomba P-201 A hasta el intercambiador E-202, verificando que las válvulas que dan paso a los tanques de almacenamiento estén cerradas y solo permanezcan abiertas las asociadas a la línea de SLOP-200.
5. Alinear la salida del producto de fondo desde la succión de la bomba P-200 B hacia la columna C-110.
6. Alinear la salida del IDP-250 desde la succión de la P-111A hasta el precalentador E-203, verificando que las válvulas que dan paso a los tanques de almacenamiento estén cerradas y solo permanezcan abiertas las asociadas a la línea de SLOP-200.
7. Alinear la salida del producto de fondo (IDP-300) desde la succión de la bomba P-110 B hacia el intercambiador E-204, verificando también que las válvulas que permiten el acceso a los tanques de almacenamiento estén cerradas, dejando solo alineadas aquellas que pertenezcan a la línea de SLOP-200.
8. Ajustar manualmente el set-point del controlador LIC-203 en 70% y del FIC-200 en un porcentaje de abertura de válvula de 100%. Los demás controladores deberán estar en modo manual y con la válvula cerrada.
9. Poner en servicio la unidad P-200A y abrir paulatinamente la válvula de descarga de dicha bomba, durante este proceso el nivel en el fondo de la columna comenzará a incrementarse y el mismo podrá observarse en el LIC-203.
10. Cuando el nivel que reporta el LIC-203 sea de un 70%, cerrar la válvula FCV-200, cerrar la válvula de descarga de la bomba de alimentación y apagar la bomba.
11. Ajustar la temperatura en el fondo de la columna a través de la TCV-204, de manera de ir incrementando progresivamente la temperatura a razón de 40°C por hora hasta alcanzar los 100 °C. A medida que la temperatura reportada por el TIC-204 vaya incrementándose, comenzará a generarse vapores que ascenderán a través de la columna, dando como consecuencia un aumento de la temperatura TI-200B y de la presión PI-204A en el domo. Estos vapores al entrar en contacto con el agua de enfriamiento en el E-201, serán condensados y retenidos en el acumulador V-200, resultando así un aumento del nivel de líquido en el recipiente, el cual puede ser observado en el LIC-201.

12. Cuando el nivel en el fondo de la columna haya disminuido a aproximadamente 45%, se procede nuevamente a encender la P-200A, abrir la válvula de descarga correspondiente, ajustar el controlador FIC-200 en 500 lph (valor que representa el flujo mínimo de operación de la columna) y pasar el controlador a modo automático.

13. Simultáneamente ajustar el set-point del controlador LIC-203 en 30% y pasar a modo automático, con esta acción se comenzará a controlar el nivel en el fondo retirando producto de fondo al tanque de reproceso.

14. Cuando el nivel reportado por el LIC-201 sea de un 50%, se procede a cebar la bomba P-201A/B, se ajusta el controlador FIC-202 de manera de ir incrementando la rata de reflujo a razón de 200 lph hasta alcanzar 500 lph, se coloca en servicio la bomba P-201A/B y se abre paulatinamente la válvula de descarga asociada.

15. A medida que las condiciones en la columna se estabilizan, será necesario ajustar la temperatura en el fondo y la rata de reflujo.

Ajustar el controlador LIC-201 en 50% y poner en modo automático, con lo cual se comenzará a retirar producto de tope al tanque de reproceso a través de la línea de SLOP-200.

16. Cuando las condiciones de operación sean estables, pasar el controlador TIC-204 a modo automático y verificar que la temperatura reportada por éste se mantenga en 101,6 °C.

17. Tomar muestra de los productos de tope de fondo una (1) hora después de que la columna se haya estabilizado y verificar la calidad de los mismos.

18. En función de los resultados obtenidos en el paso anterior, ajustar la temperatura del fondo (TIC-204) y el flujo del reflujo (FIC-202), a fin de lograr las especificaciones requeridas de los productos.

19. Repetir los pasos 16 y 17 tantas veces como sea necesario. Una vez obtenidos los productos en especificaciones, se incrementa progresivamente el flujo de alimentación a la columna a través del FIC-200 a una rata de 100 lph aproximadamente, repitiéndose nuevamente los pasos 16 y 17 hasta que el flujo de alimentación sea de 860 lph y los productos estén dentro de los parámetros ya establecidos. El ajuste final del FIC-102 será de 910 lph, lo cual corresponde a una razón de reflujo/destilado de 1.795.

20. Finalizado el paso anterior y con los productos en especificaciones, se abren las válvulas que dan paso a los productos a sus respectivos tanques de almacenamiento y simultáneamente se cierran las válvulas que permiten el acceso a la línea de SLOP-200. Si solo uno de los

productos cumple con los parámetros, entonces este paso será aplicado a solamente este producto, y mientras que el otro no este en especificaciones seguirá alineado al tanque de reproceso.

### **8.3. Parada de la Unidad de Destilación C-200.**

#### **8.3.1. Parada Programada.**

Seguidamente se describe el procedimiento de parada programada de planta para inspección y mantenimiento. Durante la parada de productos que saldrán fuera de especificaciones y por tanto deberán ser enviados por la línea de SLOP-200 hacia los tanques de reproceso, con lo cual se hace necesario tomar las medidas preliminares a fin de disponer de uno de los tanques. Los pasos a cumplir para la parada de la unidad se resumen a continuación:

1. Cerrar la válvula de descarga de la bomba de alimentación P-200A y posteriormente sacar fuera de servicio la bomba accionando el interruptor del motor eléctrico en posición OFF.
2. Desviar los productos de la columna C-200 (tope y fondo) por la línea de SLOP-100 a los tanques de reproceso. Para ello se abrirán todas las válvulas correspondientes a esta línea y cerrando aquellas que permiten enviar los productos a los tanques de almacenamiento.
3. Ajustar la temperatura del horno H-500 de manera de ir descendiendo progresivamente la temperatura del mismo hasta 100°C. Apagar el horno, manteniendo el ventilador encendido y las bombas asociadas a este sistema de calentamiento en recirculación, hasta que la temperatura sea inferior a los 100°C.
4. Pasar el controlador TIC-204 a modo manual, fijando la abertura de la válvula de manera tal de lograr un descenso progresivo de la temperatura en el fondo de la columna hasta una temperatura cercana a la de ambiente. Cerrar la válvula de en el sistema de aceite caliente que envía este medio de calentamiento al E-200.
5. Pasar el controlador LIC-201 a modo manual e ir disminuyendo progresivamente la abertura de la válvula de control LCV-201 hasta que esté totalmente cerrada.
6. Al disminuir el nivel en el fondo de la columna automáticamente se irá cerrando la válvula de retiro de producto de fondo.

