

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA PETROLERA**



**PROYECTO DE GRADO**

**DISEÑO DE INGENIERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE  
DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL ANHIDRO COMO ADITIVO DE  
ORIGEN VEGETAL PARA LAS GASOLINAS**

**POSTULANTE: MARIA RENEE CADENA QUISBERT**

**TUTOR: M.Sc. ING. MARCO ANTONIO MONTESINOS MONTESINOS**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2021**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por ser el forjador de mi camino, por estar siempre en mi vida, por brindarme su amor incondicional y bendecirme de mucha salud para lograr mis metas.*

*A mi padre, Rene Rogelio Cadena Mendoza quien confió siempre en mí, motivador de mis luchas, el que velo siempre por mi bienestar y dio todo para que nunca me faltara nada, por inculcarme siempre los buenos valores de vida, papito estos logros son para ti y sé que desde el cielo me seguirás cuidando y guiando en cada etapa de mi vida.*

*A mi madre, Justina Quisbert Hidalgo a quien admiro tanto por ser una mujer luchadora, quien guía paso a paso mi vida acompañándome siempre en mis triunfos y caídas, por sus sabios consejos, por la motivación y apoyo constante que me ha permitido cumplir cada meta y sobre todo por su infinito amor.*

*A mis hermanos por brindarme su apoyo e inspiración a seguir adelante.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la prestigiosa Universidad Mayor de San Andrés y en especial a la carrera de Ingeniería Petrolera por haberme abierto las puertas al templo del saber, por su excelente plantel académico y por acogerme en cada una de sus aulas.*

*A mi tutor M.Sc. Ing. Marco Antonio Montesinos Montesinos, por brindarme en todo momento su apoyo, colaboración y guía, por compartir su experiencia y conocimiento, una excelente persona a la que admiro y agradezco mucho su amistad.*

*Al plantel docente por transmitir sus conocimientos, experiencias, consejos y por motivarnos siempre a ser grandes profesionales.*

*A mis revisores por tomarse su tiempo y guiarme en el presente trabajo.*

*A Jhonathan Olaguibel Luna por siempre estar a mi lado en las buenas y malas, por su apoyo incondicional, por su cariño y buenos deseos.*

*A mis amigas por compartir tantas aventuras en toda esta etapa de la universidad, por brindarme siempre su amistad y apoyo.*

# CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURA.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN. –.....	1
1.2. ANTECEDENTES. –.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. –.....	3
1.3.1. Identificación del problema. –.....	3
1.3.2. Formulación del problema. –.....	3
1.4. OBJETIVOS Y ACCIONES. –.....	4
1.4.1. Objetivo general. – .....	4
1.4.2. Objetivos específicos y acciones de la investigación. –.....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN. –.....	4
1.5.1. Justificación académica. –.....	4
1.5.2. Justificación técnica. –.....	5
1.5.3. Justificación económica. –.....	5
1.5.4. Justificación social. –.....	5
1.5.5. Justificación ambiental. –.....	5
1.6. ALCANCE. -.....	6
1.6.1. Alcance temático. – .....	6
1.6.2. Alcance técnico. –.....	6
1.6.3. Alcance geográfico. –.....	7
1.6.4. Alcance legal. – .....	7

<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. DEFINICIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	8
2.2. CLASIFICACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	9
2.2.1. Tanques atmosféricos .....	9
2.2.2. Tanques a presión .....	10
2.2.2.1. Recipientes cilíndricos.....	10
2.2.2.2. Recipientes de esfera.....	11
2.2.3. Tanques de baja presión .....	11
2.3. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	12
2.3.1. Cilíndricos horizontales.....	12
2.3.2. Cilíndricos verticales de fondo plano .....	12
2.4. TIPOS DE TECHOS PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	13
2.4.1. Tanque de techo fijo .....	13
2.4.1.1. Tanques de techo cónico.....	13
2.4.1.2. Tanques de techo sombrilla .....	14
2.4.1.3. Tanques con techo domo geodésico de aluminio .....	14
2.4.2. Tanque de techo flotante.....	14
2.4.2.1. Tanque de techo flotante externo (TFE).....	14
2.4.2.2. Tanque de techo flotante interno (TFI).....	15
2.5. CÓDIGOS DE DISEÑO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	15
2.5.1. API 650 .....	15
2.5.2. API 620.....	16
2.5.3. ASME ANSI B96.1 .....	16
2.5.4. AWWA 1000.....	16
2.6. NORMAS ESTÁNDARES Y CÓDIGOS SEGÚN LA NORMA API 650 .....	18
2.6.1. Alcance de la norma API 650.....	18
2.6.2. Partes del código API 650 .....	19
2.7. MATERIALES PARA EMPLEAR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO .	20
2.8. BARRA DE PREVENCIÓN.....	21
2.8.1. Geomembrana.....	22

2.8.2.	Material sellado .....	23
2.9.	PROTECCIÓN CATÓDICA .....	24
2.9.1.	Métodos de protección catódica para el control de la corrosión. ....	25
2.9.1.1.	Ánodos de sacrificio .....	25
2.9.1.2.	Sistemas de corriente impresa .....	26
2.9.2.	Materiales de relleno .....	28
2.10.	IDENTIFICACIÓN DEL FLUIDO ALMACENADO .....	29
2.10.1.	Características fisicoquímicas del etanol anhidro.....	29
2.10.2.	Tipos y usos del alcohol etílico.....	30
2.10.3.	Proceso de producción del etanol anhidro .....	30
2.10.4.	Importancia de las propiedades del etanol anhidro .....	33
2.10.4.1.	Importancia de acuerdo al material de diseño del tanque .....	34
2.10.4.1.1.	Hidrofiliidad.....	34
2.10.4.1.2.	Compatibilidad y control de corrosión .....	35
<b>CAPITULO 3 .....</b>		<b>37</b>
<b>APLICACIÓN PRACTICA.....</b>		<b>37</b>
3.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	37
3.1.1.	Localización del tanque de almacenamiento .....	38
3.1.1.1.	Condiciones atmosféricas .....	39
3.1.2.	Volumen de almacenaje.....	39
3.1.3.	Condiciones de operación.....	40
3.2.	SELECCIÓN DEL CÓDIGO DE APLICACIÓN PARA EL DISEÑO .....	41
3.3.	SELECCIÓN DE MATERIAL SEGÚN LA NECESIDAD DEL PRODUCTO....	43
3.4.	DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO. ....	44
3.4.1.	Diseño del fondo.....	46
3.4.2.	Diseño y cálculo del cuerpo.....	47
3.4.2.1.	Cálculo de espesores del cuerpo por el Método de un Pie .....	50
3.4.3.	Peso total del cuerpo del tanque $W_s$ .....	54
3.5.	DISEÑO DEL TECHO DEL TANQUE .....	55
3.5.1.	Cubierta interna flotante .....	56
3.5.1.1.	Diseño de la cubierta interno flotante.....	57

3.5.1.2.	Partes de la cubierta flotante.....	60
3.5.1.3.	Accesorios y aperturas .....	62
3.5.1.4.	Calculo del peso total del techo flotante.....	64
3.5.1.5.	Parámetros de flotabilidad .....	67
3.5.2.	Domo Geodésico de Aluminio .....	69
3.5.2.1.	Peso total del techo domo geodésico del tanque Wr.....	71
3.5.2.1.	Partes de un domo geodésico.....	73
3.5.3.	Seguridad en la construcción y mantenimiento.....	77
3.5.3.1.	Mantenimiento de las estructuras .....	77
3.5.3.2.	Control de mermas o por evaporación.....	78
3.6.	CÁLCULO POR SISMO Y VIENTO .....	79
3.6.1.	Momento de volteo .....	79
3.6.2.	Resistencia al volteo .....	88
3.6.2.1.	Esfuerzo máximo de compresión en el fondo del cuerpo.....	88
3.6.2.2.	Compresión longitudinal máxima permisible del cuerpo.....	89
3.7.	SELECCIÓN DE ACCESORIOS DE INSTRUMENTACIÓN. ....	91
3.7.1.	Ingreso de producto .....	91
3.7.2.	Salida de producto .....	92
3.7.3.	Entrada de limpieza .....	93
3.7.4.	Entrada hombre.....	94
3.7.5.	Sumidero.....	96
3.7.6.	Escotilla para radar .....	97
3.7.7.	Transmisor de presión.....	98
3.7.8.	Placa de nombre.....	98
3.7.9.	Selección de escalera y plataforma.....	99
3.7.9.1.	Requerimiento para escaleras .....	99
3.7.9.2.	Requerimientos para plataformas y pasillos .....	100
3.8.	SELECCIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA .....	101
3.8.1.	Sistemas de control de corrosión .....	104
3.9.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PINTURA.....	105
3.9.1.	Sistema de pintura para superficies exteriores .....	106

3.9.2.	Sistema de pintura para superficies interiores .....	107
3.10.	INSPECCIÓN Y PRUEBAS BAJO EL CÓDIGO ESTÁNDAR.....	108
3.10.1.	Ensayos no destructivos (END).....	108
3.10.2.	Prueba hidráulica .....	110
3.10.3.	Prueba de estanqueidad .....	112
3.10.4.	Tolerancia dimensionales .....	112
3.11.	MEDIDAS PREVENTIVAS Y CONTROL DE SEGURIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	113
3.11.1.	Medidas de control de riesgo.....	113
3.11.2.	Medidas de seguridad industrial .....	114
3.11.3.	Manejo de fugas y derrames .....	118
3.11.3.1.	Barrera de prevención.....	118
3.11.3.2.	Muro de contención de derrames.....	119
3.11.4.	Prevención y protección contra incendios .....	120
3.11.4.1.	Señalización.....	122
3.12.	ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIO-AMBIENTAL .....	124
3.12.1.	Identificación de impactos ambientales.....	124
3.12.2.	Medidas de mitigación de los impactos ambientales identificados. ....	126
<b>CAPITULO 4 .....</b>		<b>127</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>		<b>127</b>
4.1.	VIABILIDAD ESTRATÉGICA DEL PROYECTO .....	127
4.1.1.	Ventajas del proyecto .....	127
4.1.1.1.	Sustitución parcial de la importación de aditivos fósiles.....	127
4.1.1.2.	Reducción sustancial de la subvención de la gasolina.....	133
4.1.2.	Mercado objetivo.....	147
4.2.	VIABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO.....	148
4.2.1.	Inversiones del proyecto .....	148
4.2.2.	Estimación de coste .....	149
4.2.2.1.	Costo de los materiales .....	149
4.2.2.2.	Costo de los accesorios .....	149
4.2.2.3.	Costo mano de obra .....	150

4.2.3.	Flujo de caja.....	152
4.2.4.	Cálculo de indicadores VAN y TIR .....	153
4.2.4.1.	Evaluación mediante el Valor Actual Neto (VAN).....	153
4.2.4.2.	Evaluación mediante la Tasa Interno de Retorno (TIR).....	154
<b>CAPITULO 5 .....</b>		<b>155</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>155</b>
5.1.	CONCLUSIONES.....	155
5.2.	RECOMENDACIONES .....	156
<b>BIBLIOGRAFÍA. –.....</b>		<b>157</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>158</b>
ANEXO A.....		158
ANEXO B.....		159
ANEXO C.....		161
ANEXO D.....		168
ANEXO E.....		171

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura No 2 - 1. Tanque de almacenamiento de 8.000 m <sup>3</sup> de gasolina especial.....	10
Figura No 2 - 2. Tanques de almacenamiento cilíndrico .....	10
Figura No 2 - 3. Recipiente de esfera G.L.P.....	11
Figura No 2 - 4. Tanques de almacenamiento a baja presión .....	12
Figura No 2 - 5. Membrana impermeable debajo de tanque de almacenamiento.....	22
Figura No 2 - 6. Protección catódica con ánodos de sacrificio.....	26
Figura No 2 - 7. Protección catódica por corriente impresa .....	27
Figura No 2 - 8 Esquema del proceso de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar .....	32
Figura No 3 - 1. Zona geográfica de la Planta Senkata.....	38
Figura No 3 - 2. Niveles y volúmenes del tanque de almacenamiento.....	40
Figura No 3 - 3. Storage pressure VS true vapor pressure.....	41
Figura No 3 - 4 Arreglo esquemático del tanque de almacenamiento.....	46
Figura No 3 - 5 Esquema del tanque de almacenamiento.....	49
Figura No 3 - 6. Instalación de la membrana flotante.....	56
Figura No 3 - 7 Esquema del techo flotante. ....	58
Figura No 3 - 8 Dimensiones del pontón.....	59
Figura No 3 - 9. Entrada hombre .....	63
Figura No 3 - 10. Tubos de instrumentación .....	64
Figura No 3 - 11 Esquema de fuerzas que ejercen sobre la cubierta .....	67
Figura No 3 - 12. Paneles triangulares.....	69
Figura No 3 - 13. Segmento circular.....	72
Figura No 3 - 14. Boquilla de techo típica.....	75

Figura No 3 - 15 Válvula de venteo central.....	76
Figura No 3 - 16 Entrada de inspección.....	76
Figura No 3 - 17. Proceso de armado de estructuras de aluminio .....	77
Figura No 3 - 18. Tanques de techo flotante de acero vs domo geodésico.....	78
Figura No 3 - 19 Identificación de zonas sísmicas en Bolivia.....	80
Figura No 3 - 20. Masa efectiva.....	82
Figura No 3 - 21. Centroide de la fuerza sísmica .....	83
Figura No 3 - 22. Centroide de cilindro.....	84
Figura No 3 - 23. Valor del factor K.....	86
Figura No 3 - 24. Boca de entrada .....	92
Figura No 3 - 25. Dimensión de boca de salida.....	93
Figura No 3 - 26. Dimensión del Clean Out .....	94
Figura No 3 - 27. Entrada hombre lateral .....	96
Figura No 3 - 28. Dimensiones para sumideros.....	97
Figura No 3 - 29. Transmisor de presión hidrostática .....	98
Figura No 3 - 30. Placa de nombre .....	99
Figura No 3 - 31 Protección catódica por ánodos de sacrificio. ....	101
Figura No 3 - 32 Localización de los ánodos de sacrificio en el perímetro del tanque. ....	102
Figura No 3 - 33 Localización de los ánodos de sacrificio en el tanque. ....	103
Figura No 3 - 34 Punto de control del sistema de protección catódica.....	103
Figura No 3 - 35. Esquema de medición de potencial .....	104
Figura No 3 - 36 Medición del potencial de protección catódica.....	104
Figura No 3 - 37. Sand – blasting con capa de cintura .....	106

Figura No 3 - 38 Nivelación en el piso del tanque para la prueba hidráulica.....	110
Figura No 3 - 39 Plano de evacuación de la Planta Senkata.....	115
Figura No 3 - 40 Sistema de alarma.....	115
Figura No 3 - 41. Geomembrana de polietileno de alta densidad HDP.....	119
Figura No 3 - 42 Limite de inflamabilidad del etanol anhidro .....	120
Figura No 3 - 43 Hidrantes + accesorios para la prevención contra incendios.....	122
Figura No 3 - 44. Rombo NFPA 704 del etanol anhidro .....	123
Figura No 4 - 1. Volúmenes importados de insumos y aditivos por gestión .....	128
Figura No 4 - 2. Proveedores de volúmenes de insumos y aditivos .....	129
Figura No 4 - 3. Distribución de etanol anhidro .....	130
Figura No 4 - 4. Análisis comparativo porcentual de volúmenes por mes de insumos aditivos y alcohol anhidro (lt) .....	131
Figura No 4 - 5. Comportamiento actual y el esperado de la distribución de los volúmenes de insumos y aditivos y el etanol anhidro (MLt.).....	132
Figura No 4 - 6. Subvención calculada por gestión.....	137
Figura No 4 - 7. Volúmenes de Gasolina Especial por gestión (Mlt).....	140
Figura No 4 - 8. Volúmenes de Gasolina Especial por departamentos (Mlt) .....	141
Figura No 4 - 9. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por gestión (Mlt).....	142
Figura No 4 - 10. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por departamento (MLt) .....	143
Figura No 4 - 11. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por gestión (MLt).....	144
Figura No 4 - 12. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por departamentos (lt).....	145
Figura No 4 - 13. Volúmenes comercializados de Gasolina Especial, Gasolina Especial Plus y Gasolina Súper Etanol 92 (MLt). .....	146

Figura No 4 - 14. Pronostico anual de oferta de volúmenes de etanol anhidro .....	147
Figura No C - 1 Localización de las empresas productoras de etanol anhidro.....	167
Figura No E - 1 Efecto del contenido de etanol en la presión de vapor reíd (37.8 °C) de la gasolina mezclada con etanol (GASOHOL).....	171
Figura No E - 2 Diseño del tanque de almacenamiento de etanol anhidro.....	172
Figura No E - 3 Diseño de fondo del tanque de almacenamiento de etanol anhidro.....	173

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No 2 - 1. Requerimientos de diversos estándares para tanques de fondo plano .....	17
Tabla No 2 - 2. Materiales permitidos por API 650 .....	21
Tabla No 2 - 3. Material de relleno para ánodos galvánicos .....	28
Tabla No 2 - 4. Características fisicoquímicas del etanol anhidro .....	29
Tabla No 2 - 5. Proceso productivo del etanol anhidro .....	31
Tabla No 2 - 6 Propiedades del etanol anhidro.....	33
Tabla No 2 - 7. Materiales compatibles e incompatibles con etanol anhidro .....	36
Tabla No 3 - 1 Características técnicas de calidad del etanol anhidro.....	37
Tabla No 3 - 2. Condiciones atmosféricas .....	39
Tabla No 3 - 3 Condiciones de operación.....	40
Tabla No 3 - 4. Clasificación del código de diseño .....	42
Tabla No 3 - 5. Materiales compatibles e incompatibles para su aplicación.....	43
Tabla No 3 - 6. Materiales más comunes sus esfuerzos permisibles (Kg/cm) .....	44
Tabla No 3 - 7. Espesor mínimo de pared del cuerpo.....	48
Tabla No 3 - 8 Requerimiento para el cálculo de un Pie .....	50
Tabla No 3 - 9. Cálculo de espesores para pruebas hidrostática y de diseño .....	53
Tabla No 3 - 10. Parámetros de selección.....	56
Tabla No 3 - 11 Dimensiones del pontón .....	59
Tabla No 3 - 12 Partes de la cubierta flotante.....	60
Tabla No 3 - 13 Peso de los accesorios.....	66
Tabla No 3 - 14 Partes de un domo geodésico.....	73
Tabla No 3 - 15. Valores del factor Z en función de la zona sísmica .....	81

Tabla No 3 - 16. Factor de amplificación del lugar .....	87
Tabla No 3 - 17. Dimensión de boca de entrada.....	92
Tabla No 3 - 18. Dimensión de boca de salida .....	93
Tabla No 3 - 19. Dimensión del Clean Out .....	94
Tabla No 3 - 20. Espesores de entrada de hombre lateral.....	95
Tabla No 3 - 21. Grosor mínimo del cuello.....	95
Tabla No 3 - 22. Dimensión de entrada hombre lateral.....	96
Tabla No 3 - 23. Dimensiones para sumideros .....	97
Tabla No 3 - 24 Características del ánodo de sacrificio. ....	102
Tabla No 3 - 25. Aplicación de pintura en tanques de superficie exterior.....	106
Tabla No 3 - 26. Aplicación de pintura en tanques de superficie interna.....	107
Tabla No 3 - 27 Refuerzo de la soldadura .....	108
Tabla No 3 - 28 Tasa de llenado con agua.....	111
Tabla No 3 - 29. Tolerancia radial.....	113
Tabla No 3 - 30 Equipos de protección personal.....	116
Tabla No 3 - 31. Medidas de prevención.....	117
Tabla No 3 - 32. Exposición y efectos sobre la salud.....	117
Tabla No 3 - 33. Medidas de prevención contra incendios.....	123
Tabla No 3 - 34 Determinación del valor de impacto ambiental.....	124
Tabla No 3 - 35 Matriz de evaluación de impactos ambientales .....	125
Tabla No 3 - 36 Medidas de mitigación de los impactos ambientales.....	126
Tabla No 4 - 1. Volúmenes importados de insumos y aditivos por gestión.....	128
Tabla No 4 - 2 Distribución de etanol anhidro .....	130

Tabla No 4 - 3. Base de datos de insumos y aditivos importados .....	133
Tabla No 4 - 4. Proporciones para la mezcla de insumos y aditivos con gasolina blanca.....	135
Tabla No 4 - 5. Subvención calculada por gestión .....	136
Tabla No 4 - 6. Cadena de precios de súper etanol 92.....	138
Tabla No 4 - 7. Subvención calculada promedio [bs/lit] .....	139
Tabla No 4 - 8. Volúmenes de Gasolina Especial por gestión.....	140
Tabla No 4 - 9. Volúmenes de Gasolina Especial por departamento (lt) .....	141
Tabla No 4 - 10. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por gestión (Lt) .....	142
Tabla No 4 - 11. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por departamento (lt) .....	143
Tabla No 4 - 12. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por gestión.....	144
Tabla No 4 - 13. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por departamentos (Lt).....	145
Tabla No 4 - 14. Costo del material .....	149
Tabla No 4 - 15. Costo de los accesorios.....	149
Tabla No 4 - 16. Costo de mano de obra .....	150
Tabla No 4 - 17 Costo total de inversión del proyecto .....	151
Tabla No A - 1 Análisis FODA.....	158
Tabla No C - 1 Hoja de seguridad del Alcohol Etílico.....	161
Tabla No C - 2 Reglamento de las características técnicas de calidad del etanol anhidro .....	163
Tabla No C - 3 Reglamento de las características técnicas de calidad de la Gasolina Base para su mezcla con Aditivos de Origen Vegetal. ....	164
Tabla No C - 4 Reglamento de las características técnicas de calidad de la Gasolina Especial Plus .....	165

Tabla No C - 5 Metodologías usadas para el análisis del Etanol en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea.....	166
Tabla No D - 1 Volúmenes comercializados de Gasolina Especial por departamentos.....	168
Tabla No D - 2 Volúmenes comercializados de Súper Etanol 92 por departamentos.....	168
Tabla No D - 3 Volúmenes comercializados de Gasolina Especial Plus por zonas y departamentos .....	169
Tabla No D - 4 Base de datos de Insumos y Aditivos Importados .....	170
Tabla No E - 1 Distancia entre tanques y los límites de la propiedad.....	171

## ACRÓNIMOS

G.L. = Grados de licor

API = American Petroleum Institute

ASME = American Society of Mechanical Engineering

AWWA = American Water Works Association

VLDPE = Polietileno de muy baja densidad

FPP = Polipropileno flexible

PVC = Policloruro de Vinilo

HDPE = Polietileno de alta densidad

CMP = Concentración máxima permitida

OSHA = Administración de Salud y Seguridad Ocupacional

NFPA = National Fire Protection Agency

Sd = Esfuerzo máximo permisible

St = Prueba Hidrostática

td = Espesores por condición de diseño

tt = Espesores por condición de diseño

LEL = Límite inferior de inflamabilidad

HEL = Límite superior de inflamabilidad

CA = Factor de corrosión

Pulg = Pulgada

$m^3$  = Metros cúbicos

Bls = Barriles

°C = Grados centígrado

$^{\circ}\text{F}$  = Grados Fahrenheit

Lt = Litro

Msnm = Metros sobre el nivel del mar

% = Porcentaje

$\rho_f$  = Densidad del fluido

V = Volumen del cuerpo del tanque

Mv = Momento de volteo

Z = Factor de zona sísmica

I = Factor de importancia

D = Diámetro del tanque

H = Nivel de diseño del liquido

W1 y W2 = Masa efectiva

$W_T$  = Peso total del fluido

h = Altura del techo

S = Diámetro superficial del techo

$X_S$  = Centro de gravedad

$C_1$  y  $C_2$  = Coeficiente de fuerzas laterales

r = Radio de curvatura del techo

T = Periodo natural

b = Fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo

t = Espesor del primer anillo

$\rho_{ac}$  = Densidad del acero

$\rho_{aluminio}$  = Densidad del aluminio

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento de Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal para las Gasolinas, el cual servirá para suplir las demandas volumétricas de este producto y su correcto almacenaje.

El Capítulo 1, se realiza la introducción del proyecto planteando los antecedentes, identificación y formulación del problema enfocada al incremento gradual de la demanda de Etanol Anhidro utilizado para la obtención de Biocombustibles. Se determina los objetivos, justificación y alcance del proyecto.

El Capítulo 2, determina la parte teórica del proyecto donde se estudia los tipos de tanques de almacenamiento, normas estándares y códigos de diseño, barra de prevención, protección catódica y las características e importancia del fluido a almacenar (Etanol Anhidro).

El Capítulo 3, propone la aplicación del proyecto puntualizando el diseño y cálculo del tanque (fondo, cuerpo y techo), calculo por sismo y viento, selección de los instrumentos, sistema de pintura, protección catódica y las condiciones técnicas y de seguridad para su almacenaje.

El Capítulo 4, se realiza un análisis de la demanda proyectada al uso de Etanol Anhidro como aditivo de origen vegetal para la obtención de las gasolinas, la viabilidad estratégica al sustituir parcialmente la importación de aditivos fósiles, la reducción sustancial de la subvención de la gasolina y la evaluación mediante el Valor Actual Neto y la Tasa Interno de Retorno.

El Capítulo 5, presenta las conclusiones y recomendaciones en función a la evaluación realizada tanto en la aplicación práctica como en el análisis económico.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is the engineering design for the construction of a storage tank for Anhydrous Ethanol as Additive of Vegetable Origin for Gasoline, which will serve to meet the volumetric demands of this product and correct storage.

Chapter 1 introduces the project, raising the background, identification and formulation of the problem focused on the gradual increase in the demand for Anhydrous Ethanol used to obtain Biofuels. The objectives, justification and scope of the project are determined.