7. Mantener el reflujo a la columna hasta que desaparezcan los vapores en el domo y por consiguiente descienda la temperatura en el tope. Si el nivel reportado por el LIC-201 es menor del 10%: pasar el controlador FIC-202 a modo manual y llevar la abertura de la válvula a 0%, cerrar la válvula de descarga de la P-201A/B y sacar fuera de servicio la bomba que retorna líquido a la columna.
8. Una vez frío el aceite térmico en el horno H-700, sacar fuera de servicio el ventilador y las bombas de recirculación.
9. Cerrar las válvulas de suministro de agua de enfriamiento al intercambiador E-201.
10. Poner fuera de servicio las bombas del sistema de enfriamiento.
11. Poner fuera de servicio el ventilador de la torre de enfriamiento CV-401A/B.
12. Cerrar todas las válvulas asociadas al proceso.
13. Luego que la columna esté fría, drenar el contenido del rehervidor E-200, el fondo de la columna y acumulador V-200.

### **8.3.2.Paradas de Emergencia.**

Se definen como paradas de emergencia a aquellas ocasionadas por fallas en las unidades de servicio. Los procedimientos señalados se basan en la falla de una unidad de servicio a la vez.

#### *Parada de emergencia por falla de energía eléctrica:*

La pérdida del servicio de energía eléctrica implica una parada total de planta pues todos los servicios de la planta funcionan con energía eléctrica. Los pasos a seguir por el personal de operaciones de turno en este caso son:

1. Desviar los productos de la columna al tanque de reproceso (línea de SLOP-200).
2. Cerrar las válvulas de descarga de las bombas que se encontraban operativas al momento de la falla.
3. Si el nivel en el acumulador de tope V-200, se elevará a niveles máximo, el personal de operaciones de turno deberá drenar manualmente el equipo a fin de bajar el nivel, considerando en todo momento que el líquido contenido en el V-200 debe estar caliente y al realizar el drenado posiblemente se liberen vapores que puedan quemar severamente al personal.
4. Verificar en campo la presión en el sistema de calentamiento.

**APÉNDICE 2**  
Normas de Seguridad para Trabajos  
Ejecutados por Contratistas

## **1 Normas de Seguridad para Trabajos Ejecutados por Contratistas.**

### **1.1 Objetivos**

Establecer los lineamientos y/o requerimientos a exigir a las empresas contratistas, a fin de hacer cumplir Las Normas y Procedimientos de Seguridad Integral aplicadas en las operaciones ejecutadas en INGRAMELCA, D.P. y así garantizar la salud y seguridad de los trabajadores, evitando los factores que pudieran causar accidentes, incendios y/o explosiones y enfermedades ocupacionales.

### **1.2 Alcance**

Esta norma es aplicable a todas aquellas empresas que ejecuten trabajos por contrato en INGRAMELCA, D.P. los cuales sean desarrollados en cualquier área de la empresa.

### **1.3 Aspectos Generales**

- Los supervisores de contratistas son los únicos responsables de la seguridad, salud y bienestar de sus trabajadores.
- Todo personal de la contratista, sin distinción alguna está en la obligación de acatar las Normas y Procedimientos de Seguridad Integral de la empresa. Todas las leyes, reglamentos y normas legales vigentes.
- Los contratistas deberán cumplir con todos los ordenamientos que se hicieren para mejorar las condiciones de trabajo. Su incumplimiento concederá a la empresa contratante, el derecho de suspender o cancelar el contrato.
- Antes de dar comienzo al trabajo, los supervisores encargados o responsables de ejecutar la obra por parte del contratista se reunirá conjuntamente con el supervisor responsable de la obra por parte de IDP y el supervisor de la Sección de Seguridad Industrial de la empresa, para tratar todos los aspectos, requisitos y condiciones de seguridad aplicables al trabajo en particular.
- El contratista queda comprometido a explicarle las normas y procedimientos de prevención de accidentes e incendios, tanto a sus supervisores como a los trabajadores en general, antes de la ejecución del trabajo.

- No se permitirá al contratista, iniciar la obra hasta tanto no se haya dado fiel cumplimiento de los puntos 1.4 y 1.5.
- Cuando INGRAMELCA, D.P. por intermedio de su Comité de Higiene Y seguridad Industrial lo estime necesario, se realizarán inspecciones de seguridad en el sitio a métodos de trabajo, equipos, maquinarias, herramientas, etc.
- Las acciones correctivas que se recomienden durante las inspecciones efectuadas, serán de obligación e inmediato cumplimiento por parte de la contratista.
- Cuando exista desacuerdo con las recomendaciones, prevalecerá el criterio del supervisor responsable de I.D.P.
- El contratista debe presentar a la Sección de Seguridad Industrial, por intermedio del representante del proyecto por I.D.P. la información de las estadísticas de accidentalidad ocurridas durante el desarrollo de la obra.

#### **1.4 Adiestramiento**

- El contratista está en el deber de proporcionar adiestramiento a su personal, en materia de prevención de accidentes e incendios, y emprenderán campañas educativas para ello.
- INGRAMELCA, D.P., por intermedio de su Sección de Seguridad Industrial aportará la colaboración en sentido cuando fuese solicitado.
- El instruirá y responsabilizará a sus supervisores sobre:
  - \* Cumplir y hacer cumplir los requerimientos aquí expuestos.
  - \* Fomentar las prácticas seguras en el trabajo.
  - \* Informar a los trabajadores de los riesgos presentes en el área de trabajo aleccionándolos sobre los principios para su prevención.
  - \* Mantener el orden y limpieza en el sitio de trabajo.

#### **1.5 Equipos de Protección Personal**

- El contratista debe suministrar a sus trabajadores todo el equipo de protección personal necesario y adecuado, para hacer el trabajo con un mínimo de riesgos para ellos.
- El contratista está en la obligación de vigilar y hacer que los trabajadores usen en forma correcta los equipos de protección personal suministrados. En caso necesario se asesorará

con la Sección de Seguridad Industrial sobre instrucciones y tipos de equipos a utilizar para determinados trabajos, conservación, donde obtenerlo y otros detalles necesarios.

- En los casos en que el contratista requiera emplear equipos especiales de protección personal, y no esté a su disposición, podrá gestionar su adquisición o préstamo con I.D.P., siendo él responsable del buen uso de los mismos, y una vez terminado el trabajo, debe devolverlo en las mismas condiciones de limpieza y operabilidad en que fueron prestados.

### **1.6 Equipos Contra Incendios**

- El contratista debe proveerse de su propio equipo portátil para combatir incendios, que sea el apropiado y en cantidades suficientes, tanto en sus vehículos como en los sitios de trabajo, previo asesoramiento de la Sección de Seguridad Industrial de la empresa.
- El contratista debe mantener sus equipos de extinción en perfectas condiciones de operabilidad.
- El contratista debe adiestrar a sus trabajadores en el uso de estos equipos.
- En caso de ocurrir algún incendio, este debe ser notificado inmediatamente a la Sección de Seguridad Industrial, sin importar la magnitud del mismo.
- En los sitios de trabajo donde ocurran incendios, explosiones, emanaciones de gases y/o vapores combustibles inflamables, debe suspenderse inmediatamente el trabajo hasta que la situación se normalice y la condición del lugar permita la continuación del mismo. Se deberá apagar todas las máquinas y/o equipos riesgosos. En caso de que la emergencia lo requiera, el personal deberá abandonar el área afectada.

### **1.7 Equipos de Primeros Auxilios**

- El contratista debe mantener en el lugar de trabajo un botiquín de primeros auxilios que contenga los artículos mínimos necesarios para la aplicación de primeras curas, cuyas indicaciones deben estar en castellano.
- El contratista está en la obligación de instruir a su personal con las nociones elementales sobre los primeros auxilios, tales como: respiración artificial, inmovilización y movilización de lesionados, control de hemorragias, atención de quemaduras, etc.

### **1.8 Mantenimiento de Equipos**

- El contratista debe asegurarse que todas sus maquinarias, herramientas y equipos, y demás implementos de trabajo a utilizar en la obra, se encuentren en perfecto estado.
- El contratista efectuará periódicamente una revisión de dichas maquinarias, herramientas y demás elementos de trabajo a fin de sustituir aquellas que presenten peligro de accidente por desgaste o deterioro.

### **1.9 Requerimientos para el Transporte**

- Todo vehículo que se utilice para circular por cualquier área de la planta, deberá contar con la aprobación de la Sección de Seguridad Industrial y de Protección Física de Instalaciones.
- Todo el personal de la contratista autorizado para conducir vehículos, debe poseer documentación en regla y presentar a la Sección de Seguridad Industrial copia de: licencia de conducir y certificado médico vigentes.
- Se deberán acatar todas las señales y reglamentos de tránsito.
- Cuando se transporten pasajeros, no se deberá cargar materiales ni objetos que puedan causar peligro o incomodidad a los pasajeros.
- Está prohibido subir o bajar vehículos en movimientos.

### **1.10 Requerimientos para Cargar Vehículos**

- Los conductores acarreadores de tierra y de vehículos similares, se deben retirar de la cabina mientras el vehículo se esté cargando, cuando esté expuesto a peligros provenientes de aparatos o métodos de carga suspendida o elevada.
- Ningún vehículo será cargado de manera que obstaculice la visibilidad del conductor hacia delante.
- Ninguna parte de la carga deberá sobresalir de los lados del vehículo, excepto bajo circunstancias inevitables. No obstante, se señalará el peligro con bandas rojas. De noche se utilizará una luz roja.

### **1.11 Requerimientos para Excavaciones**

- El contratista instalará temporalmente, en zonas donde no hayan hidrocarburos gaseosos; barandas o barricadas, luces rojas o antorchas durante toda la noche en las excavaciones que se hagan.
- El contratista utilizará en áreas donde exista hidrocarburos gaseosos, linternas eléctricas a prueba de explosión. (anti-chispa).
- Antes de ejecutar trabajos de excavación debe hacerse un estudio sobre todas las condiciones de las adyacencias (edificaciones o instalaciones) que puedan verse afectadas.
- Antes de realizar cualquier excavación, deben ubicarse todas las instalaciones de gas, electricidad, agua, teléfono, etc., para evitar su rotura. Cuando ocurra, se debe interrumpir el servicio.
- Terminada la excavación, el contratista debe dejar la zona libre de escombros y/o desechos.

## **2 SEGURIDAD Y PROTECCIÓN AL REALIZAR UNA OBRA DENTRO DE LAS INSTALACIONES DE I.D.P.**

### **2.1 Trabajos de Excavaciones**

- Los bordes de las excavaciones se mantendrán libre de materiales, con la finalidad de no sobrecargar los taludes. Se mantendrán en todo momento una escalera en cada excavación para el descenso y ascenso de los trabajadores. Los trabajadores deben ser avisados y salir de la excavación cuando se vayan a realizar trabajos con equipos pesados cerca de los bordes.
- En aquellos casos donde el terreno ofrezca riesgos de derrumbe deberán estar entubados a apuntalados, a menos que tengan un declive que coincida con el ángulo de reposo de la tierra.
- Mientras se realice excavaciones con equipos mecánicos, no se permitirá que los trabajadores penetren en la zona de peligro del punto de operación de la máquina. El lugar debe ser cerrado con cintas y letreros.