Chapter 2 determines the theoretical part of the project where the types of storage tanks, standard norms and design codes, prevention bar, cathodic protection and the characteristics and importance of the fluid to be stored (Anhydrous Ethanol) are studied.

Chapter 3 proposes the application of the project specifying the design and calculation of the tank (bottom, body and roof), calculation by earthquake and wind, selection of instruments, painting system, cathodic protection and the technical and safety conditions for its storage.

Chapter 4, an analysis of the projected demand for the use of Anhydrous Ethanol as an additive of vegetable origin to obtain gasoline, the strategic viability by partially replacing the import of fossil additives, the substantial reduction of the subsidy of gasoline and the evaluation through the Net Present Value and the Internal Rate of Return.

Chapter 5 presents the conclusions and recommendations based on the evaluation carried out both in practical application and in economic analysis.

# CAPITULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN. –

En la actualidad el Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal se convierte en uno de los principales componentes para reformular los combustibles del futuro ya que su uso para oxigenar combustibles permite disminuir las emisiones de partículas y gases contaminantes producidos por automóviles y camiones, ante este principal beneficio se empieza a utilizar este biocombustible que es el resultado de la combinación de gasolina base con etanol en diferentes proporciones respectivamente.

Este biocombustible es usado por varios países entre los principales están Brasil, Europa y los Estados Unidos donde poseen estaciones de abastecimientos localizados en todas las ciudades, es por ello que el mundo ingresa a la era de la biomasa (la bioenergía); con la procreación de un nuevo modelo de agricultura no alimenticia, responsable de la producción de materias primas energéticas renovables que deberán sustituir gradualmente el uso del carbón mineral y del petróleo, que además se encuentra en agotamiento progresivo.

Por tanto, de acuerdo a la Ley 1098 del 15 de septiembre del 2018 decreta establecer en el marco normativo la Producción, Almacenaje, Transporte, Comercialización y Mezcla de Aditivos de Origen Vegetal con la finalidad de sustituir gradualmente la importación de Insumos y Aditivos y Diésel Oíl y por tal razón al implementar este tipo de combustible en nuestro país obliga a que las empresas dedicadas a la producción de etanol anhidro aumenten su producción para poder abastecer la demanda proyectada.

Como respuesta a esta demanda se realiza el diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento específico para el Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal. Por lo cual

se efectúa bajo la norma API 650, donde se selecciona los componentes necesarios para el debido control del fluido almacenado y el tipo de sistema de pintura y protección catódica para su conservación con el medio ambiente en el que estará expuesto.

## **1.2. ANTECEDENTES. –**

Una mirada pretérita a la historia del invento y desarrollo del motor de explosión interna nos muestra cómo sus primeras versiones operaban con alcohol, y sólo el gran desarrollo de la industria petrolera y los bajos precios de los combustibles derivados de los hidrocarburos, permitieron a este recurso mantener una aplastante hegemonía como fuente energética primaria.

El Alcohol Carburante o Bioetanol se ha implementado hace varios años en países desarrollados como Estados Unidos que lo produce a partir del maíz, Rusia, Centro y Norte de Europa de la remolacha y en países ubicados en el trópico de yuca.

En Bolivia se produce a partir de la caña de azúcar por industrias azucareras y se constituye como una de las agroindustrias más importantes del país, uno de los principales usos industriales es la producción de alcohol etílico, que se obtiene a partir de la transformación del jugo o de las mieles (melaza). Actualmente son ocho las empresas que participan del sector (enero 2014 - marzo 2021) localizadas en los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Tarija.

Los principales beneficios de utilizar gasolina mezclada con etanol es la disminución del efecto invernadero causada por el aumento de contaminantes como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera. Está comprobado, además, que la utilización de oxigenados reduce las emisiones de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e hidrocarburos totales (THC) de los gases de escape de los vehículos, al tiempo que eleva el octanaje del combustible lo cual permite reemplazar compuestos aromáticos y otras sustancias tóxicas.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. –**

#### **1.3.1. Identificación del problema. –**

Durante más de 10 años Bolivia importa Insumos y Aditivos por parte de YACIMIENTOS PETROLÍFEROS FISCALES BOLIVIANOS YPFB o YPFB REFINACIÓN para la obtención de Gasolina Especial conllevando a esta, la subvención a la importación de insumos y aditivos de origen fósil, generando un costo en el gasto corriente del Tesoro General del Estado (TGE), esto ha desencadenado en el tiempo un aumento del contrabando por los precios subvencionados de los carburantes, pero a partir de la promulgación de la Ley No 1098 de 15 de septiembre de 2018 Bolivia abre la era de los Biocombustibles permitiendo así la producción de Etanol Anhidro para la mezcla con gasolina base para la obtención de Gasolina Especial Plus y Súper Etanol 92, este nuevo proyecto permite erradicar la importación y mejorar la economía del país, aspecto estratégico para el desarrollo y la autosuficiencia del país, la idea de cultivar y cosechar fuentes energéticas permite el abasto de las demandas reales de una nación, por lo que debido a esto la capacidad de producción de los sectores agrícolas aumenta gradualmente y por tanto es necesario almacenar el etanol anhidro bajo las condiciones necesarias de calidad, seguridad.

#### **1.3.2. Formulación del problema. –**

Debido al estudio de proyección de la demanda, se concluye que la infraestructura actual no permite el correcto almacenaje del producto, porque el fluido se adecua en tanques convencionales donde no cumplen con los requerimientos de calidad y seguridad propias del fluido, y por ello se dispone a realiza un diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento de Etanol Anhidro como Aditivo Oxigenante de Origen Vegetal para las Gasolinas, con la finalidad de sustituir gradualmente la importación de Aditivos Oxigenantes de Origen Fósil, y cubrir la demanda en un corto y largo periodo.

## **1.4. OBJETIVOS Y ACCIONES. –**

### **1.4.1. Objetivo general. –**

Debido a que Bolivia ingreso a la era de los biocombustibles con el uso del etanol, el objetivo de este trabajo es presentar el diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento de Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal para las Gasolinas, ante el incremento de producción y cumplir con las condiciones técnicas y de seguridad para su almacenaje.

### **1.4.2. Objetivos específicos y acciones de la investigación. –**

- Diseñar un tanque de almacenamiento para el Etanol Anhidro en función a sus características físico – químicas, técnicas de calidad, propiedades corrosivas y su compatibilidad con el material de diseño.
- Analizar y evaluar los criterios técnicos y de seguridad, que sustenten la selección del tipo de techo de domos geodésicos de aluminio (Apéndice "G", API-650) y las cubiertas internas flotantes de aluminio (Apéndice "H", API-650).
- Realizar un análisis económico entre la importación de Insumos y Aditivo por distintas proveedoras y la producción del etanol a partir de la caña de azúcar denominado como Aditivo de Origen Vegetal por los sectores agrícolas.
- Realizar una evaluación económica, mediante el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interno de Retorno (TIR) para determinar la rentabilidad del proyecto.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN. –**

### **1.5.1. Justificación académica. –**

En base a los conocimientos adquiridos en la etapa de formación de la carrera de Ingeniería Petrolera, se ha visto que es importante identificar las propiedades y características de los fluidos

para su correcto transporte y almacenaje desde el punto de vista de la ingeniería de Transporte y Almacenaje de Hidrocarburos, así también se sustenta en la materia de Preparación y Evaluación de Proyectos para realizar el análisis económico del proyecto.

#### **1.5.2. Justificación técnica. –**

El Etanol Anhidro al presentar impurezas como ácido acético, conductividad eléctrica, presencia de iones (cloruro, sulfato, hierro y sodio), provenientes del proceso productivo, reflejan el poder corrosivo del etanol y llegan a ser muy agresivos para los aceros, es por ello por lo que se realiza un diseño bajo los parámetros adecuados de calidad y seguridad.

#### **1.5.3. Justificación económica. –**

Uno de los impactos más importantes en este proyecto es la actividad económica, YPFB priorizará la compra de aditivos de Origen Vegetal producidos en el país por empresas públicas o privadas, incrementando su utilidad y fuente de trabajo, como también reducirá gradualmente la importación de estos Aditivos por empresas proveedoras extranjeras, y ante esta demanda es necesario realizar el diseño de un tanque de almacenamiento.

#### **1.5.4. Justificación social. –**

Promover la mejora progresiva y sustentable del rendimiento de cultivos destinados a la producción de Aditivos de Origen Vegetal, fortaleciendo las capacidades productivas de los pequeños y medianos productores agrícolas, donde se garantiza el crecimiento gradual de los volúmenes de la materia prima para la producción de Aditivos.

#### **1.5.5. Justificación ambiental. –**

El principal factor para el desarrollo de este punto es mitigar el “Efecto Invernadero” tras las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y plomo que se presentan por el uso de combustibles de origen fósil, mediante nuevas alternativas energéticas. En este contexto, el etanol surge como la

alternativa más promisorio a corto, mediano y largo plazo, como un combustible verde que permite la conservación del ambiente ya que su uso para oxigenar combustibles disminuye las emisiones de partículas y gases contaminantes producidos por los automóviles.

También cabe destacar que los requerimientos de materia prima para la producción de etanol anhidro como Aditivo de Origen Vegetal se desarrollarán respetando los usos del suelo determinados para la producción agrícola, garantizando la regeneración de las zonas y sistemas de vida de la Madre Tierra.

## **1.6. ALCANCE. -**

### **1.6.1. Alcance temático. –**

El presente trabajo está orientado especialmente al diseño conceptual de la construcción de un tanque de almacenamiento para el Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal, este proceso consiste esencialmente en plantear el diseño de un tanque específico para el fluido, debido a que actualmente se almacenan en tanques convencionales (tanques que antiguamente se almaceno Kerosene), de los cuales se puede presentar deterioro del mismo, como también perdidas por evaporación del fluido por su alta volatilidad.

Este diseño se realiza a partir de los parámetros operativos, estos se determinan en función a las características técnicas de calidad del Etanol Anhidro decretado por la Resolución Ministerial No 183/2018, los requerimientos mínimos establecidos en la Norma API 650 y bajo la base de datos volumétricos de producción de Etanol Anhidro destinados como Aditivo Oxigenante de Origen Vegetal para las Gasolinas.

### **1.6.2. Alcance técnico. –**

El alcance de este proyecto contempla el diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento de acuerdo a las propiedades físico – químicas del Etanol Anhidro,

puntualizando en el diseño y cálculo (fondo, cuerpo y techo), calculo por sismo y viento, sistema de pintura, sistema de control de corrosión, sistema de medición, condiciones técnicas y de seguridad, análisis de la demanda proyectada al uso de etanol anhidro como aditivo de origen vegetal para las gasolinas y la viabilidad estratégica al sustituir parcialmente la importación de aditivos fósiles.

### **1.6.3. Alcance geográfico. –**

La aplicación del presente proyecto se realizará en la Planta YPFB Logística Senkata, ya que tiene la función de almacenar y distribuir los combustibles líquidos en la ciudad de El Alto, La Paz y poblaciones intermedias hacia el occidente y norte paceño, provee de dicho combustible a 140 estaciones de servicio, de los cuales el 80 % es destinado por la Gasolina Especial Plus (Gasolina Base con mezcla del 8 % de Etanol). Actualmente la demanda gradual de Gasolina Especial Plus y Súper Etanol 92 va en crecimiento, y el abastecimiento debe ser constante, es por ello que se debe gestionar tanques específicos para el almacenamiento de Etanol Anhidro.

### **1.6.4. Alcance legal. –**

Considerando lo establecido en la Ley N° 1098 de 15/09/2018 se dispuso establecer en el marco normativo la Producción, Almacenaje, Transporte, Comercialización y mezcla de Aditivos de Origen Vegetal con la finalidad de sustituir gradualmente la importación de Insumos y Aditivos y Diésel Oíl, dando curso a la ampliación de las Plantas de Almacenaje para poder construir, adecuar y operar tanques destinadas al almacenaje de Etanol Anhidro como aditivo oxigenante para su posterior mezcla con la gasolina base en distintas proporciones establecidos por el D.S. No 3672/18.

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. DEFINICIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de hidrocarburos es una actividad de gran importancia para el transporte y manejo de éstos, la selección del tipo y tamaño del tanque depende de la relación producción – consumo, condiciones ambientales, la distribución de la localización del tanque y el producto a almacenar.

Los tanques de almacenamiento son un tipo de contenedores por lo general de forma cilíndrica con estructuras de diversos materiales, son utilizados para almacenar gran variedad de productos como: petróleo crudo y sus derivados, butano, propano, gas licuado de petróleo, solventes, agua, etc. Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización.”<sup>1</sup>

Cuando se requiere almacenar sustancias para tenerlas disponibles en un periodo corto o prolongado, su almacenamiento se realiza según el estado de agregación de producto estas pueden ser:

- Para gases y líquidos a elevadas presiones se utilizan recipientes sometidos a presión.
- Para sólidos, se utilizan silos.
- Para líquidos con presiones bajas se utilizan tanques de almacenamiento.

Los tanques forman parte de distintas operaciones en la industria, como ser en la Producción y Tratamiento, Transporte, Refinación y Distribución, Inventarios y Reservas, y son ampliamente utilizados debido a que se constituyen como elemento de sumo valor ya que:

- Actúa como un pulmón entre producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- Permite la sedimentación de agua y barros del producto almacenado antes de despacharlo por medio de un oleoducto o a destilación.
- Brindan flexibilidad operativa al proceso productivo.
- Actúan como punto de referencia en la medición de despachos.

## **2.2. CLASIFICACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

### **2.2.1. Tanques atmosféricos**

Los tanques atmosféricos son utilizados en plantas de proceso que forman parte de refinerías de petróleo o instalaciones petroleras, tales como estaciones de bombeo, estaciones de reducción o plataformas de pozos de producción; en cada uno de estos puntos se almacenan diferentes tipos de hidrocarburos tales como petróleo, productos intermedios como agua de producción o productos terminados como gasolina, diésel, fuel oil, ha sido fabricado para operar bajo las siguientes condiciones:

- A presiones desde la atmósfera hasta presiones de 1,0 psig (de 760 mm Hg hasta 812 mm Hg) medidos en el tope del tanque.
- Los tanques atmosféricos no podrán ser utilizados para el almacenamiento de líquidos a temperaturas iguales o mayores a su punto de ebullición.
- Los tanques atmosféricos deben ser usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de  $0,914 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$  (13 psia) a nivel del mar y por cada 300 metros de elevación la máxima presión de vapor deberá ser reducida en  $0,035 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$  (0,5 psia).

**Figura No 2 - 1. Tanque de almacenamiento de 8.000 m<sup>3</sup> de gasolina especial**



Fuente: Planta Senkata

## 2.2.2. Tanques a presión

Son utilizados para líquidos con presión de vapor mayor o igual a 0,914 kg/cm abs (13 psia) a nivel del mar, los principales tipos de tanques a presión son los recipientes cilíndricos y de esferas.

### 2.2.2.1. Recipientes cilíndricos

Se usan para almacenar cualquier gas licuado a su temperatura crítica y presión requerida, el montaje en posición horizontal se hace sobre dos o más apoyos y si es en posición vertical se hace sobre un fuste. Son considerados almacenamientos económicos con dimensiones de hasta 50 metros de diámetro y capacidades de agua de hasta 800 metros cúbicos.’’<sup>2</sup>

**Figura No 2 - 2. Tanques de almacenamiento cilíndrico**



Fuente: Tanque de almacenaje estacionario de GLP a granel YPFB.

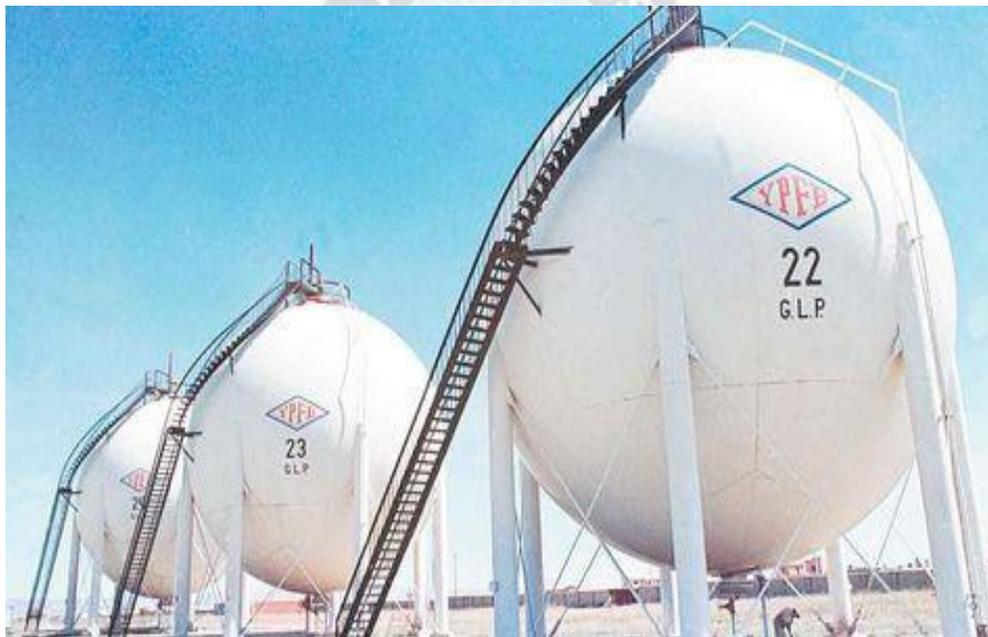
<sup>2</sup> PETROBLOGGER, Tipos de Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos, [fecha de acceso 19 de octubre de 2020]. URL. disponible en: <http://www.ingenieriadepetroleo.com/tipo-tanques-de-petroleo/>

### 2.2.2.2. Recipientes de esfera

Se usan para almacenamiento de grandes volúmenes de fluidos principalmente, gas natural, butano, isobutileno, hidrógeno, amoníaco y otros productos petroquímicos, a presiones moderadas entre  $2,1 \text{ kg/cm}^2$  y  $17 \text{ kg/cm}^2$ , principalmente gases a temperaturas y presiones normales.”<sup>3</sup>

Estos tipos de tanques de almacenamiento tienen numerosas ventajas prácticas, incluyendo el almacenamiento económico, partes fijas, pocas probabilidades de fuego, bajos costos de mantenimiento, corrosión mínima (debido a que el oxígeno esta raramente presente).

**Figura No 2 - 3. Recipiente de esfera G.L.P.**



Fuente: Planta Senkata

### 2.2.3. Tanques de baja presión

Este almacenamiento está diseñado para mantener una presión interna mayor a  $0,035 \text{ kg/cm}^2$ , pero menor de  $1,055 \text{ kg/cm}^2$  medidos en la parte superior del tanque. Estos tanques de baja presión deben construirse de acuerdo con normas de diseño reconocidas, pueden construirse con el API 620.

**Figura No 2 - 4. Tanques de almacenamiento a baja presión**



Fuente: Tecnipetroleos S.A.

### **2.3. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

Los tanques de almacenamiento se clasifican en:

#### **2.3.1. Cilíndricos horizontales**

Los Tanques Cilíndricos Horizontales, usualmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños.

#### **2.3.2. Cilíndricos verticales de fondo plano**

Los Tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas. Estos tipos de tanques se clasifican en, techo fijo, De techo flotante y sin techo.

## **2.4. TIPOS DE TECHOS PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

La forma del techo de un tanque puede ser usada para clasificar el tipo de tanque. Para saber por qué, es necesario comprender el efecto de la presión interna en las placas de la estructura incluyendo tanques y recipientes a presión. Si una placa de acero es sujeta a una presión en un lado, esta debe estar fabricada con un espesor lo bastante suficiente como para resistir una visible deformación o pandeo.

Estos tipos de tanques se clasifican en:

- De techo fijo.
- De techo flotante.

### **2.4.1. Tanque de techo fijo**

Son los tanques que pueden tener techo auto soportado o por columnas, la superficie del techo tiene la forma de un cono, el tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos. Es utilizado generalmente para almacenar líquidos, posee ventilaciones en su techo el cual permite la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente igual a la presión atmosférica, pero produciéndose pérdidas de respiración, entre estos tenemos:<sup>4</sup>

#### **2.4.1.1. Tanques de techo cónico**

Estos tanques tienen una envolvente cilíndrica con un eje vertical de simetría. El fondo es usualmente plano, y la parte superior está hecha en forma de un cono poco profundo. Estos son los tanques más ampliamente usados para almacenar grandes cantidades de fluido ya que son más económicos de construir. Pueden ser fabricados en pequeñas piezas y ser armados en campo. Este tipo de tanque tienen soportes y columnas de soporte para el techo excepto en los tanques de diámetro muy pequeño.

<sup>4</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Tesis de Grado - Diseño y cálculo de un Tanque para Almacenamiento de Petróleo 3000 Bbls. 2014.

#### **2.4.1.2. Tanques de techo sombrilla**

Los techos de tipo sombrilla son una variedad del tipo domo el cual solo conserva el abombado sobre el eje vertical ya que sobre el eje circunferencial tiene semejanza con el tipo cónico. Estos tanques pueden ser de estructura auto soportada, lo que significa que no cuenta con estructuras de soporte.

#### **2.4.1.3. Tanques con techo domo geodésico de aluminio**

Este tipo de techo fijo ha llegado a ser muy popular. Ofrecen una alternativa económica, superior resistencia a la corrosión para una amplia variedad de condiciones y son estructuras que no requieren soportes internos. Pueden ser construidos, también, con cualquier diámetro requerido por el cual usaremos este tipo de techo para nuestro diseño.<sup>5</sup>

#### **2.4.2. Tanque de techo flotante**

En estos tanques el techo flota sobre el líquido para reducir la evaporación y la contaminación del aire por reducción del área de superficie del líquido que es expuesto a la atmosfera, se emplea para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general. Las dos categorías de tanques son techo flotante externo TFE (el tanque es abierto en la parte superior) y techo flotante interno TFI (el techo flotante es cubierto por un techo fijo en la parte superior del tanque).<sup>5</sup>

##### **2.4.2.1. Tanque de techo flotante externo (TFE)**

Los tanques TFE no tienen presión de vapor asociada a su diseño y operan estrictamente con presión atmosférica, Las condiciones de diseño para los techos flotantes externos son más severas dado que estas deben manejar lluvia, viento, sismo, condiciones de cargas muertas y cargas vivas tomadas en cuenta de las más fuerte hasta la más insignificante.

<sup>5</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Tesis de Grado - Diseño y cálculo de un Tanque para Almacenamiento de Petróleo 3000 Bbls. 2014.

#### **2.4.2.2. Tanque de techo flotante interno (TFI)**

Los techos internos permanecen fijos en el tanque, generalmente son colocados como si fueran un domo geodésico. Una de sus principales ventajas es que no necesitan columnas que los puedan sostener, sino que se montan con el apoyo de una grúa cuando ya están armados.

Estos techos flotantes internos fueron diseñados de acero que requieren ser combinados con un techo fijo, son estructuras livianas, fáciles de operar, pero posteriormente se diseñaron techos de membranas flotantes de aluminio, ha llevado a ser estructuras más resistentes y duraderas, manteniendo su bajo costo y convirtiéndolas en la solución más efectiva para el control de mermas en la actualidad.

### **2.5. CÓDIGOS DE DISEÑO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

El diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "STANDAR A.P.I. 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y "STANDAR A.P.I. 620", para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a  $1 \text{ Kg/cm}^2$  ( $14 \text{ lb/pulg}^2$ ).<sup>5</sup>

Esta norma cubre el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque, a continuación, se describirán los códigos de diseño más habitualmente usados para tanques de almacenamiento.

#### **2.5.1. API 650**

Dentro del alcance de este código están incluidos aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y diseñados para soportar una presión de operación atmosférica, menor a 18 KPa, o presiones internas que no excedan el peso del techo, con temperaturas no mayores a 93 °C (hasta 260 °C con ciertas restricciones).

<sup>5</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Tesis de Grado - Diseño y cálculo de un Tanque para Almacenamiento de Petróleo 3000 Bbls. 2014.

### **2.5.2. API 620**

El API 620 cubre el diseño y construcción de dimensiones de acero al carbono, operados a media presión normalmente los tanques API 620 tienen más presión de diseño en comparación con los tanques API 650 y con temperaturas no mayores a 93 °C. El rango de presiones que admite este estándar es  $18 \text{ KPa} < \text{Presión interna} \leq 103,4 \text{ KPa}$ .

Los tanques como los tanques de GNL o los tanques criogénicos que requieren alta presión interna están diseñados según API 620.

### **2.5.3. ASME ANSI B96.1**

Requerimientos similares a los del API 650, pero para tanques fabricados en aluminio, esta norma cubre los requisitos de diseño, materiales, fabricación, montaje, inspección y prueba para aleación de aluminio soldada, montada en campo o fabricada en taller, sobre el suelo, Tanques verticales, cilíndricos, de fondo plano, con la parte superior abierta o cerrada, que almacenan líquidos a presiones que se aproximan a la presión atmosférica a temperatura ambiente.’’<sup>6</sup>

### **2.5.4. AWWA 1000**

“American Water Works Association”, “Standard for Welded Steel Elevated Tanks, Stand Pipes and Reservoirs for Water Storage”. Esta normativa no establece ecuaciones particulares para determinar el diseño de los distintos componentes, por el contrario, establece requisitos generales asociados con cargas de diseño, esfuerzos admisibles, exámenes radiográficos, etc. En el texto se contempla la posibilidad de aplicar los requisitos del estándar API 650. ’’<sup>6</sup>

A continuación, mostramos la tabla No 2 - 1, los diferentes requerimientos de diversos estándares para la fabricación de tanques de almacenamiento.