## 2.2 Trabajos en Alturas

- Cuando los trabajos tengan que realizarse en alturas, deben utilizarse los equipos diseñados para tal fin: andamios, escaleras, etc., en aquellos casos donde no se pueda utilizar algunos de estos equipos o no se garantice máxima seguridad, se utilizaran arnes de seguridad. Debe colocarse cabo de vida en cualquier caso. Los andamios deben tener sus plataformas completas y amarradas.
- Cuando trabaje con andamio, asegúrese de que estén bien contruidos y supervisados por el departamento de Seguridad Industrial.
- Amarre las escaleras, aunque el trabajo sea de corto tiempo.

## 2.3 Manejo o Movimiento de Materiales

- Levantamiento de carga efectuada por hombres, en ningún caso un trabajador podrá cargar bultos u objetos con peso superior a los 25 Kg.
- Para levantar una carga de manera que se eviten casi todas las posibilidades de lesiones corporales, se seguirán ciertas reglas básicas:
  - Los pies convenientemente separados para obtener un buen equilibrio corporal.
- \* La espalda en posición recta, tan vertical como sea posible, se flexiona las rodillas hasta asir firmemente la carga.
- \* Se agarra el objeto firmemente.
- \* El objeto o carga se levantará enderezando las piernas, manteniendo el objeto cerca del cuerpo y con buena visibilidad.
- Para cambiar la dirección de la carga, no hay que torcer el cuerpo desde la cintura para arriba, hay que girar sobre los pies y cambiar la dirección de todo el cuerpo a la vez:
  - \* Cuando la carga sea mayor de la capacidad límite del levantamiento del trabajador, debe pedir ayuda de compañeros o utilizar equipos de carga.
  - \* Para trasladar materiales mayores de 6 metros de largo deben ir una (1) persona cada 3,5 metros.

## **2.4 Levantamiento Mecánico**

- Al utilizar un equipo de levantamiento, solo una persona calificada debe dar señales, éste debe cerciorarse que no haya nadie dentro del área de carga.
- No trate de parar la carga pesada oscilante, súbitamente. Utilice siempre una cuerda guía, esto le permitirá manipular la carga desde afuera ya que no esta permitido que los trabajadores operen o caminen debajo de cargas suspendidas.
- Se deben revisar siempre los aparejos.
- El peso de la carga no debe exceder de la capacidad de carga de los equipos utilizados.

## **2.5 Equipos de Elevación**

### **2.5.1 Grúas**

- Las maniobras, uso u operación de la grúa solamente podrá ser realizada por un operador debidamente entrenado para este fin, y certificado por el departamento de transportación de la empresa contratante.
- Antes del inicio de operaciones de la grúa, comprobar que los mecanismos de suspensión y seguridad, operen en perfectas condiciones (principios y fines de carrera de rotación, límites y elevación) en caso de alguna falla informar.
- Todos los ganchos de carga deberán tener sus pasadores de seguridad.
- Avisar la iniciación de las maniobras. No levantar cargas superiores a la capacidad máxima de la grúa.
- Respetando las señales de carga, para tal efecto deben ser emitidas por un ayudante debidamente instruido.
- No movilizar piezas o cargas mal eslingadas.
- Evitar las oscilaciones de la carga, al igual que levantamiento y descensos oblicuos y bruscos.
- Nunca se deben efectuar operaciones de remolque.
- Hacer funcionar la señal acústica cuando se efectúen maniobras de levantamientos y movilización de carga por zonas donde haya trabajadores laborando.
- El cordón de alimentación eléctrica debe estar en perfecto estado.

- Desconectar el interruptor general cuando la grúa este de servicios por reparación o mantenimiento.
- Mantener la cabina de control, en orden libre de elementos que obstruyan su acceso.
- No depositar material inflamable dentro de la cabina de control.
- No dejar cargas suspendidas y desconectar el interruptor.

### **2.5.2 Montacargas**

- Revise el equipo antes de utilizarlo (frenos, alarma de retroceso, cauchos, mecanismo de levantamiento y luces).
- No se deben utilizar las uñas para levantar personas.
- En marcha, mantenga las uñas en dirección al piso.
- Al retroceder asegúrese que no tiene obstáculos o personas detrás del montacargas.
- Asegúrese que la alarma de retroceso se active.
- La altura de la carga no debe entorpecer la visibilidad del operador.

## **3 NORMA GENERAL DE SEGURIDAD SOBRE EL LEVANTAMIENTO DE CARGA**

- El operador debe aceptar las señales únicamente de la persona que está supervisando el izamiento o del señalero (Rigger) autorizado.
- Si el equipo está provisto de la corneta, deberá sonarse cada vez que se vaya a viajar o a mover la carga.
- Antes de mover la cabina, el operador debe bajar la cabina, desengranar los embragues, poner las palancas de los controladores eléctricos en la posición off, abrir el interruptor principal y apagar el motor.
- El operador deberá familiarizarse con la guía o montacargas, si se requieren ajustes operacionales, debe comunicar acerca de los mismos al supervisor.
- La guía o montacargas no debe sobrepasar la carga de trabajo que ha sido establecida como segura por el fabricante, las cuales están indicadas en las “tablas de cargas permisibles”.
- La guaya de acceso de la guía no debe ser enrollada alrededor de la carga.

- La carga debe ser asegurada al gancho inferior de la guía por medio de las eslingas u otros dispositivos aprobados.
- El operador debe ver que la carga quede bien asegurada y debidamente balanceada en la eslinga antes de que sea levantada; se puede probar levantándola unos centímetros del suelo, excepto en el caso en que el operador no pueda ver la maniobra y esté actuando por señales de mano, transmitida por la persona que supervisa el levantamiento, o por un señalador autorizado.
- Las arrancadas y paradas bruscas deben ser evitadas.
- Las guías no deben ser usadas para tirar de lado, a menos que esté autorizado por una persona responsable.
- El operador debe evitar pasar por sobre las personas, en todo caso se avisará a los trabajadores se aparten.
- El operador tendrá que probar los frenos cada vez que vaya a ser levantada una carga que se acerca a la máxima permitida, levantando para ello la carga unos pocos centímetros del piso aplicando el freno.
- El señalero debe asegurarse que todos los trabajadores estén a una distancia segura antes de indicar que se eleve o baje la carga.