<sup>6</sup> ARVENG Training & Engineering, Diseño de Tanques de Almacenamiento [PDF en línea] [fecha de acceso 3 de enero de 2020]. URL disponible en: <https://arvenstraining.com/wp-content/uploads/2020/05/PR-API-650-ES-DEMO.pdf>.

**Tabla No 2 - 1. Requerimientos de diversos estándares para tanques de fondo plano**

Tabla	A.P.I. 650			A.P.I. 620			A.N.S.I.	AWWA
	Básico	Apéndice A	Apéndice F	Básico	Apéndice R	Apéndice Q	B96.1	
Presión Interna Máxima	Atm.	Atm.	0,17 Kg/cm <sup>2</sup>	1 kg/cm <sup>2</sup>	1 kg/cm <sup>2</sup>	1 kg/cm <sup>2</sup>	Atm.	Atm.
Temperatura Mínima	NS	(-)28,8°C	NS	(-)45,5°C	(-)54,4°C	(-)167°C	(-)28,8°C	(-)48,3°C
Temperatura Máxima	93,3°C	93,3°C	93,3°C	93,3°C	(-)40°C	93,3°C	204°C	RT
Espesor máximo del cuerpo	44,4 cm	12,7 cm	44,4 cm	NS	NS	NS	NS	50,8 mm.
Espesor máximo del cuerpo								
D < 15,2 m	4,76 mm			4,76 mm			4,76 mm	
15,2 m < D > 36,5 m	6,35 mm			6,35 mm			6,35 mm	
36,5 m < D > 60,9 m	7,93 mm			7,93 mm			7,93 mm	
Espesor Mínimo del Techo	4,76 mm			NS			4,76 mm	4,76 mm
Espesor Máximo del Techo	6,35 mm + CA			NS			6,35 mm,	NS
Ángulo Mínimo de Coronamiento								
D < 10,6 m	50,8 mm x 50,8 mm x 4,76 mm			NS			63,5 mm x 63,5 mm x 6,35 mm	
10,6 m < D > 18,2 m	50,8 mm x 50,8 mm x 6,35 mm			NS			63,5 mm x 63,5 mm x 7,93 mm	
D > 18,2 m	76,2 mm x 76,2 mm x 9,52 mm			NS			76,2 mm x 76,2 mm x 9,52 mm	

Fuente: ARVENG Training & Engineering, Diseño de Tanques de Almacenamiento.

Donde:

NS = Sin Especificación

CA = Corrosión Permisible

RT = Temperatura Ambiental

- a) La temperatura puede ser elevada hasta 260 °C cuando se cumplen ciertas especificaciones del material y requerimientos de diseño adicionales.
- b) Este espesor aplica para tanques con diámetros menores a 6,096 m.
- c) Este espesor aplica para tanques con diámetros entre 6,096 m y 36,57 m.
- d) El espesor mínimo de cualquier placa es 4,76 mm + corrosión.
- e) Para espesores mayores de 50,8 mm se deben cumplir algunos requerimientos especiales
- f) Para techos cónicos, el espesor de placa puede ser calibre No 7.

## **2.6. NORMAS ESTÁNDARES Y CÓDIGOS SEGÚN LA NORMA API 650**

La principal asociación comercial de los Estados Unidos es la American Petroleum Institute API, que representa a unas 400 corporaciones implicadas en la producción, refinamiento, distribución, construcción y muchos otros aspectos que comprende la industria del petróleo y gas natural, estas normas son aplicadas con la finalidad de facilitar una amplia aplicación de buenas prácticas comprobadas de ingeniería y operación y están basadas en el conocimiento y la experiencia acumulada de los compradores y los fabricantes de los tanques de almacenamiento de petróleo.’’<sup>7</sup>

### **2.6.1. Alcance de la norma API 650**

El estándar API 650 cubre los requisitos mínimos para diseño, fabricación, instalación, selección de materiales e inspección para tanques soldados de tipo:

- Cilíndricos verticales
- Sobre el suelo.
- Techo abierto y cerrado.

Permite presiones atmosféricas hasta 2,5 Psig y una temperatura máxima de 93 °C (200 °F), esta norma provee a la industria con tanques adecuadamente seguros y razonable económicamente para

<sup>7</sup> INGLESIA, Diseño y Calculo de Tanques de Almacenamiento, 23 de diciembre de 2016.

el uso de almacenamiento de petróleo, productos derivados del petróleo y otros productos líquidos. La norma API 650 no establece los tamaños específicos de los tanques, por lo contrario, puede escoger las dimensiones que les convenga. Adicionalmente, los requerimientos contenidos en este código aplican sólo a tanques que no se usen para servicios de refrigeración.’’<sup>8</sup>

### **2.6.2. Partes del código API 650**

El código se divide en diez partes:

Sección 1: Alcance. Indica los requerimientos generales, limitaciones, responsabilidades y los requerimientos de documentación.

Sección 2: Referencias. Menciona las normativas, códigos y especificaciones citadas en el código. La última edición disponible debe ser utilizada, a menos que se indique lo contrario.

Sección 3: Definiciones. Lista la terminología que se utiliza en el código, con la interpretación en cada caso.

Sección 4: Materiales. Esta sección señala los requisitos mínimos de chapas, barras, perfiles, tubos, bridas, pernos, consumibles de soldadura, etc.

Sección 5: Diseño. Establece las exigencias en cuanto a uniones soldadas, consideraciones de diseño, chapas del fondo, chapas anulares, envolvente, anillos intermedios y superiores, techos, efectos del viento y anclaje de tanques.

Sección 6: Fabricación. Requerimientos generales de fabricación e inspección en taller.

Sección 7: Izado. Contempla las distintas exigencias durante el izado de los tanques como son: detalles de soldadura, ensayos, inspección y reparaciones, tolerancias dimensionales.

Sección 8: Métodos de inspección de uniones. Examen radiográfico, partículas magnéticas, ultrasonido, líquidos penetrantes, examen visual y prueba de vacío.

<sup>8</sup> API STANDARD 650 13th Edition, Welded Tanks for Oil Storage, march 2020.

Sección 9: Procedimientos y calificación de soldadores. Requisitos mínimos para confección y aprobación de procedimientos de soldadura y soldadores.

Sección 10: Identificación y responsabilidad. Placa de características, división de responsabilidades, certificación.

De acuerdo con estas disposiciones el fabricante es el responsable de cumplir con las disposiciones del presente Código. La inspección que se realiza por parte del inspector del comprador no invalida la obligación del fabricante para proporcionar un control de calidad e inspección necesarias para garantizar dicho cumplimiento.

## **2.7. MATERIALES PARA EMPLEAR EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado, dependiendo del destino final que se le dé al acero, se pueden modificar sus propiedades. Algunas de las propiedades del acero son:

- Ductilidad: es la propiedad del acero que permite soportar deformaciones al sufrir esfuerzos de tracción, sin romperse.
- Dureza: es la capacidad del acero de oponerse a ser penetrado por otro material.
- Resistencia: se refiere a la resistencia a la tracción, en otras palabras, la resistencia que opone el material a ser estirado.
- Maleabilidad: es la capacidad del material para soportar la deformación sin romperse por compresión.
- Tenacidad: es la unión de las propiedades de ductilidad y resistencia.

A continuación, listamos los materiales más usados en su aplicación:

**Tabla No 2 - 2. Materiales permitidos por API 650**

<b>ESTÁNDAR A.S.T.M. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)</b>	
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
A-36 ACERO ESTRUCTURAL	Sólo para espesores iguales o menores de 38 mm (1 1/2 pulg.). Este material es aceptable y usado en los perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.
A-131 ACERO ESTRUCTURAL	GRADO A para espesor menor o igual a 12,7 mm (1/2 pulg) GRADO B para espesor menor o igual a 25,4 mm (1 pulg) GRADO C para espesores iguales o menores a 38 mm (1-1/2 pulg) GRADO EH 36 para espesores iguales o menores a 44,5 mm (1-3/4 pulg)
A-283 PLACA DE ACERO AL CARBÓN CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN	GRADO C Para espesores iguales o menores a 25 mm (1 pulg). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.
A-285 PLACA DE ACERO AL CARBÓN CON MEDIO Y BAJO ESFUERZO A LA TENSIÓN	GRADO C Para espesores iguales o menores de 25,4 mm (1 pulg). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.
A-516 PLACA DE ACERO AL CARBÓN PARA TEMPERATURAS DE SERVICIO MODERADO	GRADOS 55, 60, 65 y 70. Para espesores iguales o menores a 38 mm (1-1/2 pulg). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

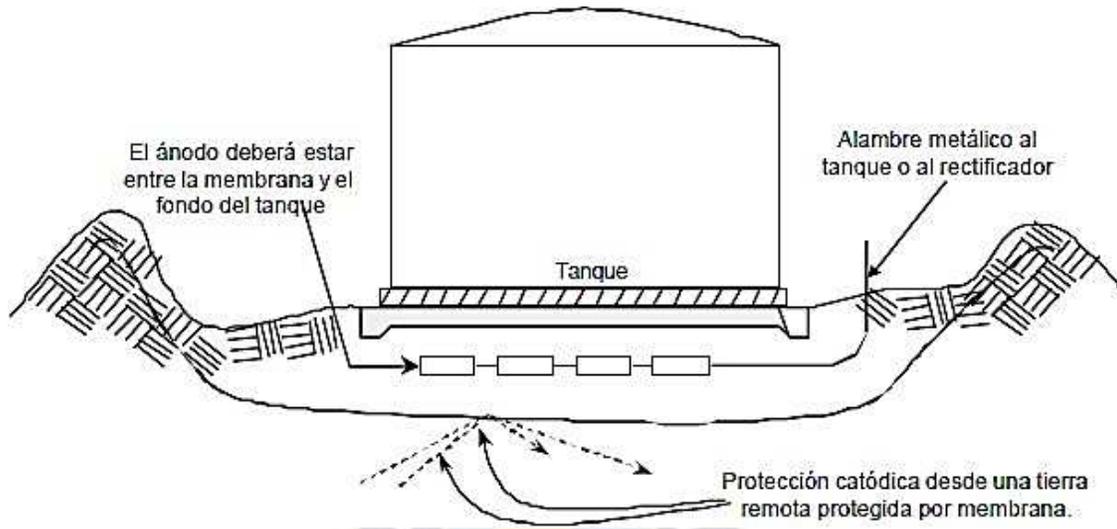
## **2.8. BARRA DE PREVENCIÓN**

Uno de los sistemas de protección al medio ambiente contra fugas y derrames, es la barrera de prevención que permite prevenir la contaminación del terreno en caso de derrame del producto contenido en el tanque.

Los tipos de barreras de prevención son los siguientes:

- Geomembranas
- Material de Sellado

**Figura No 2 - 5. Membrana impermeable debajo de tanque de almacenamiento**



Fuente: Revista Tecnológica ESPOL.

### **2.8.1. Geomembrana**

Las Geomembranas son hojas delgadas de material plástico, su presentación es en rollos y viene en diferentes espesores, utilizadas principalmente como revestimiento y cobertura de dispositivos de almacenamiento de líquidos o sólidos. Así su función básica es siempre como barrera de líquidos o de vapor. El rango de aplicaciones, sin embargo, es muy grande y adicionalmente al área medioambiental, tiene aplicaciones crecientes en ingeniería geotécnica, de transportes e hidráulica.”<sup>9</sup>

Cada material sintético tiene cualidades físicas y químicas distintas que hacen la diferencia para cada geomembrana, las más comunes son:

#### **- HDPE**

El polietileno de alta densidad HDPE, es la geomembrana con más demanda en el mercado, la principal característica de las geomembranas HDPR es su mejor resistencia química a los hidrocarburos y solventes ya que presenta buen comportamiento a la agresión química, debido a su alta cristalinidad y su bajo costo.

<sup>9</sup> Ing. Gustavo Román Meza Especialista en Asistencia Técnica en Riego-PSI Riego-PS, Tipos y Características de la Geomembrana, 2014. p. 2

- **PVC**

El Cloruro de Polivinilo PVC, se caracterizan principalmente por su alta flexibilidad biaxial y por mantener sus propiedades constantes ante incrementos de temperaturas. El PVC puede resistir excesos de deformación de hasta 100 % antes de romperse, y con ello su mayor resistencia a la tracción, tiene un 30% de cristalinidad y son resistentes a los derivados del petróleo.

- **VLDP**

El Polietileno de muy baja densidad VLDP, resulta del avance tecnológico más importante en la fabricación de geomembranas, tiene la resistencia química del FPP y del HDPE, la flexibilidad de la geomembrana de PVC, su termo fusión es sencilla y se caracteriza por tener un tiempo de vida superior en relación a las otras geomembranas.<sup>10</sup>

### **2.8.2. Material sellado**

El Material Sellado se utiliza en mezclas de suelo con el fin de disminuir su permeabilidad, de esta forma se impide el escape de gases, líquidos, lixiviados generados por derrame en el depósito. Existen dos tipos de material sellado las bentonitas y la capa asfáltica utilizados específicamente en depósitos de residuos tanto tóxicos y peligrosos como radioactivos de baja, media, y alta actividad.<sup>10</sup>

- **Bentonitas**

La bentonita como material de sellado es utilizado principalmente para detener fugas por sus propiedades características, como son: su gran capacidad de hinchamiento hasta 18 veces su tamaño, buena plasticidad y lubricidad, alta impermeabilidad, baja compresibilidad y no contamina. Las bentonitas más utilizadas para este fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

<sup>10</sup> Ing. Gustavo Román Meza Especialista en Asistencia Técnica en Riego-PSI Riego-PS, Tipos y Características de la Geomembrana, 2014.

### - **Capa asfáltica**

La capa asfáltica es un material altamente impermeable haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración de líquidos, muy adhesivo y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado.

## **2.9. PROTECCIÓN CATÓDICA**

La protección catódica es un método que consiste en reducir o eliminar la corrosión de un metal haciendo que la superficie de este funcione completamente como cátodo, es decir cuando el metal es forzado a ser un cátodo de una celda corrosiva de un metal.

Es un sistema de gran importancia para el control de corrosión, su uso en las industrias como refinerías, industrias químicas, plantas petroquímicas, plantas de tratamiento, entre otras es primordial para todas las instalaciones de tanques de almacenamiento tanto nuevas como existentes, los cuales se encuentran en contacto con el suelo.

Los dos tipos de corrosión más comunes relacionados con el fondo de un tanque son;

- La corrosión general, se forman miles de celdas microscópicas sobre un área de la superficie del metal, resultando en pérdida de metal.
- La corrosión localizada, las celdas individuales son más activas y se pueden identificar distintas áreas anódicas y catódicas.

La composición del metal en especial los aceros, es importante para determinar qué áreas de las superficies se convierten en ánodos (superficie metálica con potencial eléctrico más electronegativo el cual normalmente se oxida en la reacción química electrolítica, más anódico mayor tendencia a la corrosión) o en cátodos (Superficie metálica con potencial eléctrico más

electropositivo el cual normalmente se reduce se estado de oxidación cuando recibe electrones, más catódico menor tendencia a corrosión).

Siempre que la corrosión esté originada por reacción química, la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura y de la concentración de los reactivos y de los productos almacenados.

La corrosión también puede originarse por las características del suelo que afectan sustancialmente el tipo y velocidad de corrosión, el contenido de humedad, el pH, la concentración de oxígeno, y otros factores.

### **2.9.1. Métodos de protección catódica para el control de la corrosión.**

Existen dos sistemas de protección catódica:

- Ánodos de sacrificio
- Corriente impresa

#### **2.9.1.1. Ánodos de sacrificio**

Los sistemas de ánodos de sacrificio utilizan ánodos galvánicos, los cuales están hechos de magnesio o zinc en forma de barras, se instalan los ánodos enterrados directamente en el suelo rodeados de una mezcla química y empacada en sacos especiales.

Los ánodos están conectados al sistema de forma individual o en grupos. Los ánodos galvánicos están limitados en su corriente de salida por el voltaje del sistema y la resistencia del circuito, y estos deben ser aplicados en tanques de pequeño diámetro.”<sup>11</sup>

Para los ánodos galvánicos en instalaciones sobre el suelo, se utilizan comúnmente tres materiales:

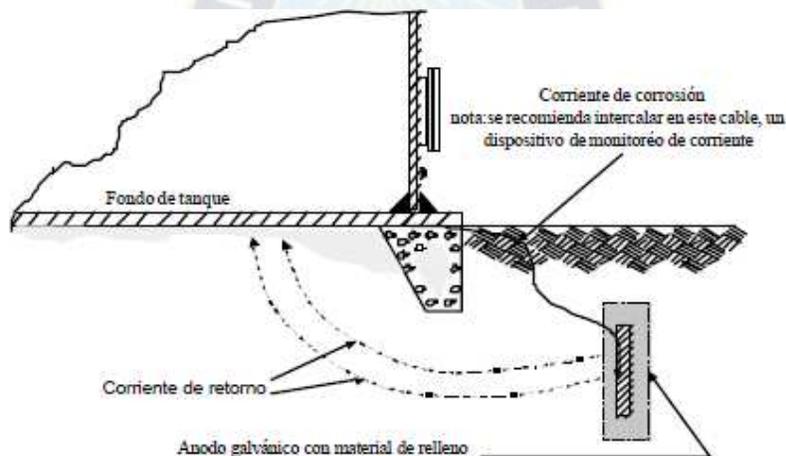
- Aleaciones de magnesio con alto potencial.
- Aleaciones de magnesio estándar.
- Zinc.

<sup>11</sup> Universidad Politécnica de Valencia UPV, Fundamentos de Corrosión y Protección, enero 2018.

Se hallan disponibles en el mercado diferentes pesos, tamaños y configuraciones de ánodos de magnesio y zinc, los cuales pueden venir desnudos o empacados con material de relleno especial. Es necesario considerar material de relleno especial, cuando se instalan ánodos en suelos de alta resistividad, el material de relleno consiste en una mezcla de yeso, bentonita y sulfato de sodio, que reduce la resistencia e incrementa el área de contacto del ánodo con el suelo.<sup>13</sup>

El número de ánodos que se requieren para la protección catódica de tanques de almacenamiento sobre el suelo depende del requerimiento total de corriente y de la corriente de descarga promedio individual de los ánodos en el suelo.<sup>13</sup>

**Figura No 2 - 6. Protección catódica con ánodos de sacrificio**



Fuente: PEMEX, Protección catódica en tanques de almacenamiento.

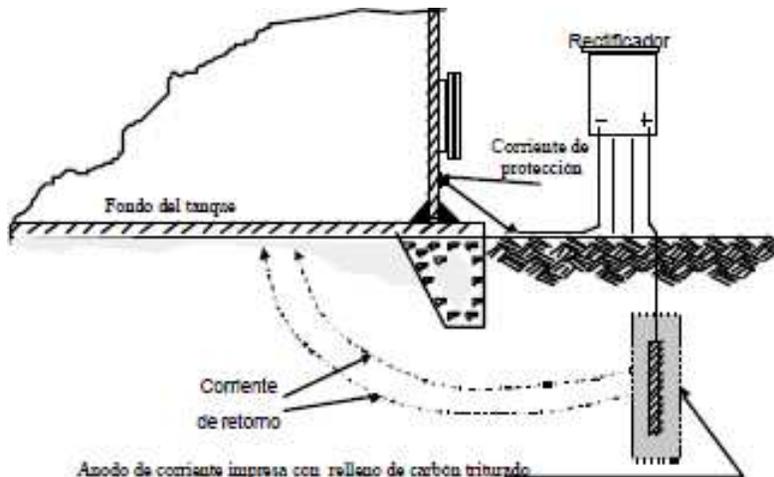
### 2.9.1.2. Sistemas de corriente impresa

Los ánodos de corriente impresa deben ser de materiales como el grafito, el hierro fundido con alto contenido de silicio, metales platinizados, la magnetita y mezcla de óxidos metálicos, entre otros. Se deben emplear sistemas del tipo de corriente impresa para la protección catódica de estructuras de gran tamaño, descubiertas o con recubrimiento deteriorado.<sup>12</sup>

Estos ánodos se instalan desnudos con material de relleno especial (como el grafito pulverizado, con alto contenido de carbón). Están conectados, individualmente o en grupos, a una terminal

positiva o a una fuente de corriente directa, mediante conductores aislados. La estructura se conecta a la terminal negativa, desde una fuente de corriente directa (rectificador).

**Figura No 2 - 7. Protección catódica por corriente impresa**



Fuente: PEMEX, Protección catódica en tanques de almacenamiento.

Para instalaciones en el suelo se prefiere el grafito, el hierro fundido con alto contenido de silicio o mezcla de óxidos metálicos. Cada material del ánodo tiene una densidad de corriente óptima que da una máxima vida de servicio al ánodo.

Los ánodos pueden ser localizados en camas o distribuidos cerca, abajo o alrededor, de las estructuras que se van a proteger. Un diseño adecuado para una cama de ánodos debe:

- Evitar interferencias físicas con las estructuras existentes, particularmente con los sistemas de tierra física.
- Suministrar una corriente uniformemente distribuida.
- Evitar interferencias de corrientes parásitas de estructuras adyacentes.

El número de ánodos para un diseño particular de protección catódica se determina por el requerimiento total de corriente de las estructuras por proteger y por la densidad de corriente óptima del material seleccionado para el ánodo.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> CISI NOTICIAS, Protección Catódica por Corriente Impresa, mayo 14 de 2015

- **Rectificador**

El rectificador de corriente es el equipo que transforma la corriente alterna en directa, este procedimiento es uno de los más empleados para la protección catódica. Generalmente se alimenta de corriente alterna de baja tensión (110/220/440 V. C. A.) monofásica o trifásica. En el proyecto se deben indicar las características eléctricas, de construcción, de operación e instalación procurando seleccionar la unidad más simple posible para su aplicación particular.”<sup>14</sup>

Es necesario que el rectificador tenga un enfriamiento adecuado, por lo que debe instalarse lejos de cualquier fuente que irradie calor o por donde circulen aire o gases calientes, así como también lejos de fuentes que tengan descargas corrosivas que pudieran atacar a la unidad, especialmente si es enfriado por aire.

**2.9.2. Materiales de relleno**

Se utilizan para ampliar el área de los ánodos con el fin de reducir su resistencia de contacto con el suelo.

- **Ánodos inertes**

Para ánodos inerte se usa como material de relleno, carbón de coque metalúrgico pulverizado.

- **Ánodos galvánicos.**

Para ánodos galvánicos se usa como material de relleno la composición que se indica en la tabla No 2 - 3, en función a la resistividad del terreno el porcentaje varía.

**Tabla No 2 - 3. Material de relleno para ánodos galvánicos**

<b>Material</b>	<b>Peso %</b>
Yeso seco en polvo	75
Bentonita seca en polvo	20
Sulfato de sodio anhidro	5

Fuente: Tecnología Total Control Integral de Corrosión.

## 2.10. IDENTIFICACIÓN DEL FLUIDO ALMACENADO

El diseño del tanque de almacenamiento está en función a las propiedades y características del fluido para establecer condiciones técnicas y de seguridad, es por ello que a continuación se realizará una descripción básica sobre las propiedades del Alcohol Etilico, fluido que será destinado para el almacenaje del tanque.

El Alcohol Etilico llamado también Etanol Anhidro, es un compuesto orgánico, se presenta como líquido a condiciones normales, incoloro, volátil, inflamable y soluble en agua, cuyas moléculas se componen de carbono, hidrógeno e hidroxilo ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ). El alcohol etílico no solo es el producto químico orgánico sintético más antiguo empleado por el hombre, sino también uno de los más importantes, de acuerdo con su uso a nivel: industrial, doméstico y medicinal.

### 2.10.1. Características fisicoquímicas del etanol anhidro

En la siguiente tabla No 2 – 4 se detallan las características más importantes del Etanol Anhidro.

**Tabla No 2 - 4. Características fisicoquímicas del etanol anhidro**

Razón	Cantidad
Nombre químico	Etanol Anhidro
Sinónimos	Alcohol Etilico
Fórmula	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Aspecto y color	Líquido incoloro
Olor	Característico
Presión de vapor	5,8 KPa a 20 °C
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,6
Densidad relativa (agua=1)	0,8
Solubilidad en agua	Miscible
Punto de ebullición	79 °C
Punto de fusión	-117 °C
Punto de inflamación	13°C (c.c.)
Peso molecular	46,1
Volatilidad	Volátil
Temperatura de Autoignición	363 °C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire	3,3 – 19

Fuente: Corporación Química Venezolana CORQUIVEN, C. A.

### 2.10.2. Tipos y usos del alcohol etílico

Los tipos de alcohol etílico, clasificados según su grado alcoholimétrico (°GL), son los siguientes:

- Alcohol neutro 96 - 97 °GL (Gay Lussac), se utiliza en la elaboración de licores, así como en aplicaciones químicas, biológicas y farmacológicas.<sup>15</sup>
- Alcohol desnaturalizado de 90 °GL, se mezcla con sustancias extrañas que lo hacen desagradable para la ingesta y que no puede separarse fácilmente por medios físicos y químicos. Se utiliza para fines industriales como disolvente.<sup>15</sup>
- Alcohol impuro entre 70° y 90 °GL, se utiliza en la preparación de lociones y disolventes suaves.<sup>15</sup>
- Alcohol anhidro (etanol-combustible) 99,6°- 99,8 °GL, alcohol deshidratado, su utilización principal es como carburante en la mezcla gasolina-alcohol (Gasohol).<sup>15</sup>

### 2.10.3. Proceso de producción del etanol anhidro

La producción del alcohol etílico puede ser desarrollada de dos maneras:

**Directa.** - El ingenio destina la caña de azúcar molida específicamente para la producción de alcohol.

**Sub producto.** - El ingenio rescata la melaza (o miel) resultante del proceso de producción de azúcar para la fabricación de alcohol.

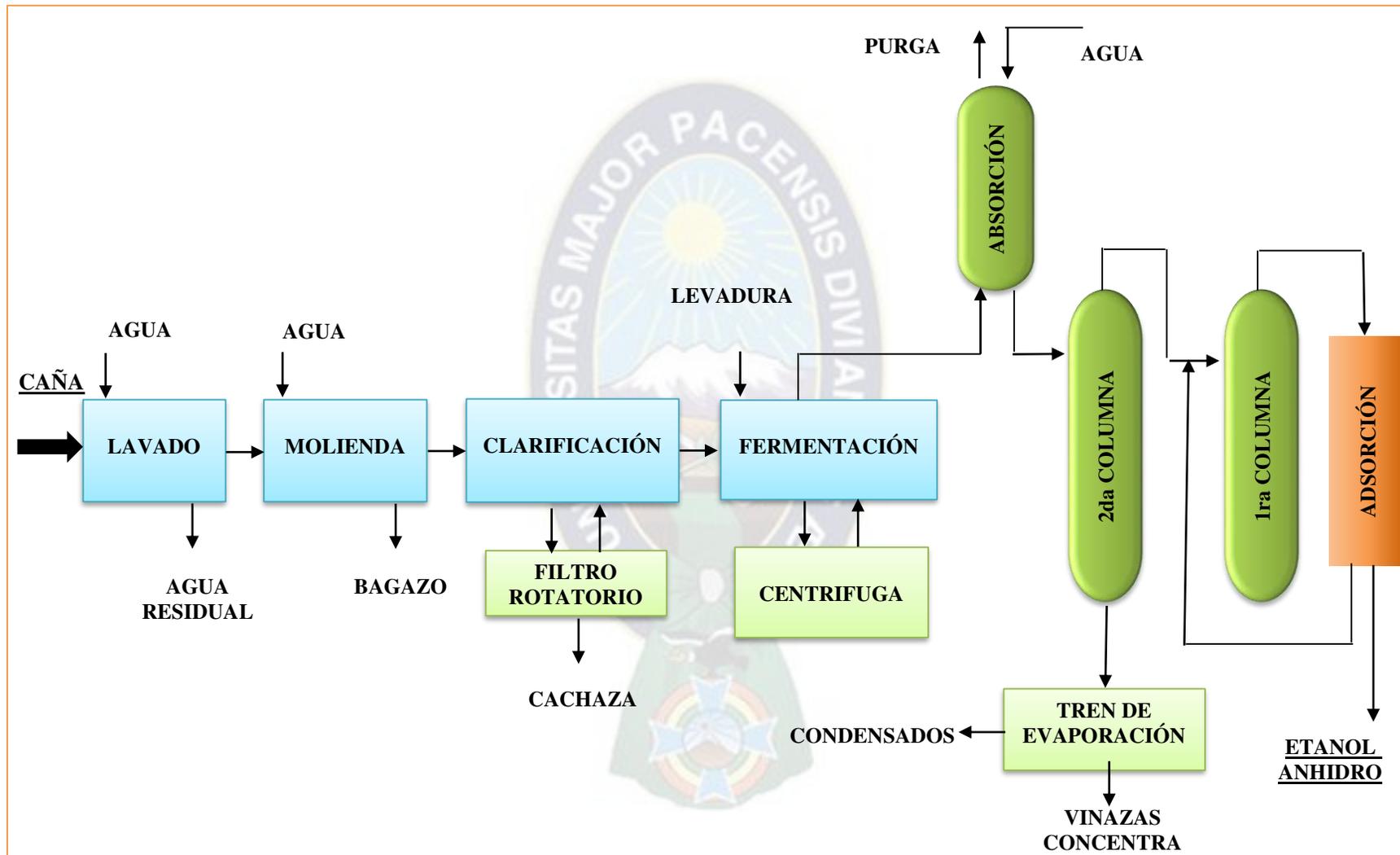
El proceso productivo de obtención de etanol a partir de caña de azúcar comprende la extracción del jugo de caña (rico en azúcares) y su acondicionamiento para hacerlo más asimilable por las levaduras durante la fermentación. Del caldo resultante de la fermentación debe separarse la biomasa, para dar paso a la concentración del etanol mediante diferentes operaciones unitarias y a su posterior deshidratación, básicamente consiste en cuatro etapas, que se describen a continuación:

**Tabla No 2 - 5. Proceso productivo del etanol anhidro**

<b>Etapa</b>	<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>
Primera	Acondicionamiento de la materia prima	El acondicionamiento consiste de un lavado inicial de la caña, posteriormente a una molienda o trituración donde se extrae el jugo de caña, obtenido este jugo se somete a un proceso de clarificación en el que se le agrega óxido de calcio y una pequeña porción de ácido sulfúrico con el fin de disminuir el pH a 4,5 y provocar la hidrólisis de la sacarosa en hexosas.
Segunda	Fermentación	En esta etapa se lleva a cabo la fermentación de glucosa y una parte de la fructosa en etanol y dióxido de carbono, mediante la levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) que es continuamente recirculada desde una centrífuga ubicadas aguas abajo del fermentador. esto con el debido control de las variables de operación principales tal el caso de temperatura y pH con valores operativos definidos.
Tercera	Destilación	La destilación y la adsorción con tamices moleculares se usan para recuperar el etanol del caldo de fermentación obteniéndose etanol a 99,5% en peso de pureza. La destilación se lleva a cabo en dos columnas, la primera remueve el CO <sub>2</sub> disuelto y la segunda columna concentra el etanol hasta una composición cercana a la azeotrópica. el agua restante es removida de la mezcla mediante adsorción en fase vapor en dos lechos de tamices moleculares. El producto de la regeneración de los tamices es recirculado a la segunda columna de destilación.
Cuarta	Almacenamiento y despacho	Se dispone para almacenamiento del etanol depósitos temporales (tanques) de capacidad adecuada, y posterior a ello, según requerimiento, se realiza el despacho, a través del cargado de camiones cisterna que reciben el etanol para transportarlo hacia el destinatario final.

Fuente: Estudio de Mercado de Alcohol Etilico en Bolivia AEMP.

Figura No 2 - 8 Esquema del proceso de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar



Fuente: Elaboración Propia en base al estudio de mercado de Alcohol Etilico en Bolivia AEMP.

#### 2.10.4. Importancia de las propiedades del etanol anhidro

A continuación, se destacan las propiedades más importantes del Etanol Anhidro:

**Tabla No 2 - 6 Propiedades del etanol anhidro**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
<b>Aspecto y Color</b>	Características importantes del etanol, que permiten evaluar la presencia de impurezas provenientes del proceso productivo o del transporte inadecuado, así como la contaminación con otros productos o con herrumbre. El oscurecimiento también puede ocurrir debido a la oxidación de compuestos inestables presentes (alcoholes superiores y aldehídos). El bioetanol es incoloro o amarillo en presencia de proteínas.
<b>Acidez Total</b>	Referido como ácido acético, refleja el poder corrosivo del etanol, lo que puede causar daños a los componentes del automóvil y la infraestructura de distribución del producto. Este parámetro deber ser controlado y evaluado principalmente en el proceso de fermentación, cuando no se interrumpe adecuadamente después de la formación del etanol, éste se transformará en ácido acético.
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Propiedad que está directamente relacionada con la cantidad de iones presentes en el etanol (cobre, cloro, sulfato, sodio y hierro). Cuantos más iones tenga, mejor conductor será, lo que puede ser más corrosivo y/o agresivo a los materiales de almacenaje y del circuito de distribución.
<b>Densidad</b>	Es una medida indirecta de la proporción agua y alcohol existente en el combustible. Si es elevada, puede indicar gran cantidad de agua; si la masa específica es muy baja, indica la presencia de componentes livianos, como metanol y aldehídos, los cuales pueden causar más contaminación al medio ambiente. Se debe destacar que el metanol no es un oxigenante permitido en la mezcla en la gasolina por ser muy tóxico, causar corrosión en los componentes metálicos y degradación de plásticos y elastómeros.
<b>Grado alcohólico</b>	Refleja el grado de pureza del etanol y permite evaluar especialmente la presencia de agua, que es soluble en el etanol e incolora.
<b>Grado de etanol</b>	Esta prueba (cromatografía de gases) es importante cuando existe la posibilidad de que haya otros alcoholes además del etanol, por ejemplo, cuando se sospecha de la presencia de metanol o de alcoholes superiores.
<b>Azufre.</b>	El etanol prácticamente no contiene azufre, pero ciertos procesos productivos pueden adicionar compuestos con azufre en el combustible. Desnaturalizantes como gasolinas ricas en azufre pueden introducir este elemento en el etanol combustible. El azufre envenena los catalizadores, lo que causa el aumento de las emisiones.

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
<b>Fósforo.</b>	Puede ser adicionado al etanol vía planta de origen (caña, maíz, remolacha, etc.) o vía agroquímicos. Se trata de un poderoso veneno de catalizadores automotrices, pudiendo causar aumento en los contenidos de las emisiones.
<b>Grado de iones cloruro, sulfato, hierro, sodio</b>	Las presencias de estos iones aumentan la conductividad del etanol y reflejan el poder corrosivo, especialmente el cloruro, que es muy agresivo para los aceros utilizados en tanques, motores y otras piezas en contacto con el fluido. El ion hierro delata la presencia de óxido de hierro, debido a los procesos corrosivos en equipos y líneas de transporte y almacenamiento, lo que puede causar obstrucciones en las partes móviles de los motores. El elevado grado de sodio puede indicar el uso de base (NaOH) para ajuste de pH, antes de la fermentación. El sulfato puede ser adicionado al etanol vía proceso, una vez que las levaduras son tratadas con ácido sulfúrico. Es importante destacar que, el sulfato es muy corrosivo y aún en niveles bajos es también promotor de depósitos en los circuitos de distribución de combustibles de los automóviles. El cloro puede indicar contaminación con agua de mar, especialmente cuando hay transporte marítimo.
<b>Grado de los iones de cobre</b>	Este metal tiene especial importancia, dado que muchos equipos de fermentación y de destilación del etanol pueden ser confeccionados en cobre, el cual es fácilmente transportado por el etanol. En Brasil, las fábricas de producción de etanol usan actualmente acero inoxidable en lugar de cobre, sin embargo, este parámetro aún persiste en la especificación brasileña del etanol, porque su efecto en la gasolina es muy negativo.

Fuente: Recomendaciones de especificaciones técnicas para el Etano GTZ

#### **2.10.4.1. Importancia de acuerdo al material de diseño del tanque**

##### **2.10.4.1.1. Hidrofilicidad**

El etanol presenta un comportamiento polar, ya que tiene gran afinidad con el agua. Así el etanol tiene tendencia a absorber agua presente en las líneas de distribución del combustible, en los tanques de almacenamiento, camiones de transporte y circuitos de combustible de los automóviles. Esta tendencia implica preocupaciones extra en lo que se refiere a las buenas prácticas de transporte, el manejo y almacenaje del etanol y sus mezclas con gasolina.”<sup>16</sup>

<sup>16</sup> GTZ, Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas, marzo 2010.

No se debe olvidar que el residuo acuoso que debe ser drenado contiene también etanol solubilizados, pudiendo ser inflamable. Por lo tanto, deberán ser tomadas medidas de seguridad en su tratamiento, inclusive con respecto a las reglamentaciones ambientales.

Por lo tanto, toda la línea donde se transporta el etanol deberá ser drenada y previamente limpiada y una forma para efectuar esta limpieza es a vapor, involucra la entrada al tanque, limpieza con secado adecuado.

#### **2.10.4.1.2. Compatibilidad y control de corrosión**

El Etanol Anhidro presenta dos características lo cual hace menos compatibles con los componentes de distribución y almacenaje los cuales son:

- Es una sustancia polar.
- Presenta una mayor conductividad eléctrica.

**Elastómeros:** El etanol al ser polar extrae los plastificantes de los elastómeros, reduciendo su flexibilidad y resistencia. lo que puede ser perjudicial para los sellos, anillos de sellado, juntas, etc. El hecho que el etanol sea menor que los compuestos oxigenados normalmente usados (MTBE y ETBE) y que por ello tenga una menor barrera energética para difundirse en los elastómeros, puede provocar una dilatación (“swelling”) y consecuente degradación mecánica de éstos.”<sup>17</sup>

**Metales:** Por presentar una conductividad más elevada y por poseer un grupo funcional oxigenado reactivo, la presencia de etanol contribuye en la aparición de problemas de corrosión y desgaste en algunos componentes metálicos. La presencia de agua en suspensión en el combustible puede aumentar la formación de óxido y/o corrosión galvánica.”<sup>17</sup>

A continuación, se presenta algunos materiales adecuados y aquellos que deben ser evitados en el manejo de Etanol Anhidro:

<sup>17</sup> GTZ, Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas, marzo 2010.

**Tabla No 2 - 7. Materiales compatibles e incompatibles con etanol anhidro**

<b>Material</b>	<b>Recomendado</b>	<b>No Recomendado</b>
Metales		Materiales de zinc y galvanizados
	Acero inoxidable	Latón (Brass)
	Bronce	Cobre
		Acero revestido con plomo/estaño
Elastómeros	Viton (elastómero fluorado)	Espuma uretanica
	Fluoro silicón	Espuma natural
	Fluorel (elastómero fluorado)	Tereftalato de poli buteno
	Neopreno (polímero clorado)	
	Buna-N (acrilonitrilo y butadieno)	
	Espuma de polisulfuro	
Polímeros	Polipropileno	Poliuretano
	Polietileno	Polímeros contenidos en los grupos OH
	Teflón	Nylon 66
	Plásticos reforzados con fibras de vidrio	Fibras de vidrio reforzado poliésteres y resinas epoxi
	Acetales	Pvc y Shellac
Otros	Papel	Corcho
	Cuero	

Fuente: Recomendaciones de especificaciones técnicas para el Etano GTZ.

Uno de los principales problemas de compatibilidad entre el etanol y los componentes metálicos es la corrosión producida por la posible presencia de ácidos orgánicos e inorgánicos, en el etanol; además de iones, como el cloruro, es por ello por lo que es importante clasificar bien el material entre estos por ejemplo el uso de aceros especiales y de acero carbono, protegido con revestimientos específicos, como el polietileno, niquelados.

La manera más eficiente para minimizar los problemas de compatibilidad del etanol Anhidro con otros materiales es:

- Utilizar el etanol Anhidro de elevada pureza.
- Baja acidez.
- Bajo contenido de cloro, sulfato, hierro y sodio.
- Consecuente control riguroso de pH.
- Conductividad eléctrica.

## CAPITULO 3

### APLICACIÓN PRACTICA

En este capítulo se puntualiza los parámetros de diseño del tanque en función a las características del fluido a almacenar (Etanol Anhidro), la selección del código de aplicación y el material para el diseño, cálculo del espesor del tanque (fondo, cuerpo), selección del tipo de techo y sus accesorios, calculo por sismo y viento, selección del sistema de pintura y protección catódica, medidas de control y seguridad industrial.

#### 3.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el diseño del tanque de almacenamiento de Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal para las Gasolinas, es necesario contar con las características técnicas de calidad del fluido que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla No 3 - 1 Características técnicas de calidad del etanol anhidro**

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	LIMITE
Aspecto	-	Claro y libre de impurezas
Acidez total, máx..	mg/L	30
Conductividad eléctrica, máx.	μs/m	300 s/m
Densidad a 68 °F (20 °C)	g/cm <sup>3</sup>	0,7915 máx.
Graduación Alcohólica	%	99,5 min.
Contenido de Etanol, min.	%	98
Contenido de agua, máx.	%	0,5
Contenido de Metanol, máx.	%	0,5
Residuo de Evaporación, máx.	mg/100 ml	5
Cloruros	mg/kg	1
Sulfato, máx.	mg/kg	4
cobre, máx.	mg/kg	0,07
azufre, máx.	mg/kg	50

Fuente: Resolución Ministerial No 183 del 28 de diciembre del 2018.

### 3.1.1. Localización del tanque de almacenamiento

El diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento se aplicará en la Planta YPFB Logística Senkata, ubicada en la Ciudad de El Alto, Zona Senkata, sobre la Av. 6 de marzo, Kilometro 8, carretera a Oruro; cuenta con una superficie total de 45.280 m<sup>2</sup>, de los cuales 7.888m<sup>2</sup> están destinadas al área de Almacenamiento y Servicios.

Dentro de las instalaciones de la Planta, se encuentran con diversas áreas industriales como ser: tanques de almacenamiento, patio de válvulas, sala de electrobombas, islas de despacho y recepción de cisternas, por tanto, se pretende ubicar al tanque de Etanol Anhidro en el área de tanques de almacenamiento.

**Figura No 3 - 1. Zona geográfica de la Planta Senkata**



Fuente: Planta Senkata.

- **Coordenadas UTM**
  - N 586386.95
  - E 8167607.85

### - Características ambientales

El clima de la zona en invierno es frío, seco y con nevadas ocasionales; en verano fresco debido a las elevadas precipitaciones. El promedio anual de temperatura es de 11 °C. Tiene vientos moderados en agosto. En el verano la temperatura puede alcanzar los 25 °C.

#### 3.1.1.1. Condiciones atmosféricas

Las condiciones en las que se encontrará el tanque a ser diseñado se describen en la siguiente tabla:

**Tabla No 3 - 2. Condiciones atmosféricas**

Altitud	4.150 msnm
Temperatura ambiente	0 °C – 15 °C
Humedad relativa	Media Anual 50 %
Velocidad del viento	6 m/s
Zona Sísmica	0,25

Fuente: Planta Senkata

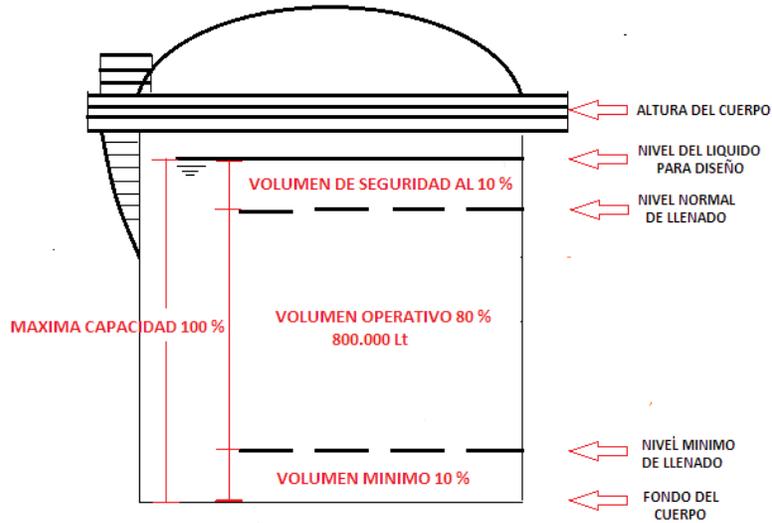
#### 3.1.2. Volumen de almacenaje

El volumen de producción de Etanol Anhidro como aditivo de origen vegetal destinados a la mezcla con gasolina base establecido bajo un contrato con YPFB es de 150.000.000 Lt anual, pero solo se adquiere el 40 %, debido a la falta de capacidad de almacenaje y que solo se distribuyen a cuatro Distritos Comerciales, entre ellas está el Distrito Comercial Senkata ‘Planta YPFB Logística Senkata’, donde en un saldo promedio mensual adquiere 2.803.834 Lt.

La Planta YPFB Logística Senkata cuenta con dos tanques de almacenamiento para el Etanol Anhidro; tanque 205 y 206 (antiguamente se almacenaba kerosene), y tienen una capacidad de almacenaje cada una de 750.000 Lt.

El tanque propuesto en el presente proyecto tiene una capacidad de 800.000 Lt (8.000 m<sup>3</sup>), estará diseñado bajo las características del Etanol Anhidro y contrarrestará la baja capacidad de almacenaje del mismo, ya que la Planta Senkata distribuye combustibles a 140 Estaciones de Servicio y el 80 % es de Gasolina Especial Plus.

**Figura No 3 - 2. Niveles y volúmenes del tanque de almacenamiento**



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura No 3 – 2. se muestra la relación del volumen almacenado, volumen mínimo, volumen operativo, y volumen de seguridad. El volumen operativo es de  $8.000 \text{ m}^3$  (800.000 Lt), el cual constituye el 80% de la capacidad del tanque a ser diseñado. El volumen de seguridad y el volumen mínimo serán el 10% respectivamente de la capacidad total del tanque.

**- Tasa de llenado y descarga**

La tasa de llenado y descarga considerando los datos proporcionados por la Planta Senkata son: 440 gpm, 220 gpm respectivamente.

**3.1.3. Condiciones de operación**

En esta sección se describirá las condiciones a las cuales se va a operar el tanque.

**Tabla No 3 - 3 Condiciones de operación.**

Requerimiento	Cantidad
Volumen	$8.000 \text{ m}^3$
Peso específico del fluido	0,7893
Temperatura del fluido	$25^\circ \text{ C}$
Máxima temperatura de diseño	$40^\circ \text{ C}$
Temperatura de diseño del metal	$12 - 40^\circ \text{ C}$
Presión de diseño	Atmosférico
Presión externa	Atmosférica

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. SELECCIÓN DEL CÓDIGO DE APLICACIÓN PARA EL DISEÑO

Existen distintos códigos de diseño de tanques de almacenamiento. Antes de realizar cualquier diseño, se deberá establecer el código de aplicación adecuado para el diseño del tanque, este código está en función a la presión de operación necesaria para mantener el fluido almacenado en estado líquido y evitar pérdidas por volatilidad del producto.

Por esta razón, determinamos la presión de operación haciendo el uso del libro GPSA 2016 – Engineering Data Book – Section 6, Figure 6.2 – Storage Pressure vs. True Vapor Pressure. Para ilustrar el uso de la figura debemos considerar la presión de vapor y la temperatura superficial máxima del fluido.

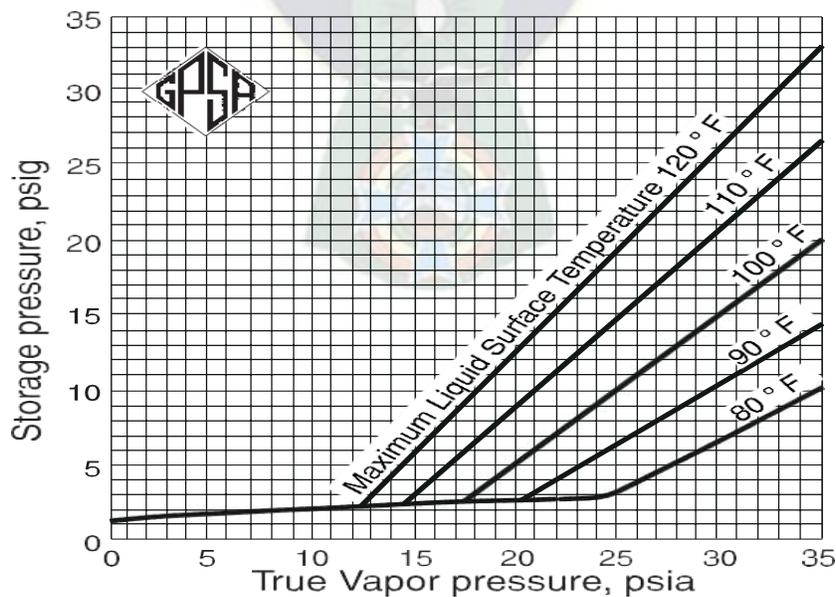
Datos:

Producto = Etanol Anhidro

Presión de vapor = 2,616 PSI @ 40 °C

Temperatura = 40 °C  $\approx$  104 °F

**Figura No 3 - 3. Storage pressure VS true vapor pressure**



Fuente: Libro GPSA 2016 – ENGINEERING DATA BOOK – SECTION 6

De acuerdo al siguiente grafico obtenemos:

Presión de Operación = 1,2 Psig

Una vez obtenida la presión de operación, con el siguiente cuadro clasificamos el código de diseño:

**Tabla No 3 - 4. Clasificación del código de diseño**

	Presión atmosférica††	0 a *2,5 psig ††	2,5 a 15 psig ‡	Por encima de 15 psig §	Subterráneo
Aceites crudos	X	X	X	-	X
Condensados	X	X	X	X	X
Aceites	X	X	-	-	X
Gasolina natural	X	X	X	-	X
Butanos	-	X	X	X	X
Propano	-	X	X	X	X
LGN crudos	-	X	X	X	X
Etano	-	X	X	X	X
Petroquímicos	-	X	X	X	X
Gas natural	-	-	-	X	X
GNL	-	X	X	X	-
Tratamiento de agentes	X	X	-	-	-
Fluidos de deshidratación	X	X	-	-	-
Productos químicos especiales	X	X	X	-	-
Materiales sólidos	X	-	-	-	-
Agua	X	-	-	-	-

Fuente: Libro GPSA 2016 – ENGINEERING DATA BOOK – SECTION 6

\* Algunos materiales pueden requerir una ligera presión positiva para excluir aire, oxígeno y / o agua, y vapores tóxicos.

† La norma API 650 gobierna.

‡ La norma API 620 gobierna.

§ El Código de recipientes a presión sin combustión de ASME, la Sección VIII.

° Solo refrigerada.

Nota: Pueden existir condiciones de vacío y deben tenerse en cuenta en el diseño del tanque.

El Código de diseño a considerar será el API 650

### 3.3. SELECCIÓN DE MATERIAL SEGÚN LA NECESIDAD DEL PRODUCTO

La selección del material para la construcción del tanque debe regirse por la compatibilidad con el líquido especificado en este caso (Etanol Anhidro), los dos parámetros principales para su elección es la corrosión y la temperatura del producto, al considerarse este un producto inflamable y corrosivo debe ser precisa la selección.