#### **4 SEGURIDAD AL EMPLEAR UN EQUIPO DE GAS Y OXIGENO EN LAS INSTALACIONES DE IDP**

- Se recomienda el empleo de equipos (sopletes, reguladores de presión, distribuidores de bombonas, dispositivos de protección de tuberías, etc.) homologados. Puesto que el oxígeno puro es más oxidante que el aire, su equipo debe mantenerse limpio (sin aceite, grasa u otros contaminantes combustibles).
- La NFPA 51B, Normas de protección contra incendios en procesos de corte y soldadura, define que: <<Los materiales que ardan en el aire, se quemarán violentamente en oxígeno puro a presión atmosférica y explosionarán en oxígeno presurizado. Por otra parte, muchos materiales que no arden, si lo hacen en oxígeno puro, sobre todo a presión>>. Por consiguiente, es importante reservar exclusivamente un equipo para el servicio de oxígeno. El almacenaje adecuado de las bombas de gas es muy importante.

- En las operaciones de corte y soldadura se producen chispas peligrosas (glóbulos de fusión, metal ardiendo o escoria caliente). Las chispas de oxicorte son generalmente más peligrosas que las de soldadura debido a que son más numerosas y recorren mayores distancias. En cierta manera se impulsan por el chorro de oxígeno o corrientes de aire que se emplean en el corte. Las llamas de gas-oxígeno y arco eléctrico son obvias fuentes de ignición, al igual que las piezas calientes o sus recortes; sin embargo la experiencia demuestra que son menos peligrosas que las chispas.
- Es esencial el aislamiento o protección de los combustibles si se exponen a chispas que penetren por las grietas o aperturas de los suelos y particiones. Si dichas chispas tiene masa suficiente para mantener el calor durante un tiempo, pueden inflamar materiales combustibles. Los requerimientos mínimos para el control de combustible en las zonas de corte o soldadura son:
  - \* Retirarlos a una distancia (al menos de 10,5 m.) y asegurarse que no existen aberturas en suelos o paredes en un radio de 10,5 m; o
  - \* Retirarlos a un lugar seguro.
  - \* Proteger los combustibles con pantallas resistentes al fuego y poner un vigilante que disponga de un equipo de extinción.