Básicamente, para los componentes metálicos, el mayor problema es la corrosión producida por la posible presencia de ácidos orgánicos e inorgánicos, en el caso del etanol la presencia de iones tales como el cloruro y sulfato.

A continuación, se presenta algunos de los materiales más adecuados y aquellos que deben ser evitados en el manejo del etanol.

**Tabla No 3 - 5. Materiales compatibles e incompatibles para su aplicación**

<b>Materiales</b>	<b>Recomendado</b>	<b>No Recomendado</b>
Metales		Materiales de zinc y galvanizados
	Acero inoxidable	Latón (Brass)
	Bronce	Cobre
		Acero revestido con plomo/- estaño

Fuente: Recomendaciones de especificaciones técnicas para el Etano GTZ.

El material que se seleccionara para la construcción del cuerpo y fondo del tanque de almacenamiento de Etanol Anhídrido es el acero ASTM A36, ya que es un material permitido por la API 650 y cumple con las características de resistencia requeridas, además de ser un material muy comercial, pero, una desventaja de este acero al carbón, es que se pueden presentar problemas por corrosión, es por ello que se considera utilizar un sistema de pintura tanto externa como interna.

El esfuerzo máximo permisible de diseño ( $S_d$ ) y de prueba hidrostática ( $S_t$ ), se muestra en la tabla de materiales más comunes y esfuerzos permisibles, recomendado por el estándar API 650 en el diseño de tanques de almacenamiento.

**Tabla No 3 - 6. Materiales más comunes sus esfuerzos permisibles (Kg/cm)**

ESPECIFICACIÓN	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CADENCIA	ESFUERZO DE TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
<b>ASTM</b>					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A, B, CS	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	163	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	42220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición.

### **3.4. DISEÑO Y CÁLCULO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO.**

Los elementos principales del tanque de almacenamiento son: fondo, cuerpo, techo, como también sus accesorios (entrada hombre, sumidero, escalera, accesorios de instrumentación).

De acuerdo a la capacidad neta de trabajo de  $800 \text{ m}^3$  (800.000 Lt) y el diámetro  $D = 12 \text{ m}$ , se determinará el nivel neto que albergue dicha capacidad:

Datos:

$$V_n = 800 \text{ m}^3$$

$$D = 12 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 12^2}{4}$$

$$A = 113,1 \text{ m}^2$$

$$H = \frac{V_n}{A} = \frac{800}{113,1}$$

$$H = 7,1 \text{ m}$$

El parámetro de nivel máximo de líquido de diseño será el 100 % de la capacidad total del tanque de almacenamiento.

$$V_T = V_n * 1,25$$

$$V_T = 800 * 1,25$$

$$V_T = 1.000 \text{ m}^3$$

La capacidad mínima de operación permanente del tanque será del 10 % establecido bajo norma.

$$V_{min} = V_n * 0,125$$

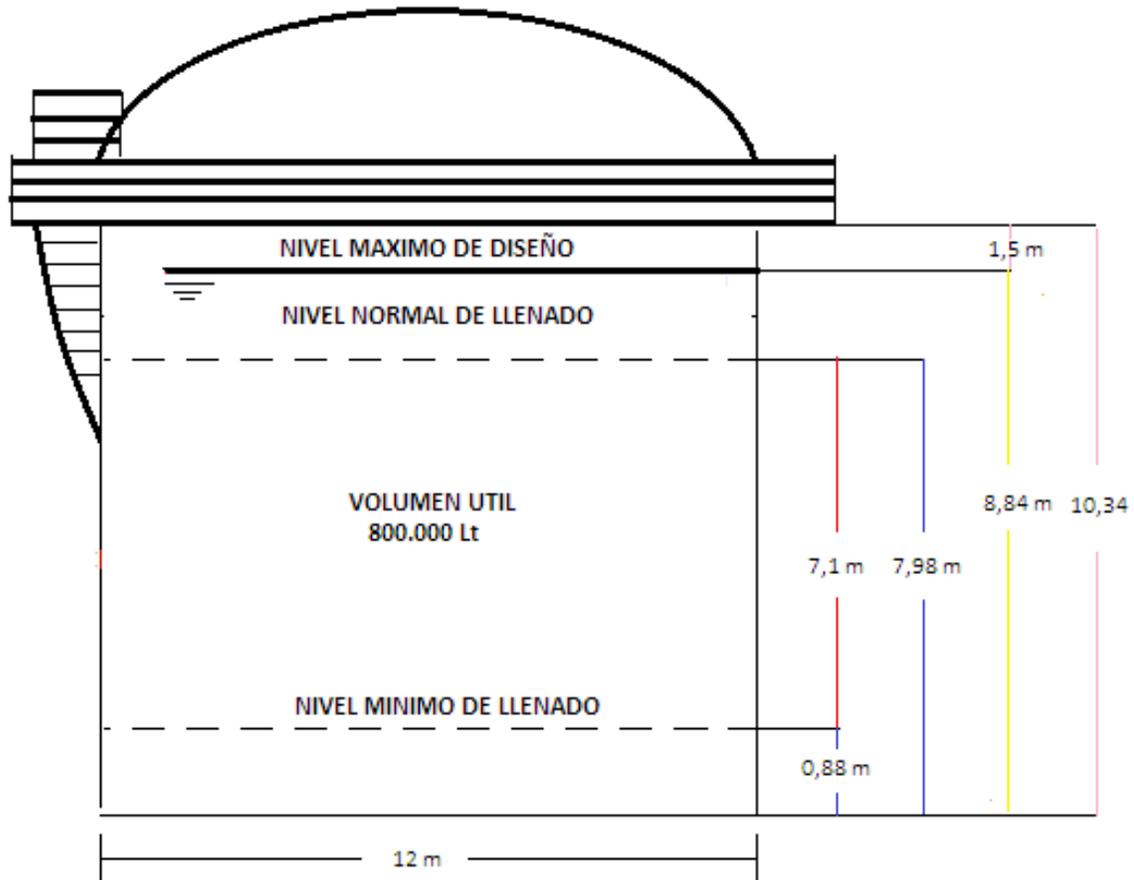
$$V_{min} = 800 * 0,125$$

$$V_{min} = 100 \text{ m}^3$$

Se debe considerar que el fluido almacenado no debe superar la capacidad neta de trabajo, ya que se dispondrá de medidas necesarias y eléctricas tales como el transmisor de nivel.

$$V_T > V_n \geq V_{min}$$

Figura No 3 - 4 Arreglo esquemático del tanque de almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4.1. Diseño del fondo.

La función principal del fondo es lograr la hermeticidad para que el producto no se filtre por la base y de acuerdo con las características del Etanol Anhidro se utilizará un tanque cilíndrico vertical de fondo cónico central hacia abajo, permitiendo almacenar grandes cantidades volumétricas con un coste bajo, debido a que la presión atmosférica y presión interna es relativamente pequeña.

Este fondo será fabricado de placas de acero ASTM – A36, con un espesor menor al usado en el cuerpo, porque se encuentra soportado por una base de concreto, los cuales soportarán el peso de la columna del producto.

Bajo los siguientes criterios anunciados en la API 650 se realizarán los cálculos:

Según la API 650, punto 5.4.1, todas las planchas del piso deben tener un espesor no menor a 6 mm y las planchas rectangulares deben tener un ancho nominal no menor a 1.800 mm, el piso debe tener mínimamente una inclinación hacia el centro de 1:120 hacia arriba.

El espesor mínimo del fondo de acuerdo con el API 650 deberá ser:

$$tb = \text{espesor mínimo} + CA$$

Donde:

tb = Espesor del fondo

CA = Factor de corrosión

El factor de corrosión a aplicar es 1,0063 mm.

Por lo tanto, es espesor del fondo para el tanque de 800.000 Lt (800 m<sup>3</sup>) será:

$$tb = 6(\text{mm}) + 1,0063(\text{mm})$$

$$tb = 7,0063 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Las placas con las que se dispone el fondo deberán tener un ancho de 1,8 m o 2,44 m (6 u 8 pies) con una longitud comercial de 6 m o 12 m (20 o 40 pies) accesible en el manejo en taller o en campo y establecidos en la Norma API 650.

El fondo se forma con placas traslapadas, con el fin de absorber las deformaciones sufridas por el fondo si las placas fueran soldadas al tope, esto es una gran ventaja, porque las placas pueden estar escuadrada y cortadas en grupos de 4 placas.

### **3.4.2. Diseño y cálculo del cuerpo.**

Para el diseño del cuerpo es necesario señalar el espesor de la pared del cuerpo para satisfacer los requisitos de resistencia a la tensión y compresión y resistir la carga hidrostática, esta deberá ser

mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, se calculan en base a:

- El espesor de la pared por condición de diseño se calcula con base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido.
- El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua.
- El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.
- Según la API 650, punto 5.6.1.1, el espesor de la plancha del cuerpo no deberá ser menor a lo especificado a la siguiente tabla:

**Tabla No 3 - 7. Espesor mínimo de pared del cuerpo**

Diámetro nominal del tanque		Espesor mínimo	
(m)	(ft)	(mm)	(in)
D < 15	D < 50	5	3/16
15 < D < 36	50 < D < 120	6	1/4
36 < D < 60	120 < D < 200	8	5/16
D > 60	D > 200	10	3/8

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

- Las planchas deben tener mínimamente un ancho de 1800 mm.
- Según la API 650, punto 5.6.3.2, uno de los métodos para calcular espesores de pared de tanques es el método de pie, esto se refiere al espesor requerido a 0,3 m encima del piso y de cada virola del cuerpo.
- Este método solo aplica para tanques con diámetros menores a 60,96 m.

Bajo estos criterios anunciados en la API 650 a continuación se determinará el número de virolas dividiendo la altura total del tanque entre el ancho de la virola comercial que se requiere emplear:

$$H_T = 10,34 \text{ m} = 10.340 \text{ mm}$$

$$B_{\text{comercial}} = 2.100 \text{ mm (Ancho de la virola comercial).}$$

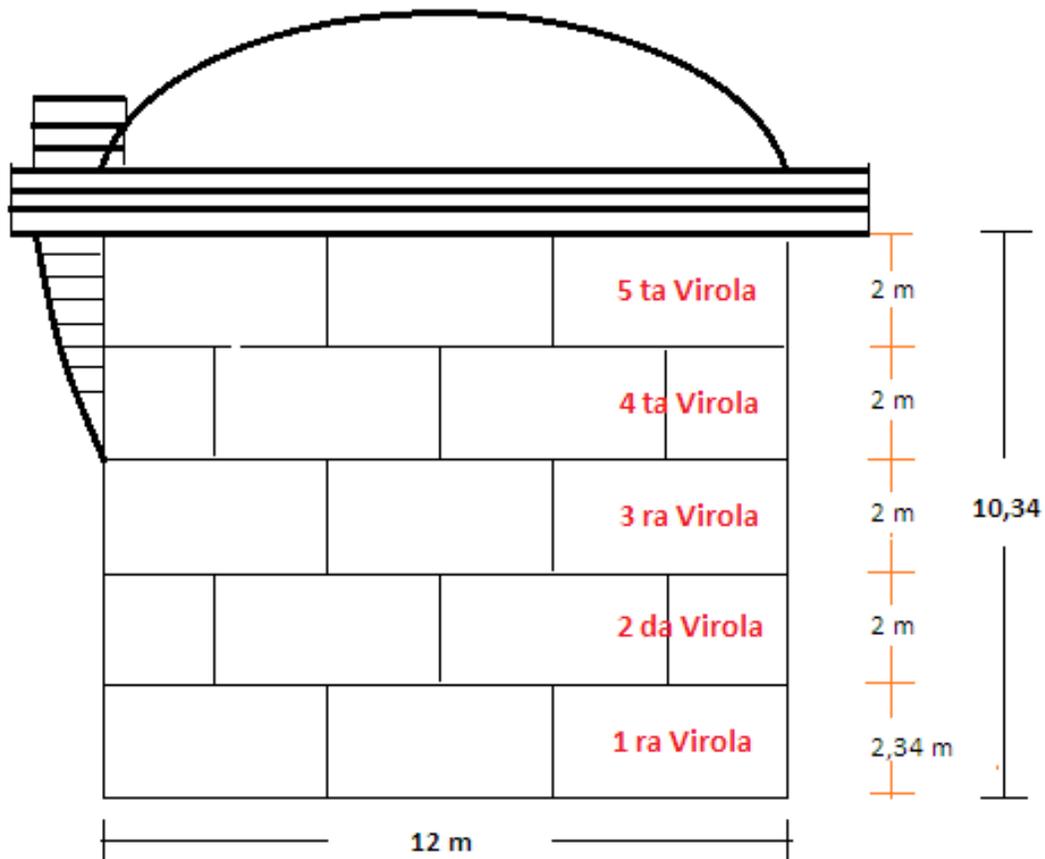
$$Nro \text{ de Virolas} = \frac{H_T}{B_{\text{comercial}}}$$

$$Nro \text{ de Virolas} = \frac{10.340}{2.100}$$

$$Nro \text{ de Virolas} = 4,92 \cong 5$$

A continuación, se presenta un esquema de las dimensiones del tanque para posteriores cálculos:

**Figura No 3 - 5 Esquema del tanque de almacenamiento**



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4.2.1. Cálculo de espesores del cuerpo por el Método de un Pie

Este método es seleccionado debido a que el tanque cuenta con un diámetro menor a 60,96 m (200 pies) y esta calcula el espesor requerido de la pared del tanque, por condiciones de diseño y de prueba hidrostática, se considerando una sección transversal ubicada a 304,8 mm (1 pie) por debajo de la unión de cada anillo.

**Tabla No 3 - 8 Requerimiento para el cálculo de un Pie**

Requerimiento	Cantidad
Diámetro nominal del tanque	12 m
Altura nominal del tanque	10,34 m
Gravedad específica del diseño del líquido	0,8
Tolerancia de esfuerzo para diseño	160 Mpa
Tolerancia de esfuerzo para condición hidrostática	171 Mpa
Factor corrosión	1,0063

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizará 5 virolas, y se calcula bajo las siguientes formulas:

#### **Cálculo del espesor de la pared por condición de diseño:**

$$td = \frac{4,9 * D * (H - 0,3) * G}{Sd} + CA$$

#### **Cálculo del espesor de la pared por condición de prueba hidrostática:**

$$tt = \frac{4,9 * D * (H - 0,3)}{St}$$

Donde:

td = Espesores por condiciones de diseño (mm).

tt = Espesor por prueba hidrostática (mm).

D = diámetro nominal del tanque (m).

H = Altura de diseño del nivel del líquido (m)

G = Gravedad específica de diseño del líquido.

CA = Factor de corrosión (mm).

Sd = Tolerancia de esfuerzo para diseño (MPa).

St = Tolerancia de esfuerzo para condición hidrostática (MPa).

Los valores según la Tabla No 3 - 7 son:

D = 12 m

Hr = 10,34 m

G = 0,8

CA = 1,0063

Sd = 160 MPa (1,630 kg/cm<sup>2</sup>)

St = 171 MPa (1,750 kg/cm<sup>2</sup>)

El espesor mínimo especificado en la tabla No 3 – 7 para el diámetro del tanque mencionado anteriormente es de 5 mm.

- **Cálculo para la 1ra virola**

Reemplazando en las fórmulas descritas se obtiene:

Espesor por condiciones de diseño:

$$td = \frac{4,9 * 12(10,34 - 0,3) * 0,8}{160} + 1,0063$$

$$td = 3,96 \text{ mm}$$

Espesor por condiciones de diseño:

$$tt = \frac{4,9 * 12(10,34 - 0,3)}{171}$$

$$tt = 3,45 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de placa a utilizar es: 5 mm.

- **Cálculo para la 2da virola**

Espesor por condiciones de diseño:

$$td = \frac{4,9 * 12(8 - 0,3) * 0,8}{160} + 1,0063$$
$$td = 3,27 \text{ mm}$$

Espesor por condiciones de diseño:

$$tt = \frac{4,9 * 12(8 - 0,3)}{171}$$
$$tt = 2,65 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de placa a utilizar es: 5 mm.

- **Cálculo para la 3ra virola**

Espesor por condiciones de diseño:

$$td = \frac{4,9 * 12(6 - 0,3) * 0,8}{160} + 1,0063$$
$$td = 2,68 \text{ mm}$$

Espesor por condiciones de diseño:

$$tt = \frac{4,9 * 12(6 - 0,3)}{171}$$
$$tt = 1,96 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de placa a utilizar es: 5 mm.

- **Cálculo para la 4ta virola**

Espesor por condiciones de diseño:

$$td = \frac{4,9 * 12(4 - 0,3) * 0,8}{160} + 1,0063$$
$$td = 2,09 \text{ mm}$$

Espesor por condiciones de diseño:

$$tt = \frac{4,9 * 12(4 - 0,3)}{171}$$

$$tt = 1,27 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de placa a utilizar es: 5 mm.

**- Cálculo para la 5ta virola**

Espesor por condiciones de diseño:

$$td = \frac{4,9 * 12(2 - 0,3) * 0,8}{160} + 1,0063$$

$$td = 1,51 \text{ mm}$$

Espesor por condiciones de diseño:

$$tt = \frac{4,9 * 12(2 - 0,3)}{171}$$

$$tt = 0,58 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor de placa a utilizar es: 5 mm.

A continuación, en la tabla No 3 – 9 se detalla los espesores para cada virola:

**Tabla No 3 - 9. Cálculo de espesores para pruebas hidrostática y de diseño**

Acero A36; Sd = 23.000 Psi - St = 24.900 Psi.									
G = 0,8									
Virola No	Ancho planchas	Altura de anillos	Altura de anillos	Espesores de diseño Td		Espesores prueba hidrostática Tt		Espesor a utilizar	
	mm	pies	metros	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
1	2.100	33,92	10,34	0,16	3,96	0,14	3,45	3/16	5
2	2.100	26,25	8	0,13	3,27	0,10	2,65	3/16	5
3	2.100	19,68	6	0,11	2,68	0,08	1,96	3/16	5
4	2.100	13,12	4	0,08	2,09	0,05	1,27	3/16	5
5	2.100	6,56	2	0,06	1,51	0,02	0,58	3/16	5

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición.

### 3.4.3. Peso total del cuerpo del tanque $W_s$

El peso total del cuerpo del tanque se lo obtiene con la siguiente fórmula:

$$W_s = \pi * D * H_t * t * \rho_{ac}$$

Donde:

$D = 12$  m (diámetro nominal del tanque).

$t = 5$  mm (espesor del primer anillo).

$\rho_{ac} = 7850$  kg/m<sup>3</sup> (densidad del acero).

$H_T = 10,34$  m (altura total del cuerpo)

Reemplazando en la formula se obtiene el valor del peso total del cuerpo del tanque:

$$W_s = \pi * 12 * 10,34 * 0,005 * 7.850$$

$$W_s = 15.299,99 \text{ Kg}$$

#### - Compresión del cuerpo

La fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo, permite determinar si la estructura del tanque requiere o no ser anclado y se establece de acuerdo a estas dos condicionantes:

Si:

$$\frac{M}{D^2 * (W_t + W_s)} \leq 1,57$$

El tanque de almacenamiento no requiere sistema de anclaje.

Si:

$$\frac{M}{D^2 * (W_t + W_s)} > 1,57$$

El tanque de almacenamiento requiere del sistema de anclaje.

Donde:

$M = 985.561,46$  Kg-m (Momento de volteo).

$D = 12 \text{ m}$  (Diámetro del tanque).

$W_s = 15.299,92 \text{ Kg}$  (Peso total del cuerpo).

$W_r = 3594,92 \text{ Kg}$  (Peso total del techo).

Remplazando tenemos:

$$\frac{985.561,46}{12^2 * (15.299,92 + 3.594,92)} = 0,36$$

$$0,36 < 1,57$$

Considerando este criterio se determina que el tanque de almacenamiento no requiere anclaje.

Con la siguiente ecuación se calculará la fuerza máxima de compresión en el fondo del tanque:

$$b = W_t + 1.273 \frac{M}{D^2}$$

Reemplazando se tiene:

$$b = (15.299,92 + 3.594,92) + 1,273 * \frac{985.561,46}{12^2}$$

$$b = 27.607,55 \text{ kg/m}$$

### 3.5. DISEÑO DEL TECHO DEL TANQUE

Para el diseño del techo del tanque se selecciona el tipo de techo Flotante Interno debido a las grandes ventajas técnicas y económicas ofreciendo; seguridad, efectividad para el almacenamiento de fluidos volátiles como viene siendo el Etanol Anhidro.

Los techos flotantes internos son diseñados para reducir las pérdidas por evaporación, de productos como hidrocarburos, gasolinas y derivados y limitar los ambientes explosivos, consta de dos partes principales:

- Cubierta Interna Flotante (según API 650, Apéndice "H").
- Domo Geodésico de Aluminio (según API 650, Apéndice "G").

### 3.5.1. Cubierta interna flotante

La Membrana Flotante Interno o Cubierta Interna Flotante debe estar diseñado y construido para flotar y descansar en un plano horizontal uniforme (no se requiere pendiente de drenaje).

Se seleccionará el tipo y material de la cubierta interna flotante de acuerdo con los siguientes parámetros:

**Tabla No 3 - 10. Parámetros de selección**

Descripción	Valor
Servicio del producto propuesto	Etanol Anhidro
Cumplimiento Normativo	Ley 1098 de 15 de septiembre de 2018
Vida útil esperada	15 años
Temperatura ambiente	11 °C
Temperatura máxima de diseño	40 °C
Presión de vapor del producto	0,844 Psia a 20 °C

Fuente: Elaboración Propia

El material de la membrana flotante debe regirse por compatibilidad con el líquido especificado (Etanol Anhidro), y de acuerdo con los parámetros señalados en el anexo H del API 650, se selecciona el aluminio por lo cual será, techo flotante de aluminio IFR2000 del tipo pontones tubulares.

**Figura No 3 - 6. Instalación de la membrana flotante**



Fuente: Informe Técnico para Tanques de Aluminio 1096.

### 3.5.1.1. Diseño de la cubierta interno flotante

La Cubierta Interna Flotante y sus accesorios deben diseñarse y construirse para permitir que el techo funcione durante su recorrido normal sin atención manual y sin dañar ningún accesorio (excepto por el desgaste normal), de acuerdo con la norma API 650 13ra edición, se deben considerar los siguientes puntos:

- Todas las uniones en el techo flotante interno que están expuestas al vapor o líquido del producto deben ser herméticas al vapor.
- El techo debe ser diseñado para permitir flotar hasta la altura máxima de operación y retornar al nivel bajo del líquido sin dañar los accesorios del tanque.
- Todas las partes conductoras del techo flotante interno deberán estar interconectadas eléctricamente y unidas a la estructura exterior del tanque, mediante derivaciones de conexión eléctrica en el área del sello (un mínimo de cuatro, distribuidos uniformemente).
- La soldadura del techo debe ser FULL FILLET, por la parte superior.

Bajo estos criterios enunciados por la API 650 se procede a diseñar la cubierta flotante de aluminio.

#### - **Diámetro de la cubierta flotante**

El diámetro de la cubierta está en función al sello, por lo que el espacio requerido para la colocación del sello será de 200 mm.

Donde:

$D = 12$  m (Diámetro del cuerpo del tanque).

$H = 8,84$  m (Altura máximo de nivel de diseño del fluido).

$E_s = 200$  mm (Diámetro del sello)

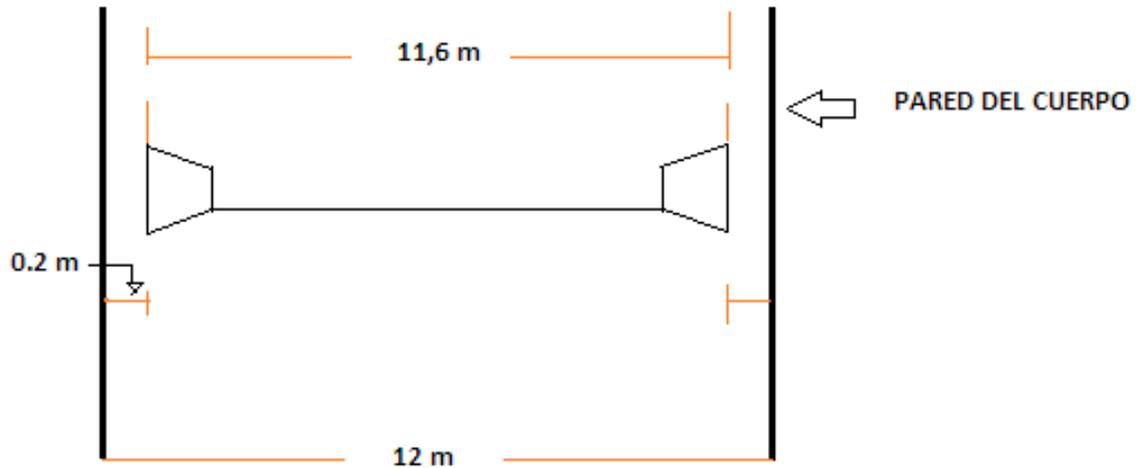
$$DI = D - 2E_s$$

$$DI = 12.000 - 2 * 200 = 11600 \text{ mm}$$

Por tanto:

DI = 11,6 m.

**Figura No 3 - 7 Esquema del techo flotante.**



Fuente: Elaboración Propia.

**- Calculo del espesor de la cubierta.**

De acuerdo a la norma API 650, las cubiertas de aluminio tendrán un espesor nominal de 1,2 mm, mediante este requerimiento determinamos el espesor:

$$t_h = t_c + CA$$

Donde:

$t_c = 5 \text{ mm}$  (Espesor de la lámina del ultimo anillo).

$CA = 1,0063$  (Factor de corrosión).

Remplazando:

$$t_h = 1,51 + 1,0063 = 2,52$$

$$t_h = 2,52 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$$

Diseñar la membrana con el 58,5 % más gruesa de lo especificado brinda mayor resistencia a cargas puntuales superiores a 2000 lb.

Por tanto, la cubierta estará formada por láminas continua en bobina 4 mm de espesor, 2500 mm de ancho, aleación 3003 H14, fabricado según especificaciones y tolerancias indicadas en ASTM B - 209, unidas mediante la sobre posición de dos secciones de perfil complementarios, que producen un sello hermético metal mediante el apriete con tornillos autoroscantes de acero inoxidable.

**- Dimensiones del pontón**

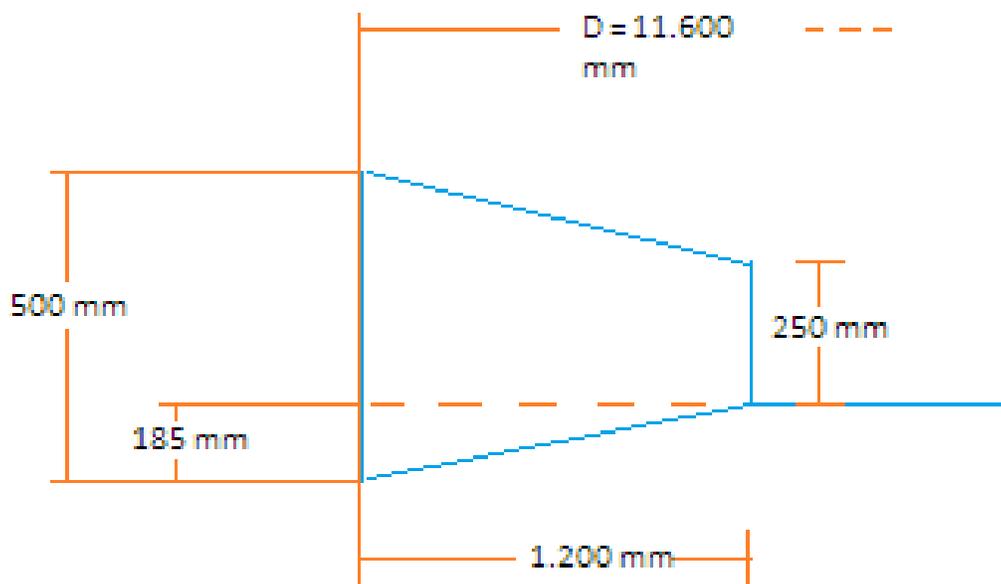
Según las dimensiones del cuerpo del tanque se considera un tanque de pequeño por lo que las dimensiones del pontón son los siguientes:

**Tabla No 3 - 11 Dimensiones del pontón**

Descripción		Valor
Altura del anillo exterior	L1	500 mm
Altura del anillo inferior	L2	250 mm
Ancho del pontón	A	1.200 mm
Profundidad de flotación	C	185 mm

Fuente: Elaboración propia

**Figura No 3 - 8 Dimensiones del pontón**



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5.1.2. Partes de la cubierta flotante.

**Tabla No 3 - 12 Partes de la cubierta flotante**

<b>PARTES DEL TECHO FLOTANTE</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Flotadores Tubulares Herméticos</b>	Son tubos de 10 pulg de diámetro, 0.064pulg (1.625mm) de espesor, longitud de 13 pies (4 m), aleación 3004 H26, tapas 5052 H34. Colocados en la zona central de la cubierta y en la periferia unidos al anillo perimetral, están diseñados para que soporte al menos dos veces el peso muerto de la cubierta.
<b>Anillo Perimetral</b>	Está diseñado para soportar el peso muerto del sello y sus accesorios y la carga de diseño de 1000 kg puntuales, los bordes inferiores son doblados un ángulo de 45°, fabricado en lámina de 3mm espesor, 2370 mm de longitud y una aleación 5052 H34 (Aleación marina). El anillo perimetral forma un faldón que penetra en el producto como mínimo 4 pulgadas, para producir un sello positivo hidráulico a los vapores almacenados.
<b>Sellos Periféricos</b>	Abarca el espacio anular entre la plataforma del techo flotante y el armazon, todos los sellos periféricos y su fijación al techo flotante deben estar diseñados para acomodar $\pm 100$ mm ( $\pm 4$ pulgadas) de desviación local entre el techo flotante y el armazón. El tipo de sello es zapata metálica de acero inoxidable 304 calibre 18 (1/20pulg), con barrera de vapor de teflón laminado de 0.014 pulg de espesor con capacidad de absorción de +/- 5 pulg de deformación de pared.
<b>Sillas de flotador</b>	El apoyo de las correas sobre los flotadores se hace mediante el uso de una silla semicircular, que distribuye la fuerza en un área mayor de la pared del flotador. Esta silla evita que la pared del flotador pueda abollarse debido a una carga puntual muy grande sobre el flotador. Se utiliza una silla rígida de 4-pulgadas de ancho, aleación 5052 H34 la silla se monta y se ajusta con la abrazadera y realiza una conexión de la viga y pontón que distribuye las cargas desde el haz de abrazadera más de 100 grados del arco del pontón.

<b>PARTES DEL TECHO FLOTANTE</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Válvulas Rompe Vacío</b>	<p>Cada cubierta será provista de válvulas rompe vacíos para aliviar el flujo de aire durante el proceso de llenado y vaciado del tanque, mientras la cubierta se encuentre apoyada sobre sus patas.</p> <p>Cada válvula tiene una capacidad de hasta 5000 barriles por hora, y la cantidad está en función a la rata de llenado y vaciado del tanque. La operación de las válvulas es completamente automática y no requiere operación alguna. La tapa de la válvula está conectada a un tubo de aluminio que la levantará cuando la cubierta se acerque al piso del tanque. La apertura de esta válvula será de aproximadamente 6 pulgadas.</p>
<b>Patas Ajustables</b>	<p>Tienen la forma tubular cuadrado de 1 ¾ pulgadas x 1 ¾ pulgadas, 6063 T5, con espesor de pared de 1.5 mm y orejas de unión de flotadores con junta pivotante. Las patas tienen una altura máxima de 2.03 metros y son diseñadas para soportar una carga puntual, equivalente a 454 kilogramos (1000 libras) de compresión.</p>
<b>Cable de Aterramiento</b>	<p>La cantidad de cables están en función a la resistividad del material y las propiedades de la conexión y la longitud del tanque. Los cables de aterramiento son de acero inoxidable, diámetro 1/8 pulgadas, fabricado en aleación 18 - 8 (18 Cromo – 8 Níquel) con una resistividad eléctrica estimada de 0.030 ohm/ft.</p>
<b>Cable Anti-rotacion</b>	<p>Se proporcionará de un cable centrado de sellos, para que el techo flotante interno este centrado y restringido para que no gire, será fijado al techo y al piso del tanque mediante orejas soldadas, y tensados para disminuir los desplazamientos debidos a fuerzas perpendiculares al cable, este cable tendra un diametro de ¼ pulgadas, de acero inoxidable aleación comercial 18– 8 (18 Cromo – 8 Níquel) y una longitud de 10,34 m.</p>

Fuente: Elaboración propia en base al API STANDARD 650 13th Edition.

### 3.5.1.3. Accesorios y aperturas

#### - Escalera

Se proporcionará una plataforma de aterrizaje de escalera en el techo flotante, esta se instalará dentro de un pozo de registro de techo fijo, esta debe ser diseñada para permitir el recorrido completo del techo flotante interno independientemente de cualquier asentamiento de los soportes del techo.

#### - Ventilaciones

La ventilación de alivio de presión evita el sobreesfuerzo de la plataforma del techo o la membrana de sellado, estos respiraderos están adecuados para evacuar el aire y los gases por debajo del techo de manera que el techo flotante interno no se levante y pueda apoyarse sobre sus soportes durante las operaciones de llenado, hasta que flote sobre el líquido almacenado.

Los respiraderos también están adecuados para liberar cualquier vacío generado debajo del techo después de que se asiente sobre sus soportes durante las operaciones de vaciado para limitar la presión externa del techo flotante.

#### - Dispositivo indicador de nivel del líquido

Se dispondrá de dispositivos de alarma apropiados para indicar un aumento del líquido en el tanque a un nivel por encima de la protección normal y de sobrellenado.

Los instrumentos necesarios para el control del nivel de producto almacenado en el tanque son los siguientes:

- **Interruptor de nivel:** Se lo utiliza para mantener un control del nivel del producto, los interruptores a utilizar son Nivel alto 3/4" máx. 2A/24Vdc, 15 PSI. Estos interruptores previenen situaciones como rebosamiento de producto o nivel de producto inferior al requerido para operaciones normales.

- **Medidor de nivel:** Se lo utiliza para mantener un registro histórico del nivel de producto almacenado, el medidor de nivel a utilizar será tipo radar para tanque de techo flotante con arreglo de antena fija de 8".

- **Registro del techo flotante**

Se diseñará una boca de inspección de cubierta de techo flotante interno para el acceso y la ventilación del tanque cuando el techo flotante esté sobre sus soportes y el tanque esté vacío. La boca de acceso según la norma API 650 13ra edición, debe tener una abertura nominal de 600 mm y debe estar provista de una tapa de boca de registro atornillada o asegurada y con empaquetadura. Bocas de visita de 24"x 24".

**Figura No 3 - 9. Entrada hombre**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL.

- **Corrosión indicador**

Se proporciona un medidor de corrosión para el techo flotante interno adyacente a la escalera para indicar la tasa de corrosión general.

- **Cajas de columna**

Todas las columnas y accesorios verticales del tanque que atraviesen la cubierta deberán ser provistos con cajas de retención de vapores, estas cajas tienen dimensiones de 24 pulg x 24 pulg

fabricadas en 5052 H34, lámina preformada de 0.05 pulg (1.2 mm) de espesor y ensamblados en sitio con barrera de vapor de nitrilo/vinilo.

Las cajas son provistas de unas tapas conformadas a la silueta de la columna o el accesorio, y cubierta con un sello elastomérico que cierra las ranuras entre la columna y la tapa. Las tapas tienen la libertad de deslizar sobre el borde superior de la caja, para absorber desviaciones o pérdida de verticalidad de las columnas sin perder la capacidad sellante''<sup>18</sup>

**Figura No 3 - 10. Tubos de instrumentación**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL.

#### **3.5.1.4. Calculo del peso total del techo flotante**

$$W_t = W_S + W_P + W_C + W_m + W_A$$

Donde:

$W_p$  = Peso del Pontón (Kg).

$W_S$  = Peso del Sello (Kg).

$W_C$  = Peso de la Plataforma (Kg).

$W_m$  = Peso de los mamparos (Kg).

$W_A$  = Peso total de los Accesorios (Kg).

##### **- Peso del sello**

Es sello tipo zapata tiene un peso aproximado de 10 Kg/m, por tanto, se deberá determinar el perímetro del cuerpo del tanque.

<sup>18</sup> API STANDARD 650 13th Edition, Welded Tanks for Oil Storage, march 2020.

Donde:

$$D = 12 \text{ m}$$

$$P = \pi * D$$

$$P = \pi * 12 = 37,69 \text{ m}$$

Por tanto:

$$W_s = 37,69 \text{ m} * \frac{10 \text{ Kg}}{1 \text{ m}}$$

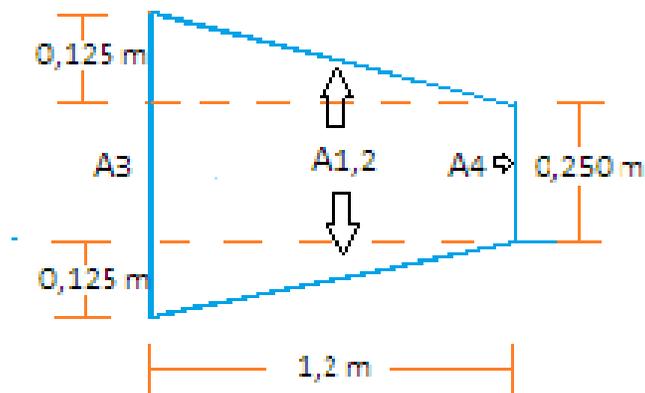
$$W_s = 377 \text{ Kg}$$

### - Peso del pontón

Donde:

p = Perímetro (m)

$$\rho_{\text{Aluminio}} = 2.700 \text{ Kg/m}^3$$



$$W_P = V_P * \rho_{\text{Aluminio}}$$

$$V_P = (A_{1,2} + A_3 + A_4) * p$$

$$V_T = (2(1,21 * 0,005) + 0,5 * 0,005 + 0,250 * 0,005) * \pi * 11,6$$

$$V_T = 0,6 \text{ m}^3$$

Reemplazando tenemos:

$$W_p = 0,6 * 2.700$$

$$W_p = 1.620 \text{ Kg}$$

- **Peso de la plataforma**

Donde:

$$d = 9,2 \text{ m}$$

$$e = 0,005 \text{ m}$$

$$W_c = V_c * \rho_{\text{Aluminio}}$$

$$W_c = \left( \frac{\pi}{4} * 9,2^2 * 0,005 \right) * 2700$$

$$W_c = 897,43 \text{ Kg}$$

- **Peso de los mamparos**

Donde:

$$\text{Peso aproximado por fabrica} = 34,12 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de mamparos} = 10 \text{ unidades}$$

$$W_m = 10 * 34,12$$

$$W_c = 341,2 \text{ Kg}$$

- **Peso de los accesorios**

**Tabla No 3 - 13 Peso de los accesorios**

Descripción	Valor (Kg)
Soportes de Apoyo	608,5
Válvulas de Alivio de Presión	500
Boca de Hombre	1000
Venteos Presión/Vacío	1850
<b>Total</b>	<b>3.958,5</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Por tanto, tenemos:

$$W_A = 3.958,5 \text{ Kg}$$

Reemplazando tenemos:

$$W_t = 377 + 1.620 + 897,43 + 341,2 + 3.958,5$$

$$W_t = 7194,13 \text{ Kg} * 1,2$$

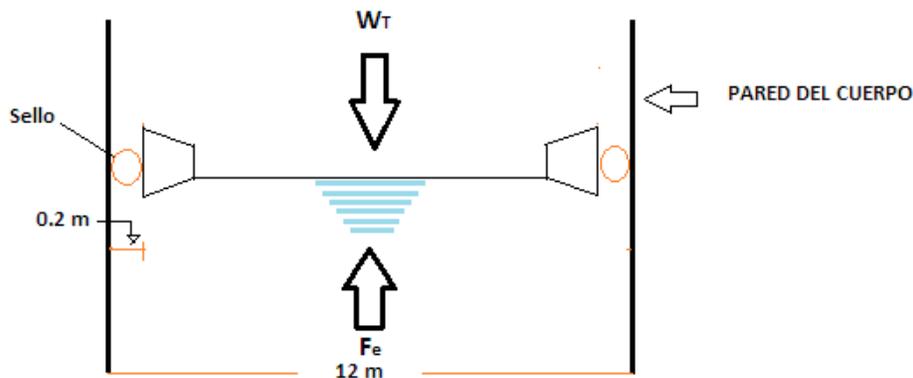
$$W_t = 8.632,956 \text{ Kg}$$

### 3.5.1.5. Parámetros de flotabilidad

El techo Flotante Interno deberá incluir la flotabilidad requerida para soportar al menos el doble de su peso muerto incluyendo el peso del sello y componentes adjuntos, más flotabilidad adicional para compensar la fricción calculada ejercida por los sellos periféricos y de penetración durante el llenado.<sup>19</sup>

Se diseña para sostener de manera segura al menos a dos hombres que caminan en cualquier lugar del techo mientras esta flotando con una carga aplicada de 2,2 kN (494,58 libras) sobre 0,1 m<sup>2</sup>.

**Figura No 3 - 11 Esquema de fuerzas que ejercen sobre la cubierta**



Fuente: Elaboración Propia.

#### - **Peso total del techo.**

Donde:

$$W_t = 8.632,96 \text{ Kg}$$

<sup>19</sup> API STANDARD 650 13th Edition, Welded Tanks for Oil Storage, march 2020.

$$G = 9,81 \text{ m/s}$$

$$W_T = W_t * G$$

$$W_T = 8.632,96 * 9,81$$

$$W_T = 84.689,3 \text{ N}$$

- **Fuerza de empuje.**

$$F_e = V_t * \rho_{Etanol} * G$$

Donde:

$$\rho_{Etanol} = 800 \text{ Kg/m}^3.$$

$$V_t = 28 \text{ m}^3 \text{ (Volumen de la cubierta flotantes).}$$

Reemplazando:

$$F_e = 28 * 800 * 9,81$$

$$F_e = 219.744 \text{ N}$$

La fuerza de empuje ejercida de la parte inferior debe ser mayor que la fuerza que ejerce el pontón superior, esto bajo el criterio de Arquímedes donde:

$$F_e \geq W_T$$

$$219.744 \text{ N} \geq 84.689,3 \text{ N}$$

La fuerza de empuje es aproximadamente tres veces mayor a la fuerza del pontón, por ende, esta estructura flotara.

- **Calculo de la profundidad de flotación:**

$$C_1 = \frac{2 * \left( \frac{W_t}{\rho_{Etanol}} - C_2 * \frac{\pi * D^2}{4} \right)}{\pi * B^2 * \left( \frac{D}{B} - 1 \right)}$$

Donde:

$B = 1,2 \text{ m}$  (Ancho del pontón).

$C_2 = 3 \text{ mm}$  (Profundidad de flotación establecido).

Reemplazando:

$$C_1 = \frac{2 * \left( \frac{8.632,956}{800} - 0.05 * \frac{\pi * 11,6^2}{4} \right)}{\pi * 1,2^2 * \left( \frac{11,6}{1,2} - 1 \right)}$$
$$C_1 = 0.28 \text{ m}$$

La profundidad de Flotación no sobrepasa la altura del pontón, lo que se considera estable.

### 3.5.2. Domo Geodésico de Aluminio

El tipo de techo seleccionado es Domo Geodésico de Aluminio, son diseñados, fabricados e instalados según la Norma, API 650 Apéndice “G”; y según las especificaciones locales, es una estructura prefabricada flexible y resistente utilizada como techo tridimensional y cubierta espacial de aluminio, formada por perfiles de ala ancha, cubierta con paneles triangulares, los cuales son asegurados mediante un sistema de fijación y sellado.

La estructura tendrá la forma de una semiesfera truncada, con un radio máximo de 1.2 veces el diámetro del tanque y un radio mínimo de 0.7 veces el diámetro del tanque, los perfiles están unidos en sus extremos por platos o nodos, y son armados formando triángulos, la fijación de los perfiles a los platos se realiza mediante remaches estructurales ciegos.’’<sup>20</sup>

Los paneles triangulares se unen a la estructura, mediante la colocación de una platina empernada a los perfiles. La platina está provista con empaquetaduras que aseguran la hermeticidad de la superficie cubierta. Este tipo de unión es conocido como “Batten”, y una de sus características principales es los dobleces tipo “z” en el borde de las láminas, los cuales acoplan sobre cavidades especialmente hechas en la parte superior de cada perfil.’’<sup>20</sup>

<sup>20</sup> API STANDARD 650 13th Edition, Welded Tanks for Oil Storage, march 2020.

**Figura No 3 - 12. Paneles triangulares**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL.

Luego que los perfiles se unen entre sí y se cubre la estructura con los paneles, la parte superior (externa) de cada nodo y por consiguiente los remaches estructurales, es protegida con una tapa hecha también de aluminio y la cual es sellada con un material apropiado para asegurar la hermeticidad de la junta y del domo. La selección del material sellante se hace en completa compatibilidad con la aplicación. Uno de los materiales comúnmente utilizado es silicón, el cual mantiene su flexibilidad efectiva en un rango de -35 hasta 300°F, sin resquebrajarse, alongarse ni deformarse; siendo además resistente a la acción de los rayos ultravioletas.

El domo debe ser auto portante y estar apoyado sobre la periferia superior del tanque. agarrado mediante soldadura u orejas de fijación y pasadores de acero inoxidable que restringen los posibles movimientos del domo debidos a cualquier causa indicada en las normativas aplicables (viento, sismo, expansión térmica, etc.).

El diseño de la conexión entre el techo y el borde del tanque debe permitir la expansión térmica. Se utilizará un rango de temperatura mínima de  $\pm 70^{\circ} \text{C}$  ( $120^{\circ} \text{F}$ ) para el diseño, solo se deben usar sujetadores de acero inoxidable para unir aluminio al acero.’’<sup>21</sup>

<sup>21</sup> API STANDARD 650 13th Edition, Welded Tanks for Oil Storage, march 2020.

### 3.5.2.1. Peso total del techo domo geodésico del tanque Wr.

Para el cálculo del peso del techo tomamos como referencia el diámetro del techo tipo domo geodésico que está en función al diámetro del cuerpo del tanque por tanto será:

$$D_t = 12,5 \text{ m}$$

$$r_t = 6,25 \text{ m (Radio de curvatura del techo).}$$

$$\rho_{al} = 2710 \text{ kg/m}^3 \text{ (Densidad del aluminio).}$$

El valor del peso del techo se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$W_r = A_r * t_r \rho_{al}$$

Donde:

$t_r$  = Espesor del techo (mm).

$A_r$  = Área del techo (m).

- Determinación del Área del techo.

Mediante la siguiente ecuación se halla el área total del techo:

$$A_r = \pi * r_t * \frac{(4h + s)}{2}$$

Donde:

$$r_t = 6,25 \text{ m}$$

$h$  = Altura del techo (m).

$s$  = Diámetro superficial del techo (m).

El diámetro superficial del tanque se obtiene de la siguiente ecuación:

$$s = 2 * r * \text{sen} \frac{\alpha}{2}$$

$$s = 2 * 6,25 * \text{sen} \frac{90}{2}$$

$$s = 10,64 \text{ m}$$

La altura del techo se determina con la siguiente ecuación:

$$h = r \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$h = 6,25 \left(1 - \cos \frac{90}{2}\right)$$

$$h = 2,97 \text{ m}$$

Remplazando a la ecuación del área total del techo se tiene:

$$A_r = \pi * 6,25 * \frac{(4 * 2,97 + 10,64)}{2}$$

$$A_r = 221,09 \text{ m}^2$$

Teniendo el valor del área del techo se obtiene el valor del peso del techo con la siguiente fórmula:

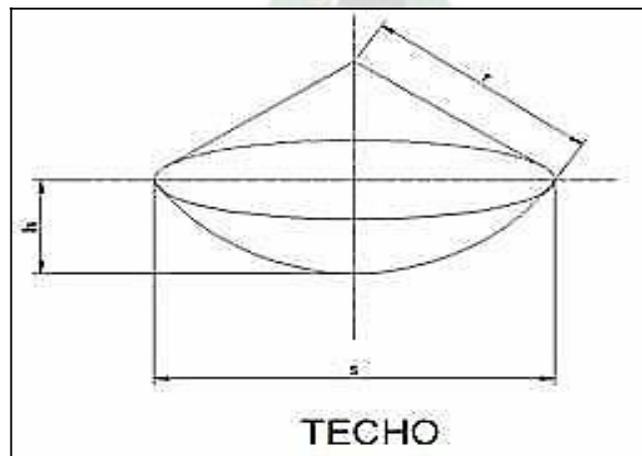
$$W_r = A_r * t_r \rho_{al}$$

$$W_r = 221,09 * 0,006 * 2710$$

$$W_r = 3594,92 \text{ Kg}$$

El espesor mínimo requerido del techo según la norma API 12D es de 6mm. Se tienen los siguientes datos para el cálculo del peso del techo:

**Figura No 3 - 13. Segmento circular**



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5.2.1. Partes de un domo geodésico

Tabla No 3 - 14 Partes de un domo geodésico

<b>PARTES DE UN DOMO GEODÉSICO DE ALUMINIO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Vigas Estructurales</b>	Cada viga es cortada y perforada en el taller para su perfecta colocación, las exigentes tolerancias de fabricación utilizadas permiten la instalación de manera sencilla y sin problemas de ajuste en sitio. En el domo pueden encontrarse varias secciones, seleccionadas en función de las cargas a que estará sometida cada sección en particular. Esto permite una estructura más eficiente desde el punto de vista de peso y resistencia.
<b>Platos de Unión de Vigas</b>	Lámina cortada de 3/8" o mayor de espesor fabricada en aluminio aleación, preformada y perforada para el acople de las vigas. Cada unión llevará una plancha en la parte superior y una en la parte inferior de la viga, suministrando la inercia suficiente para garantizar la resistencia de la unión. En cada nodo se diseña la cantidad de pernos o remaches necesarios para asegurar la resistencia de la unión por aplastamiento, así se despreja el efecto de fricción lo que produce un factor de seguridad superior.
<b>Remaches Estructurales</b>	La tornillería deberá ser fabricada de Aluminio, aleación de acero inoxidable, los diámetros y resistencia mecánica de los tornillos deberán ser verificados por el fabricante.
<b>Soporte de Patas del Domo</b>	Son extrusiones de aluminio diseñadas para transmitir las cargas externas a las que está sometido el domo, son de tipo fijo, utilizan bases de acero inoxidable soldadas o empernadas a la pared del tanque, el contacto aluminio y acero al carbono es cuidadosamente aislado para evitar problemas de corrosión galvánica. Las zapatas fijas utilizan parte de la pared del tanque como soporte de la estructura del domo, por lo general se utilizan en domos de diámetros grandes.