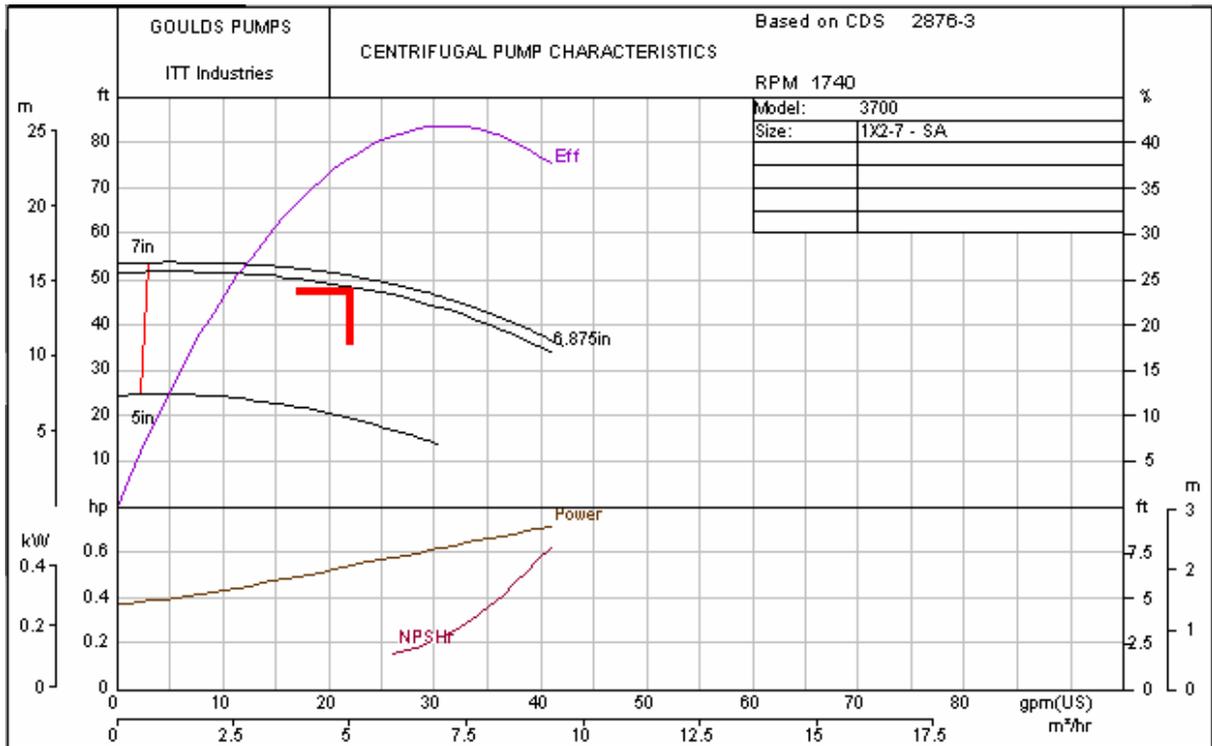
**APÉNDICE 3**  
Planos

**APÉNDICE 3.1**  
**Plano de Planta de I.D.P, S.A.**  
(Abrir archivo de nombre Apéndice 3.1)

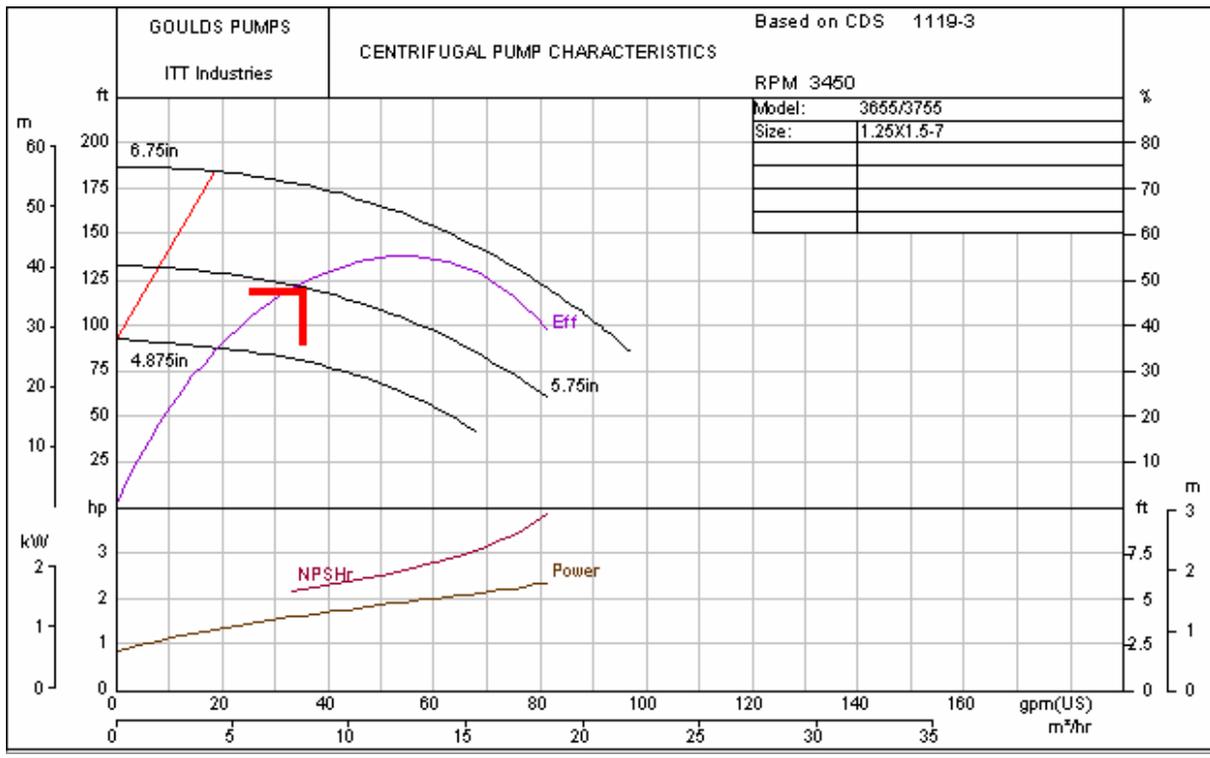
**APÉNDICE 3.2**  
**Plano de la Estructura de Soporte de la**  
**Columna de Fraccionamiento C-200**  
(Abrir archivo de nombre Apéndice 3.2)

**APÉNDICE 3.3**  
Diagrama de Tuberías e Instrumentos del  
Proceso de Fraccionamiento de  
Gasolina Residual  
(Abrir archivo de nombre Apéndice 3.3)

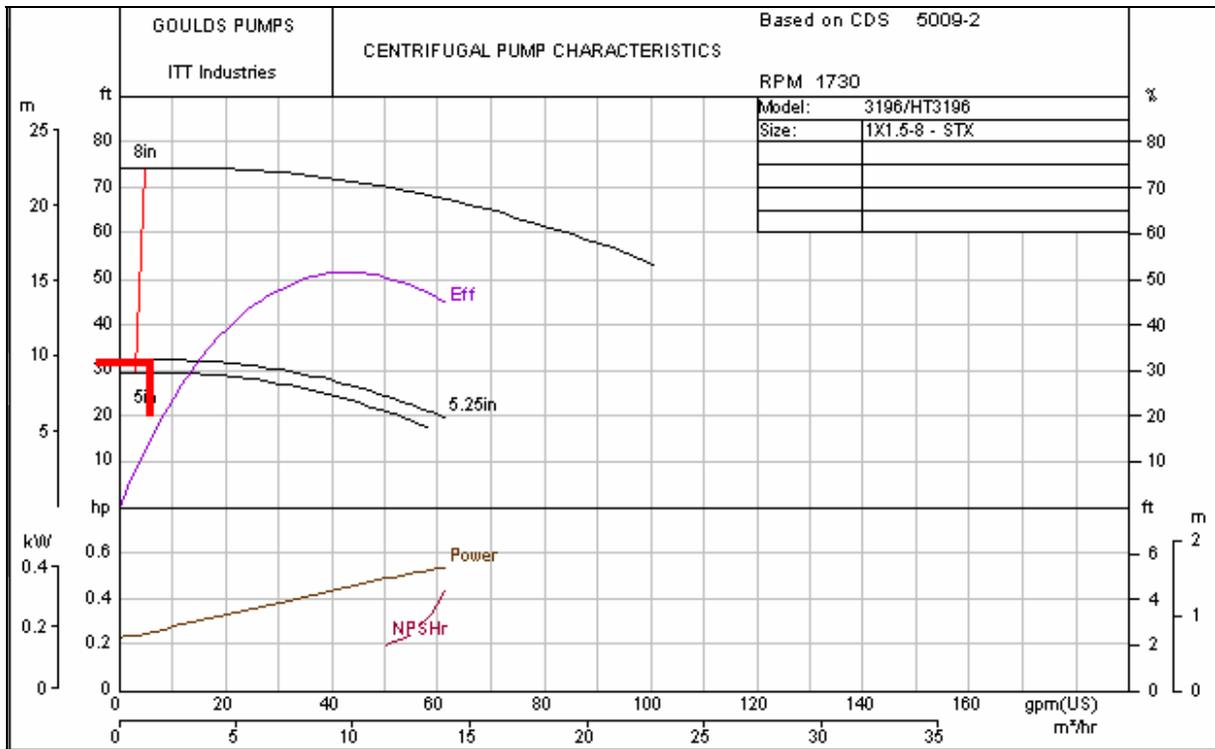
**APÉNDICE 4**  
Curvas Características de las  
Unidades de Bombeo