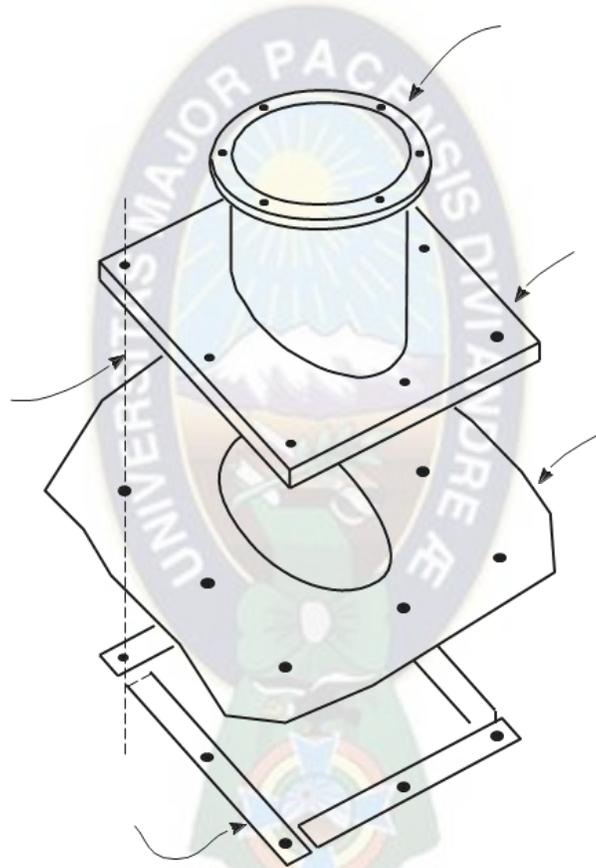
<b>PARTES DE UN DOMO GEODÉSICO DE ALUMINIO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Accesorios de paso de Tuberías</b>	<p>Se utilizan camisas de compuestos de silicona, para cerrar la apertura por donde penetre la tubería a través del domo geodésico, estas camisas proveen un cierre hermético en la apertura, evitando las filtraciones de agua de lluvia en las ranuras del corte del panel.</p> <p>La flexibilidad de estas camisas permite una mayor durabilidad especialmente al efecto de la dilatación térmica.</p>
<b>Panales de Tragaluz</b>	<p>Los paneles de tragaluz son elementos que sustituyen un panel, y proveen de iluminación natural el interior del tanque durante el mantenimiento, limpieza del tanque e inspección visual, de la cubierta interna flotante o techo flotante bajo el domo.</p> <p>Los paneles del tragaluz deben ser de acrílico transparente o policarbonato con un espesor nominal mínimo de 6 mm (0,25 pulg.).</p>
<b>Conexión a tierra eléctrica</b>	<p>El techo de la cúpula de aluminio debe estar interconectado eléctricamente y adherido a la carcasa o borde del tanque de acero, instaladas por conductores de cable de acero inoxidable de 18-8 de 1/8 pulg de diámetro en cada tercer punto de soporte. La elección del cable debe tener en cuenta la fuerza, la resistencia a la corrosión, la conductividad, la confiabilidad de la unión, la flexibilidad y la vida útil.</p>
<b>Cabina de aforo</b>	<p>Cuenta con su respectiva plataforma y escaleras de aluminio, así como también una escotilla de 24"X 24" para la inspección y acceso a escaleras internas.</p>
<b>Elementos Sellantes y Empaques</b>	<p>Todos los sellos son compuestos de silicón, la flexibilidad efectiva se mantiene en un rango de 80 hasta 300 °F, sin resquebrajarse o deformarse. Este compuesto es compatible con el producto almacenado (Etanol Anhídrido) y resistentes a la acción de los rayos ultravioletas. Es importante notar que el uso de elementos sellantes está reducida a los casos donde la unión a ser sellada está firmemente sujeta con tornillos.</p>

Fuente: Elaboración propia en base al a la normativa API STANDARD 650 13th Edition.

### - Boquillas de techo

Las boquillas del techo y las escotillas de medición deben estar bridadas en la base y atornilladas a los paneles del techo con una placa de refuerzo de aluminio en la parte inferior de los paneles. El eje de una boquilla o trampa de medición será vertical. Las bridas de aluminio se pueden atornillar directamente al panel del techo, con la junta sellada con sellador.

**Figura No 3 - 14. Boquilla de techo típica**



Fuente: Revista Tecnológica ESPOL.

### - El venteo perimetral

Es una rejilla colocada en todo el perímetro del domo, para proveer ventilación necesaria en el interior del tanque de la según la normativa API-650 Apéndice G. Esta rejilla está orientada para evitar la entrada de agua de lluvia y la entrada de pájaros al interior del tanque.

- **Válvula de venteo atmosférico central**

Es un elemento tubular colocado en la cima del domo, con la finalidad de servir de escape a vapores que puedan concentrarse en la zona superior del domo debido a la concavidad de este. El venteo central tiene protectores contra pájaros y capucha contra la lluvia.

**Figura No 3 - 15 Válvula de venteo central**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL

- **Entrada de hombre**

También llamada boca de visita, permiten el acceso a la parte interior del tanque y la inspección visual de la cubierta interna desde el domo geodésico, será provista con una plataforma de acceso al área del tubo de aforo y a la posición de la escalera vertical.

**Figura No 3 - 16 Entrada de inspección**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL.

### 3.5.3. Seguridad en la construcción y mantenimiento

El Domo Geodésico y la Cubierta Interna en Aluminio traen consigo un beneficio en cuanto a la seguridad en la construcción y en el mantenimiento, pues en promedio se estaría disminuyendo el peso manipulado a tan solo un 13% de su equivalente en acero.

El hecho de no requerir trabajos de soldadura para el armado del domo y la cubierta elimina otra fuente importante de riesgos y disminuye sustancialmente la necesidad de permisos para trabajos en caliente. A continuación, se presenta en la figura No 3 – 30 el proceso de armado de estructuras de aluminio, en el cual no intervienen equipos de carga pesada como grúas por lo liviano de las piezas.

**Figura No 3 - 17. Proceso de armado de estructuras de aluminio**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL.

#### 3.5.3.1. Mantenimiento de las estructuras

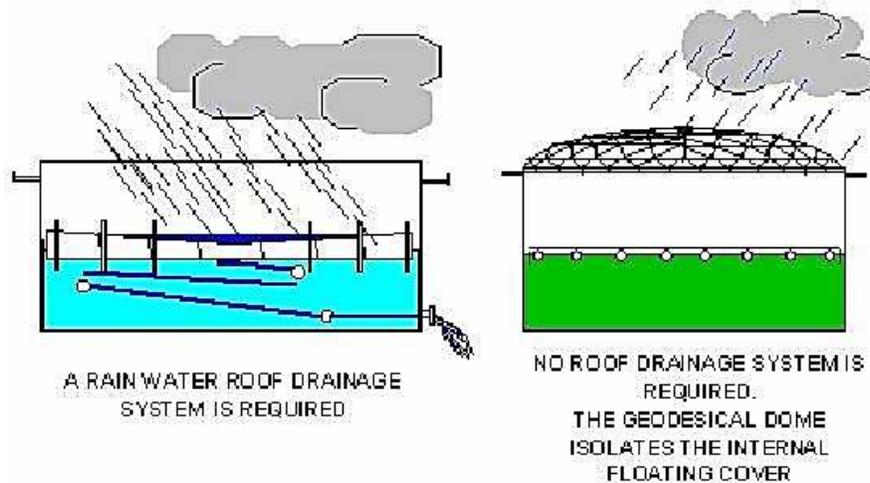
Los domos geodésicos y las cubiertas internas de aluminio introducen gran ventaja desde el punto de vista de mantenibilidad de los tanques, pues el aluminio y sus aleaciones han demostrado una altísima resistencia a la corrosión, aun en lugares de reconocida agresividad ambiental.

El domo geodésico de aluminio es una estructura auto soportada que va únicamente apoyada en la periferia sobre el ángulo de tope, con lo cual se eliminan todas las columnas y por ende las cargas.

En este sentido el material de relleno no estará sometido a este tipo de cargas y en consecuencia

se pueden admitir asentamientos superiores, pues los radios de las depresiones se incrementan, trayendo consigo ahorros significativos en la reparación de fundaciones.

**Figura No 3 - 18. Tanques de techo flotante de acero vs domo geodésico**



Fuente: Informe Técnico para Tanques de Aluminio 1096.

Los tanques de techo flotantes externo de acero están expuestos a las inclemencias del medio ambiente, lo cual deteriora la pintura, además de requerir de sistemas de drenaje en el techo para el agua de lluvia. Con las nuevas tecnologías se minimizan los costos de mantenimiento.

### **3.5.3.2. Control de mermas o por evaporación**

Las pérdidas por evaporación son fundamentalmente ocasionados en las operaciones de llenado y vaciado (perdidas por movimiento), por ejemplo en tanques de techo fijo durante el llenado los vapores en el espacio libre del interior son desalojados al ambiente y luego con el vaciado se succiona aire fresco hacia el interior del tanque, proporcionando evaporación, sin embargo los techos con cubierta flotante al estar en contacto con el producto elimina la superficie libre del líquido evitando la evaporación.

Mediante el reporte de la EPA No. AP-42, establece que el uso de cubiertas internas flotantes en tanques de techo fijo las mermas serían en promedio 95% menores. Esto representa un ahorro apreciable del producto que se está disipando en la atmósfera.

### 3.6. CÁLCULO POR SISMO Y VIENTO

Uno de los factores más importantes que se debe tomar en cuenta para el diseño de un tanque de almacenamiento son los movimientos telúricos, estos movimientos provocan dos tipos de reacciones:

- Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno, el líquido que contiene el recipiente se mueve al unísono con el cuerpo del tanque.
- Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del líquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

El movimiento lateral de las masas genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, ocasionando la inestabilidad del conjunto, originando un momento de volcadura, produciendo una compresión longitudinal y deformación del cuerpo por lo que el tanque será diseñado para resistir este fenómeno.<sup>22</sup>

#### 3.6.1. Momento de volteo

De acuerdo con la Norma API - Apéndice E, se determina el momento de volteo mediante la siguiente expresión:

$$M = ZI(C_1W_sX_s + C_1W_rH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Donde:

M= Momento de volteo (kg-m).

Z= Factor de zona sísmica.

I= Factor de importancia = 1

C1, C2= Coeficiente de fuerza lateral sísmica.

Ws= Peso total del cuerpo del tanque (Kg).

Xs= Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centro de gravedad de este (m).

<sup>22</sup> API STANDARD 650 13th Edition, Welded Tanks for Oil Storage, march 2020.

$W_r$  = Peso total del techo del tanque más una carga viva especificada (Kg.)

$H_t$  = Altura total del cuerpo del tanque (m).

$W_1$  = Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unísono con el cuerpo del tanque (Kg).

$X_1$  = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a  $W_1$  (m).

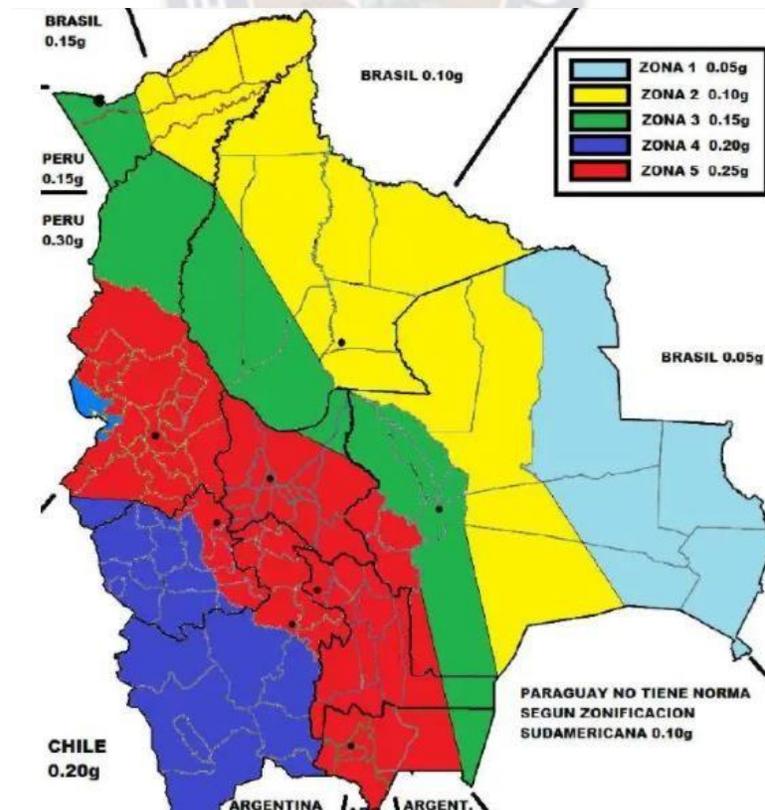
$W_2$  = Peso efectivo de la masa contenida por el tanque que se mueve en el primer oleaje (Kg).

$X_2$  = Altura desde el fondo del tanque al centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada a  $W_2$  (m).

- **Factor de zona sísmica Z**

El valor de Z para el cálculo será de 0,25 ya que la Planta Senkata se encuentra en una zona calificada como 5 según el siguiente gráfico:

**Figura No 3 - 19 Identificación de zonas sísmicas en Bolivia.**



Fuente: Manual de Diseño Sísmico para Bolivia.

**Tabla No 3 - 15. Valores del factor Z en función de la zona sísmica**

Zona Sísmica	Valor factor Z
I	0,05
II	0,10
III	0,15
IV	0,20
V	0,25

Fuente: Manual de Diseño Sismo resistente para Bolivia.

Por lo tanto:

$$Z = 0,25$$

- **Factor de zona importancia I**

Generalmente el factor de importancia será 1 para todos los tanques excepto cuando un incremento en este factor es especificado.

$$I = 1$$

- **Masa efectiva contenida en el tanque  $W_1$  y  $W_2$ .**

Para determinar las masas efectivas es necesario determinar el peso total del fluido del tanque  $W_T$ , mediante la siguiente formula:

$$W_T = \rho_f * V$$

Donde:

$\rho_f = 800 \text{ kg/m}^3$  (Densidad del fluido).

$V_n = 900 \text{ m}^3$  (Volumen del cuerpo del tanque).

Reemplazando en la fórmula se obtiene:

$$W_T = 800 * 900$$

$$W_T = 720.000 \text{ Kg}$$

También se halla la relación D/H:

$D = 12$  m (Diámetro nominal del tanque).

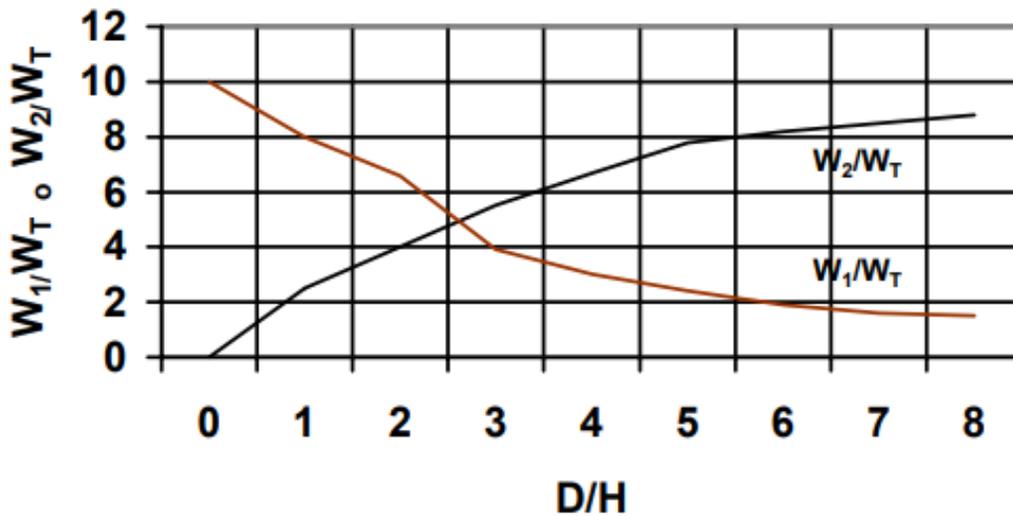
$H = 8,84$  m (Nivel de diseño del líquido).

$$\frac{D}{H} = \frac{12}{8,84}$$

$$\frac{D}{H} = 1,36 \text{ m}$$

Las masas efectivas  $W_1$  y  $W_2$  se determinarán multiplicando  $W_T$  por las relaciones  $W_1/W_T$  y  $W_2/W_T$  respectivamente obtenidas de la Figura No 3 - 35 y de la relación D/H.

**Figura No 3 - 20. Masa efectiva**



Fuente: Libro GPSA 2016 – ENGINEERING DATA BOOK – SECTION 6

Utilizando la figura 3 – 35 se obtiene:

$$\frac{W_1}{W_T} = 8,35$$

$$W_1 = 8,35 * 720.000 = 6.012.000 \text{ Kg}$$

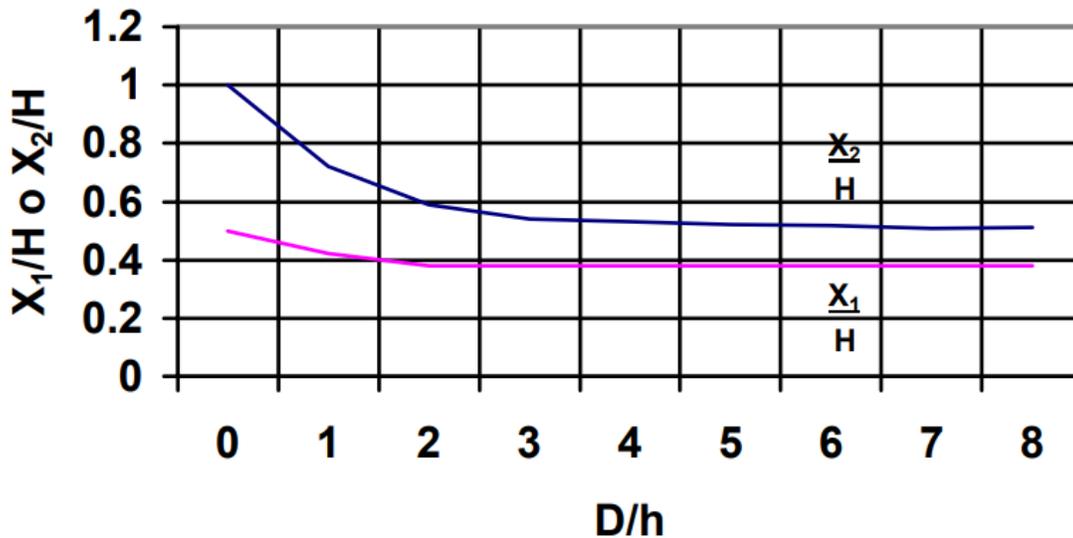
$$\frac{W_2}{W_T} = 2$$

$$W_2 = 2 * 720.000 = 1.440.000 \text{ Kg}$$

- **Centroide de fuerza sísmica  $X_1$  y  $X_2$ .**

La fuerza sísmica centroide se determina mediante las alturas desde el fondo del tanque a los centroide de las fuerzas sísmicas laterales, se obtiene de la Figura No 3 - 36 y de la relación  $D/H$ .

**Figura No 3 - 21. Centroide de la fuerza sísmica**



Fuente: Libro GPSA 2016 – ENGINEERING DATA BOOK – SECTION 6

Utilizando la figura 3.36 se obtiene:

$$\frac{D}{H} = 1,36 \text{ m}$$

$$\frac{X_1}{H} = 0.24$$

$$X_1 = 0,24 * 8,84 = 2,12 \text{ m}$$

$$\frac{X_2}{H} = 0.80$$

$$X_2 = 0,80 * 8,84 = 7,07 \text{ m}$$

- **Centroide de gravedad total  $X_s$ .**

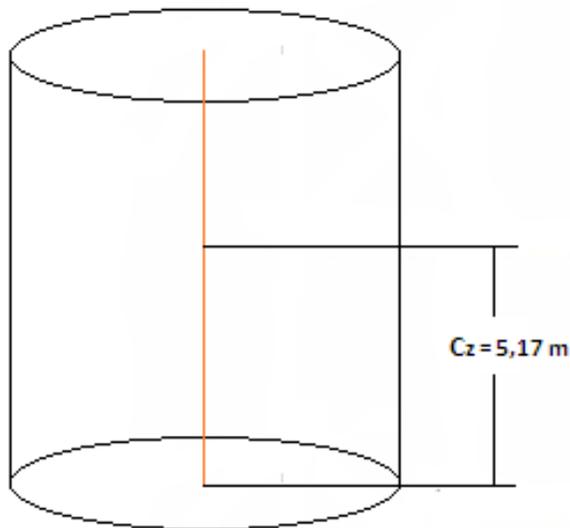
Se determina desde el fondo del cuerpo del tanque al centro de gravedad de este  $X_s$ , mediante la suma del centroide del tanque y techo.

- Cálculo del centroide del cuerpo:

Donde:

$H_T = 10,34$  m (altura total del cuerpo).

**Figura No 3 - 22. Centroide de cilindro**



Fuente: Elaboración Propia

Teniendo este valor se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_Z = \frac{H_T}{2} = \frac{10,34}{2}$$

$$C_Z = 5,17 \text{ m}$$

- Calculo del centroide del techo:

Para el cálculo del centroide del techo se necesitan los siguientes datos:

$r = 6,25$  m (radio de curvatura del techo).

$s = 10,64$  m (diámetro superficial del techo).

$h_1 = 1,485$  m (altura media del techo)

El área del segmento del techo será:

$$A = \frac{h_1}{6 * s} * (3 * h_1^2 + 4 * s^2)$$

$$A = \frac{1,485}{6 * 10,64} * (3 * 1,485^2 + 4 * 10,64^2)$$

$$A = 10,69 \text{ m}^2$$

El valor del centroide es:

$$y = \frac{s^3}{12 * A} = \frac{10,64^3}{12 * 10,69}$$

$$y = 9,39 \text{ m}$$

Con estos valores calculamos la altura respecto de la base del cuerpo:

$$C_Z * = H_t + h_1 - (r - y)$$

$$C_Z * = 10,34 + 1,485 - (6,25 - 9,39)$$

$$C_Z * = 14,96 \text{ m}$$

Sumando los valores de Cz y Cz\* se obtiene el valor de Xs.

Donde:

$W_s = 15.299,99 \text{ Kg}$  (Peso total del cuerpo del tanque).

$W_r = 3.594,92 \text{ Kg}$  (Peso total del techo).

$$X_S = \sqrt{\frac{(W_S * C_Z^2) + W_r * (C_Z^*)^2}{W_S + W_r}}$$

$$X_S = \sqrt{\frac{(15.299,99 * 5,17^2) + (3.594,92 * 14,96^2)}{15.299,99 + 3.594,92}}$$

$$X_S = 8,01 \text{ m}$$

- **Coefficiente de fuerzas laterales C1 y C2.**

Mediante un estándar establecido por la API 650, el coeficiente C1 de la fuerza lateral será de 0,24.

El coeficiente C2 de la fuerza lateral se determina en función del periodo natural T y las condiciones del terreno donde se sitúa el tanque.

- Periodo natural de la ondulación T.

El valor del período natural de ondulación está en función al factor K y el diámetro nominal del tanque con la siguiente fórmula:

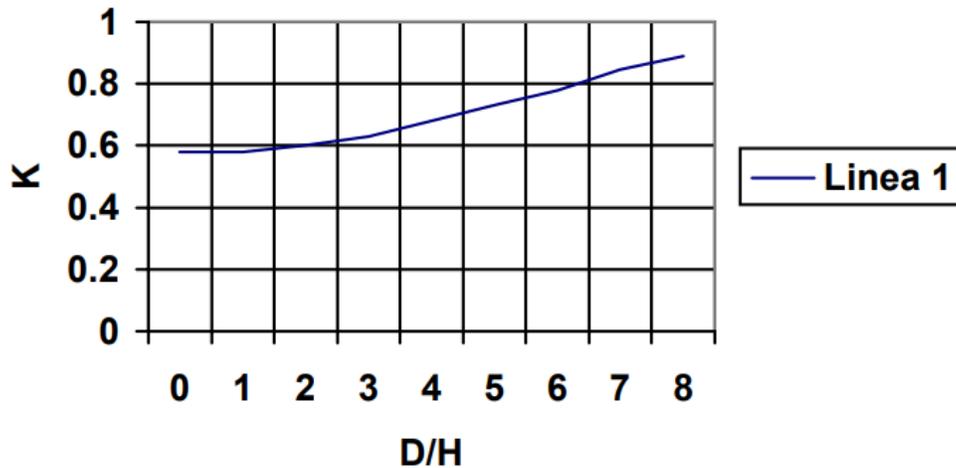
$$T = 1,8KD^{0,5}$$

Este factor K se determina en la Figura No 3 - 36 y la relación D/H.

La relación de diámetro-altura es:

$$\frac{D}{H} = \frac{12}{10,34} = 1,16$$

**Figura No 3 - 23. Valor del factor K**



Fuente: Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento inglesa.

Utilizando la figura 3-39 se obtiene:

$$K = 0,58$$

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$T = 1,8 * 0,58 * (12)^{0,5}$$

$$T = 3,62 \text{ s}$$

- Condiciones del terreno donde se sitúa el tanque.

Los terrenos se clasifican en tres tipos, de acuerdo a su rigidez.

**Tabla No 3 - 16. Factor de amplificación del lugar**

Tipo de Suelo	Característica	Factor de Ampliación
I	Suelo rígido (areniscas medianamente cementadas, arcilla compacta, etc.).	1
II	Suelo de mediana rigidez (arenas no cementadas, etc.)	1
III	Suelo flexible (arcillas blandas muy comprensibles, etc.).	1,5

Fuente: Fuente: Manual de Diseño Sismo resistente para Bolivia.

Para este caso el terreno es del tipo I, ya que en la planta se tienen terrenos establecidos y antes de la ejecución se procede a la cementación, por tanto, el factor de amplificación es  $S = 1$ .