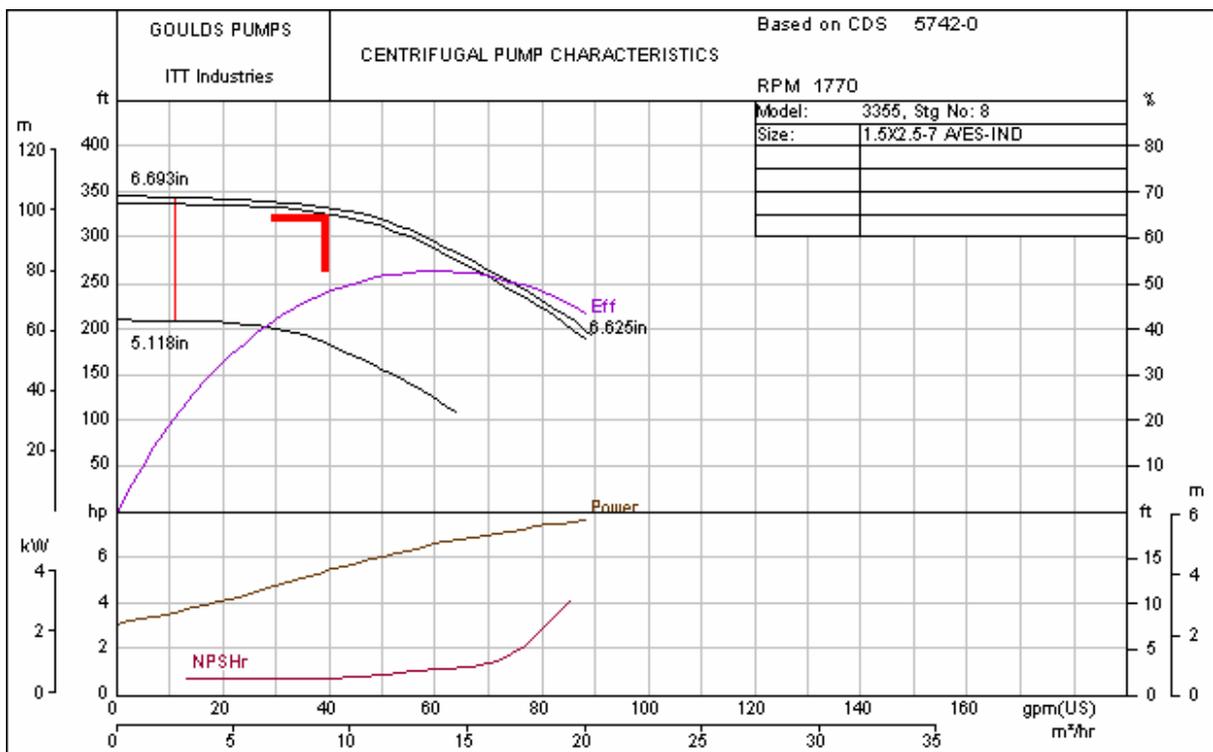
**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-200A**



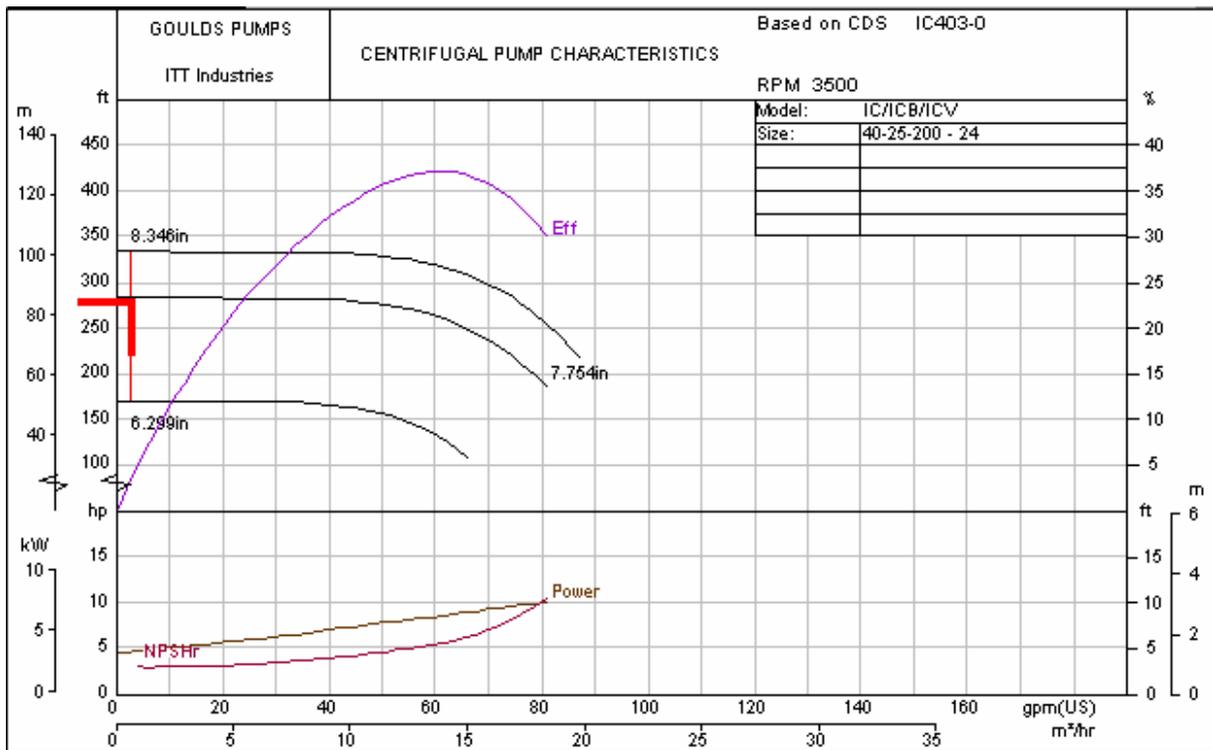
**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-201A**



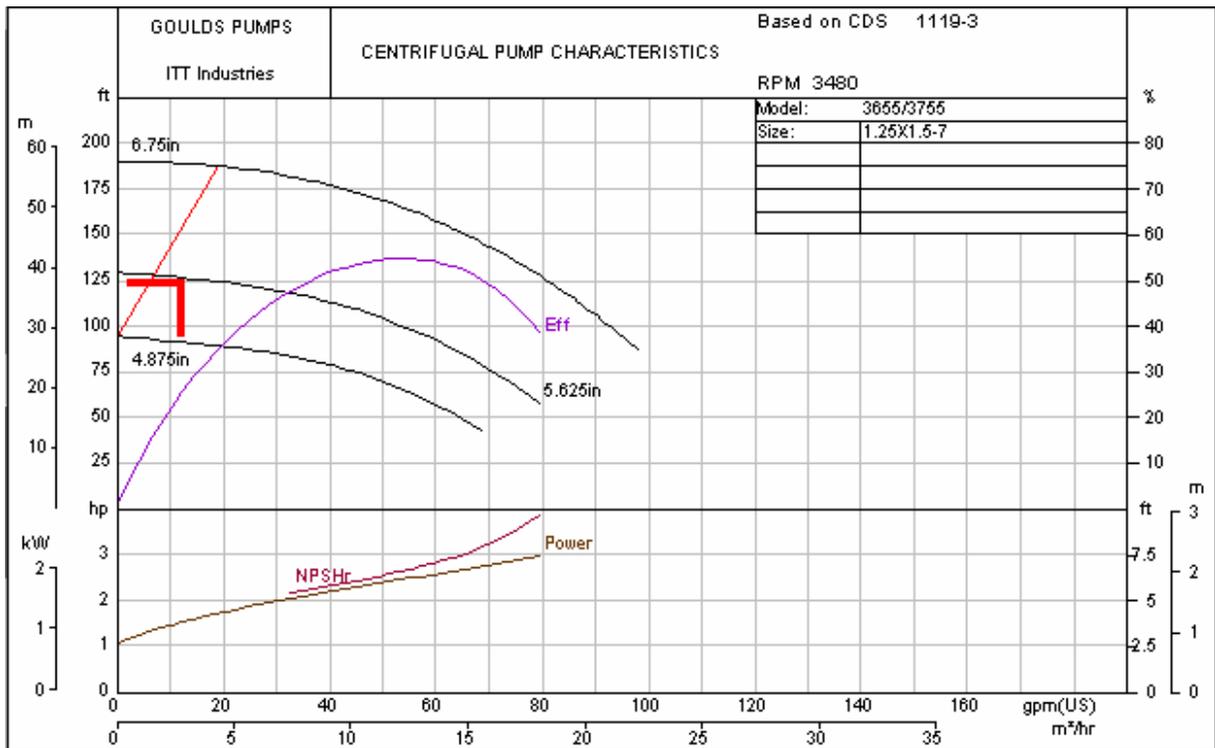
**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-200B**



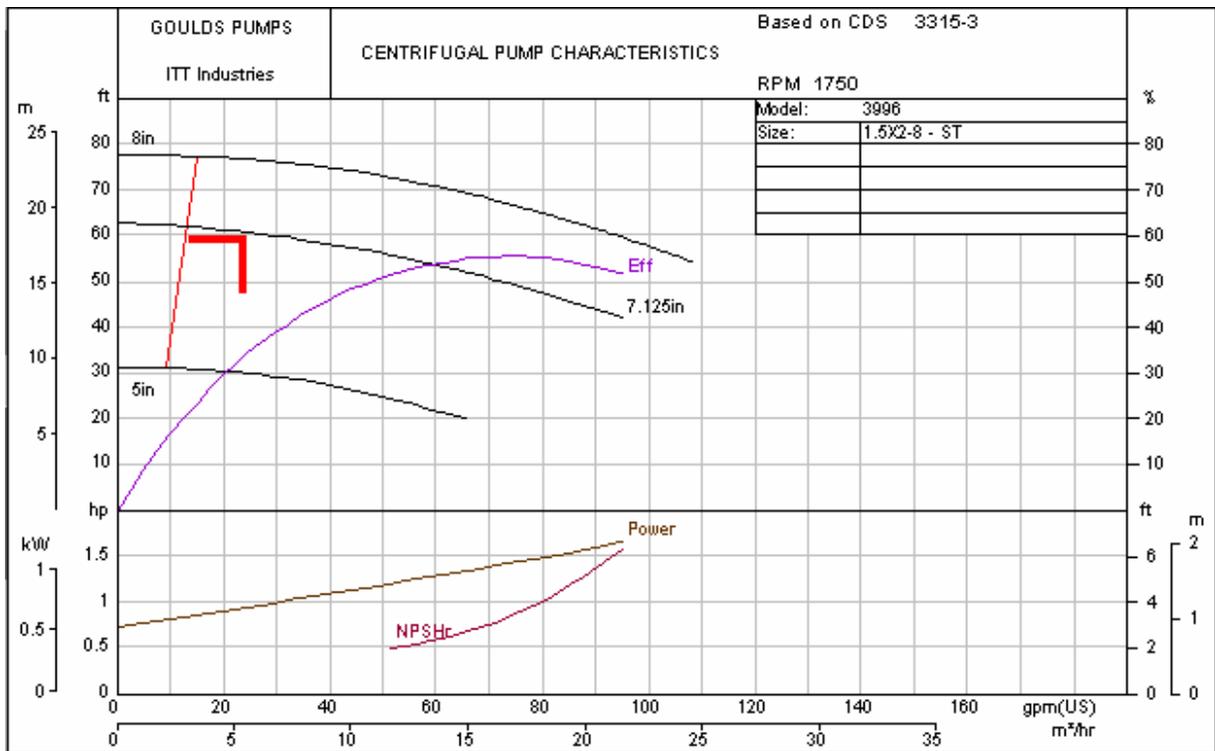
**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-111A**



**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-110B**



**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-201C**



**Curva Característica de la Bomba Seleccionada para P-200H**