Como los valores obtenidos se calcula el coeficiente de fuerza lateral  $C_2$ :

$$C_2 = 0,3 * \frac{S}{T}$$

$$C_2 = 0,3 * \frac{1}{3,62}$$

$$C_2 = 0,083$$

Con los valores descritos se procede al cálculo del momento de volteo del tanque:

$$M = ZI(C_1W_SX_S + C_1W_rH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

$$M = 0,25 * 1(0,24 * 15.299,99 * 8,01 + 0,24 * 3.594,92 * 10,34 + 0,24 * 6.012.000 * 2,12 + 0,083 * 1.440.000 * 7,07)$$

$$M = 985.561,46 \text{ Kg} - m$$

La estructura del tanque deberá resistir una fuerza de  $985.561,46 \text{ Kg} - m$  de carga lateral ya sea por sismo o viento, para poder determinar la estabilidad del tanque ante los factores sísmicos se calculara la resistencia al volteo.

### 3.6.2. Resistencia al volteo

La resistencia al momento de volcadura respecto del fondo del tanque podrá ser prevenido mediante anclaje, por eso es importante determinar si el tanque de almacenamiento necesita ser anclado o no, para esto se deben tomar estos dos criterios:

- El esfuerzo máximo de compresión en el fondo del cuerpo.
- La máxima compresión longitudinal permisible del cuerpo.

#### 3.6.2.1. Esfuerzo máximo de compresión en el fondo del cuerpo.

Mediante cálculos anteriores se determina que el tanque no requiere anclaje, por lo que la fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo se determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$b = W_t + 1.273 \frac{M}{D^2}$$

Donde

b = Fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo (Kg/m) en la circunferencia del cuerpo.

W<sub>t</sub> = Peso del cuerpo del tanque y la porción de techo soportado por el techo (Kg. Por metro de circunferencia del cuerpo).

M = Momento de volteo (Kg-m).

D = Diámetro nominal del tanque (m).

Para el cálculo se tienen los siguientes datos:

$$M = 985.561,46 \text{ Kg} - m$$

$$D = 12 \text{ m}$$

$$W_T = W_{cuerpo} + W_{techo}$$

$$W_T = 15.299,99 + 3.594,92$$

$$W_T = 18.894,91 \text{ Kg}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$b = W_T + 1,273 \frac{M}{D^2}$$

$$b = 18.894,91 + 1,273 \frac{985.561,46}{12^2}$$

$$b = 27.607,55 \text{ kg/m}$$

El esfuerzo máximo de compresión en el fondo del cuerpo es  $27.607,55 \text{ kg/m}$ , se considera el esfuerzo necesario para evitar que el cuerpo pueda comprimirse.

### 3.6.2.2. Compresión longitudinal máxima permisible del cuerpo.

El esfuerzo máximo de compresión longitudinal del tanque se determina de acuerdo a estos dos parámetros:

Si:

$$\frac{0.0002278GH D^2}{t^2} \geq 10^6$$

Entonces:

$$F_a = 170676000 \frac{t}{D}$$

Si:

$$\frac{0.0002278GH D^2}{t^2} < 10^6$$

$$F_a = 68270400 \frac{t}{D} + 1546\sqrt{GH}$$

Donde:

$t = 0,5 \text{ cm}$  (Espesor del anillo inferior del tanque).

$D = 1200 \text{ cm}$  (Diámetro del cuerpo).

$G = 0.8$  (Gravedad específica del fluido).

H = 1034 cm (Altura total del cuerpo).

Reemplazando en la fórmula:

$$\frac{0.0002278 * 0.8 * 1034 * 1200^2}{0.5^2} = 1,085 * 10^6$$
$$1,085 * 10^6 \geq 10^6$$

Por lo tanto, se usa la siguiente ecuación:

$$F_a = 170.676.000 \frac{t}{D}$$
$$F_a = 170.676.000 \frac{0.5}{1200}$$

$$F_a = 71.115 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo máximo de compresión longitudinal permisible ( $F_a$ ), nos ayudara a determinar si el tanque se considera estructuralmente estable, capaz de resistir un movimiento sísmico mediante la siguiente ecuación:

Si:

$$2.02333 \frac{b}{t} < F_a; \text{ entonces el tanque es estable}$$

$$2.02333 \frac{b}{t} \geq F_a; \text{ entonces el tanque es inestable}$$

Si se determina que el tanque es inestable se recomienda tomar las siguientes consideraciones:

- Reducir la relación de esbeltez, incrementado el diámetro y reduciendo la altura.
- Incrementar el espesor del cuerpo.
- Anclar el tanque.

Tenemos entonces:

$$b = 276,07 \text{ kg/cm}$$

t = 0.5 cm

$$2,02333 * \frac{276,07}{0.5} = 1.117,16 \text{ kg/cm}$$

$$1.117,16 \text{ kg/cm} < 71.115 \text{ kg/cm}$$

Por lo tanto, se considera que el tanque es estructuralmente estable.

### **3.7. SELECCIÓN DE ACCESORIOS DE INSTRUMENTACIÓN.**

Un tanque requiere varios tipos de accesorios que específicamente ayuden al funcionamiento adecuado y su respectivo mantenimiento, estos accesorios como podemos mencionar algunos de ellos como boquillas de entrada y salida del fluido almacenado, así como también boquillas para el drenaje del agua que se deposita en el techo por la lluvia, y otra boquilla para el drenaje en la parte inferior del tanque. Para la limpieza y mantenimiento se necesita una puerta de limpieza a nivel, además para la entrada del personal los llamados Manhole, y la escalera con su pasamano que nos ayuden a llegar a la parte superior del tanque.

Al colocar estos accesorios implica hacer perforaciones, soldaduras en el cuerpo del tanque, por lo cual se coloca planchas de refuerzo que cumplen con la norma API 650. El espesor mínimo de las planchas de refuerzo serán las mismas que el espesor del tanque.

Estos accesorios van unido al casco del tanque y se acoplan con tuberías, válvulas o simplemente van tapados con una puerta por medio de pernos, que son destapados el momento del mantenimiento.

Los principales accesorios del tanque utilizados los mencionaremos a continuación:

#### **3.7.1. Ingreso de producto**

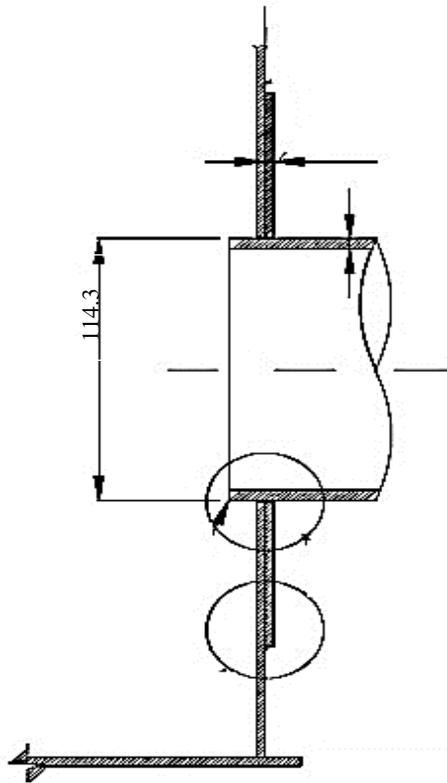
Una boquilla de entrada es un accesorio necesario que ayuda a la entrada del producto de almacenamiento en este caso el Etanol Anhidro, de acuerdo con las especificaciones de la norma API, se determinan las siguientes dimensiones:

**Tabla No 3 - 17. Dimensión de boca de entrada**

Cantidad	Descripción	Dimensión	Material
1	Placa	Espesor de 10 mm, 385x305	A-36
1	Tubo	Diámetro de 4" C-80x350	A-106-B
1	Brida	Diámetro de 4" C-80, 150 WN	A-105

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición.

**Figura No 3 - 24. Boca de entrada**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición.

### 3.7.2. Salida de producto

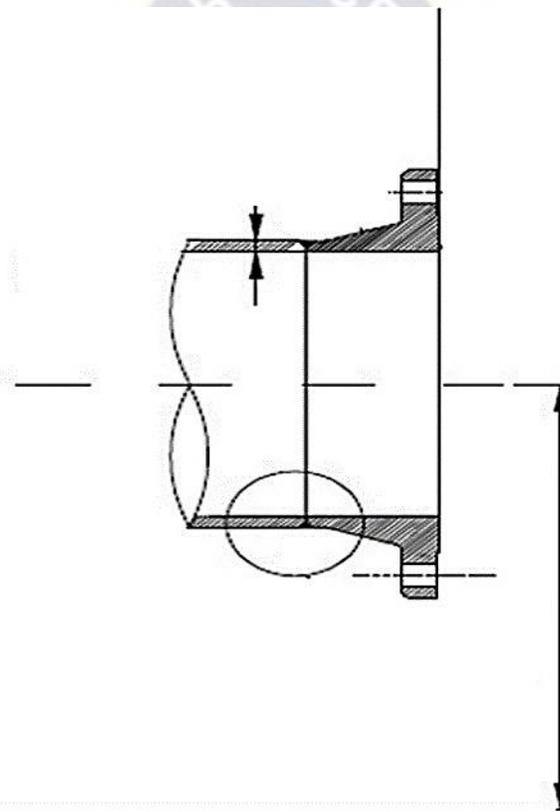
Una Boquillas de Salida es un accesorio necesario que ayuda a la salida del líquido almacenado, de acuerdo con las especificaciones de la norma API, se determinan las siguientes dimensiones:

**Tabla No 3 - 18. Dimensión de boca de salida**

Cantidad	Descripción	Dimensión	Material
1	Placa	Espesor de 10 mm, 385x305	A-36
1	Tubo	Diámetro de 4" C-80x350	A-106-B
1	Brida	Diámetro de 4" C-80, 150 WN	A-105

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición.

**Figura No 3 - 25. Dimensión de boca de salida**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición.

### 3.7.3. Entrada de limpieza

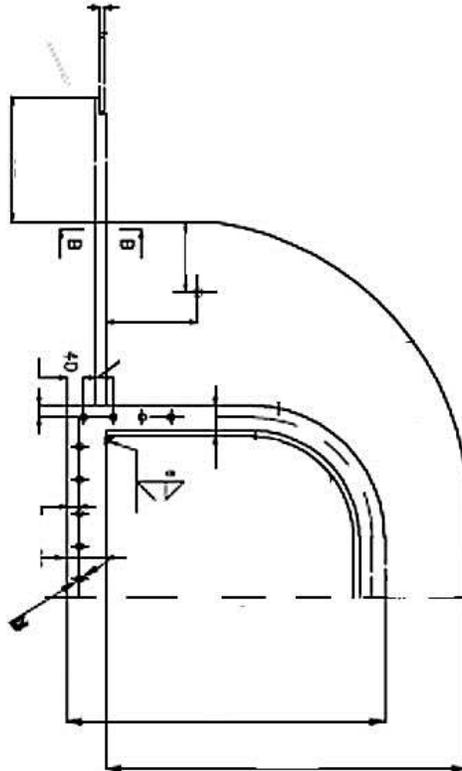
También denominado Clean Out, es una abertura que facilita el ingreso del personal y el equipo adecuado para el mantenimiento del tanque de almacenamiento, la evacuación de residuos en el fondo del tanque como pueden ser desechos impuros densos, lodo, agua, etc.

**Tabla No 3 - 19. Dimensión del Clean Out**

Cantidad	Descripción	Dimensión	Material
1	Placa	Espesor de 11 mm, 1828,6x914,4	A-36
1	Placa	Espesor de 12,7 mm, 155,3x1585	A-37
1	Placa	Espesor de 12,7 mm, 809x809	A-38
1	Placa	Espesor de 12,7 mm, 809x810	A-39
1	Placa	Espesor de 12,7 mm, 127x76,2	A-40
1	Placa	Espesor de 14,2 mm, 406x2730	A-41
36	Pernos	Diámetro de 19,05 mm x 79,4 W	
1	Empaque	3,18 X 812,5 X 7602	A-43

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición.

**Figura No 3 - 26. Dimensión del Clean Out**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición.

#### 3.7.4. Entrada hombre

La entrada de hombre (Manhole), es un acceso que se encuentra ubicado en el cuerpo del tanque muy cerca del fondo, permitiendo el ingreso desde el exterior hacia el interior del tanque, es un acceso muy útil para tarea de mantenimiento y limpieza facilitando el ingreso de herramientas e

insumos, además del ingreso de aire para disminuir la concentración de productos volátiles como el Etanol Anhidro.

El estándar API 650, figura 5.7<sup>a</sup> y tabla 5.6<sup>a</sup>, ha normalizado el diseño y dimensionamiento de estos accesos mostrados en la tabla a continuación:

**Tabla No 3 - 20. Espesores de entrada de hombre lateral**

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10
Max. Diseño Nivel de líquido m	Presión equivalente a kPa	Espesor mínimo de la placa de cubierta B (tC), mm				Espesor mínimo de la brida de empinado después Refinamiento B (tF), mm			
		Boca de 500 mm	Boca de 600 mm	Boca de 750 mm	Boca de 900 mm	Boca de 500 mm	Boca de 600 mm	Boca de 750 mm	Boca de 900 mm
5	49	8	10	12	13	6	7	9	10
6,5	64	10	11	13	15	7	8	10	12
8	78	11	12	14	17	8	9	11	14
9,5	93	12	13	16	18	9	10	13	15
11	108	12	14	17	20	9	11	14	17
13	128	13	15	18	21	10	12	15	18
16	157	15	17	20	23	12	14	17	20
19	186	16	18	22	26	13	15	19	23
23	225	18	20	24	28	15	17	21	25

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

**Tabla No 3 - 21. Grosor mínimo del cuello**

Espesor de la Cáscara (ta)	Grosor Mínimo del Cuello (tn)			
	Para diámetro de boca 500 mm	Para diámetro de boca 600 mm	Para diámetro de boca 750 mm	Para diámetro de boca 900 mm
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
8	6	6	8	8
10	6	6	8	10
11	6	6	8	10
12,5	6	6	8	10
14	6	6	8	10
16	6	6	8	10
18	6	6	8	10
19	6	6	8	10
21	8	6	8	10
22	10	8	8	10

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

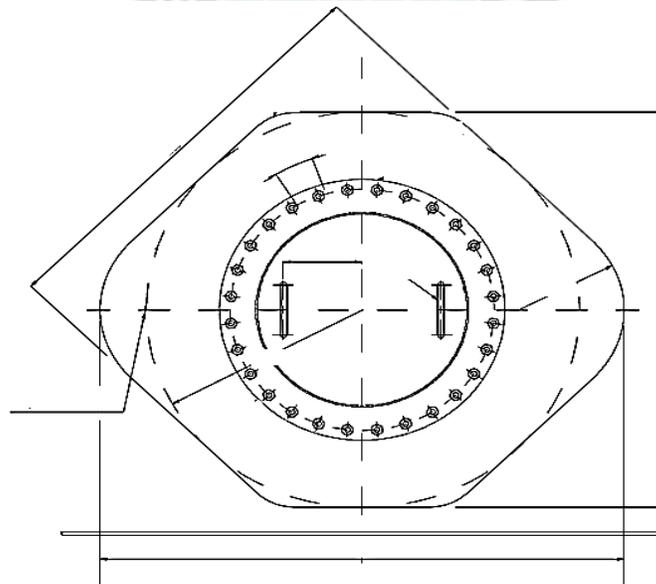
De acuerdo con los requisitos mínimos encontrados en la tabla anterior, a continuación, se muestran las dimensiones seleccionadas.

**Tabla No 3 - 22. Dimensión de entrada hombre lateral**

Descripción	Dimensión (mm)
Espesor de la placa	12
Espesor de la brida	10
Diámetro Interior de la boca	610
Diámetro del círculo de pernos	768
Diámetro de la tapa	832
Diámetro del refuerzo	1.520

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición

**Figura No 3 - 27. Entrada hombre lateral**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición

### 3.7.5. Sumidero

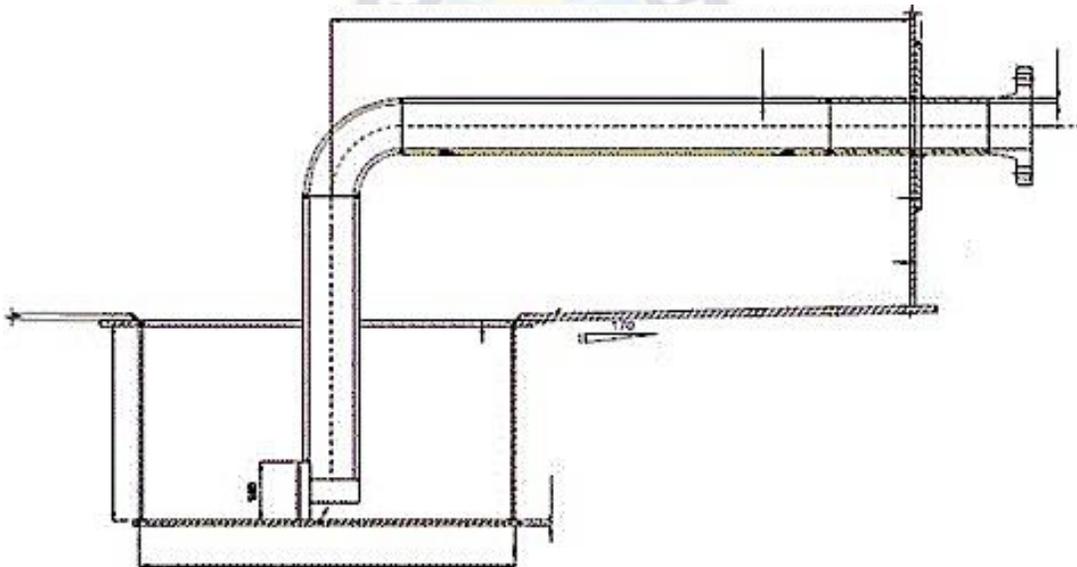
Es una abertura acoplada a una tubería que ayuda la evacuación de agua o residuos que están en la parte baja del tanque. Los sumideros de extracción de agua seleccionado de acuerdo con la norma API 650, punto 5.8.7, tabla 5.16<sup>a</sup>, será la tubería NPS 3, en la cual se detallan los parámetros requeridos en la siguiente tabla:

**Tabla No 3 - 23. Dimensiones para sumideros**

NPS	Diámetro del sumidero (mm)	Profundidad sumidero (mm)	Distancia centro tubo al casco (m)	Espesor de placas del sumidero	Mínimo espesor del tubo (mm)	Mínimo espesor del cuello (mm)
2	610	300	1,1	8	5,54	5,54
3	910	450	1,5	10	6,35	7,62
4	1220	600	2,1	10	6,35	8,56
6	1520	900	2,6	11	6,35	10,97

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

**Figura No 3 - 28. Dimensiones para sumideros**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de API STANDARD 650 13ra Edición

### 3.7.6. Escotilla para radar

La Escotilla de Medición proporciona acceso al tanque donde se requiere medición manual de nivel, medición de temperatura o muestreo. El pedal de seguridad le permite al operador abrir la tapa del medidor mientras permanece 'manos libres' para realizar la medición requerida.

Se lo utiliza para mantener un registro histórico del nivel de producto almacenado. El medidor de nivel a utilizar será tipo radar para tanque de techo flotante con arreglo de antena fija de 8".

### 3.7.7. Transmisor de presión

El Transmisor de presión para productos livianos es utilizado en combinación con el radar y sensor de temperatura para el análisis del nivel de líquido almacenado en el tanque, este debe tener la capacidad de comunicación con el radar.

**Figura No 3 - 29. Transmisor de presión hidrostática**



Fuente: Direct INDUSTRY

### 3.7.8. Placa de nombre

Cuando un tanque de almacenamiento es fabricado bajo la norma API 650, deberá contar con una placa de identificación cumpliendo los requisitos establecidos en el punto 10.1:

- La placa de identificación indicará, mediante letras y números y tendrá una dimensión de 4x4 mm (5/32 pulg.) de alto.
- La placa de identificación que se colocará directamente en la placa de la carcasa se unirá mediante soldadura continua o soldadura fuerte alrededor de la placa de identificación.
- La placa de identificación será de metal resistente a la corrosión

**Figura No 3 - 30. Placa de nombre**

ESTÁNDAR API 650			
ANEXO	<input type="text"/>	AÑO COMPLETADO	<input type="text"/>
EDICIÓN	<input type="text"/>	NUMERO DE APENDICE	<input type="text"/>
DIÁMETRO NOMINAL	<input type="text"/>	ALTURA NOMINAL DISEÑO	<input type="text"/>
CAPACIDAD MÁXIMA	<input type="text"/>	NIVEL LÍQUIDO DISEÑO	<input type="text"/>
GRAVEDAD ESPECÍFICA	<input type="text"/>	METAL TEMP.	<input type="text"/>
PRESION DE DISEÑO	<input type="text"/>	TEMPERATURA MÁXIMA	<input type="text"/>
NÚMERO DE SERIE DEL FABRICANTE	<input type="text"/>	ALMO DE ESTRÉS	<input type="text"/>
FAC. PRESION INTERNA	<input type="text"/>	No. TANQUE COMPRADOR	<input type="text"/>
FAC. PRESION EXTERNA	<input type="text"/>		
FABRICADO POR	<input type="text"/>		
ERECTADO POR	<input type="text"/>		
CURSO DE LA CARCASA		MATERIAL	

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

### 3.7.9. Selección de escalera y plataforma

El objetivo del diseño de las escaleras, plataformas y barandales es situar al personal que lo requiera para realizar la respectiva supervisión o mantenimiento, generalmente sobre el techo donde se localizan diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal.

El tipo de escalera a utilizar será el de forma Helicoidal y el material a usar será de acero inoxidable ASTM – 36, y los requerimientos básicos son:

#### 3.7.9.1. Requerimiento para escaleras

- 1.- Todas las partes de la escalera serán metálicas.
- 2.- El ancho mínimo de las escaleras será de 610mm. (24 pulg.).

- 3.- El ángulo máximo entre las escaleras y una línea horizontal será de 50°.
- 4.- El ancho mínimo de los peldaños será de 203mm. (8 pulg.). La elevación será uniforme a todo lo largo de la escalera.
- 5.- Los peldaños deberán estar hechos de rejilla o material antiderrapante.
- 6.- La superior de la reja deberá estar unida al pasamanos de la plataforma sin margen y la altura, medida verticalmente desde el nivel del peldaño hasta el borde de este de 762 a 864mm. (30pulg. a 34 pulg.).
- 7.- La distancia máxima entre los postes de la rejilla medidos a lo largo de la elevación de 2,438mm. (96 pulg.).
- 8.- La estructura completa será capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), y la estructura del pasamanos deberá ser capaz de soportar una carga de 90Kg. (200 lb), aplicada en cualquier dirección y punto del barandal.
- 9.- Los pasamanos deberán estar colocados en ambos lados de las escaleras rectas; éstos serán colocados también en ambos lados de las escaleras circulares cuando el claro entre cuerpo-tanque y los largueros de la escalera excedan 203mm. (8 pulg.).
- 10.- Las escaleras circunferenciales estarán completamente soportadas en el cuerpo del tanque y los finales de los largueros apoyados en el piso.

### **3.7.9.2. Requerimientos para plataformas y pasillos**

El tipo de material al igual que la escalera será ASTM – 36 y los requerimientos básicos son:

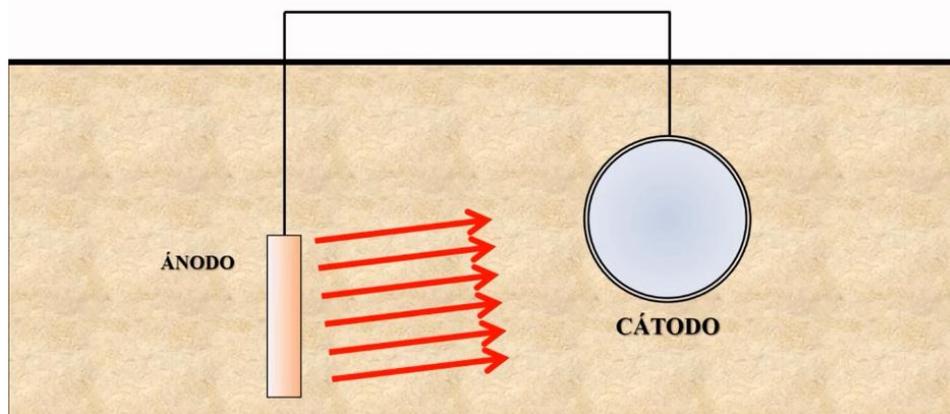
- 1.- Todos los componentes deberán ser metálicos.
- 2.- El ancho mínimo del piso será de 610mm. (24 pulg.).
- 3.- Todo el piso deberá ser de material antiderrapante.
- 4.- La altura del barandal a partir del piso será de 1,067mm. (42 pulg.).

- 5.- La altura mínima del rodapié será de 76mm. (3 pulg.).
- 6.- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del pasillo será de 6.35mm. (1/4 pulg.).
- 7.- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
- 8.- La distancia máxima entre los postes del barandal deberá ser de 1168mm. (46 pulg.).
- 9.- La estructura completa tendrá que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 Kg. (1,000 lb), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.
- 10.- Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.

### 3.8. SELECCIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA

El método considerado para la protección catódica del tanque de almacenamiento será por ánodos de sacrificio debido a que el tanque presenta un diámetro menor a 30 m, este método permite que la corrosión del tanque de acero con fondo sobre el suelo pueda reducirse o eliminarse, permitiendo que toda la superficie del metal actué como el cátodo de una celda electroquímica.

**Figura No 3 - 31 Protección catódica por ánodos de sacrificio.**



Fuente: Jorge Goldin "Protección catódica para tanques".

A continuación, se describe las características del ánodo de sacrificio para su montaje:

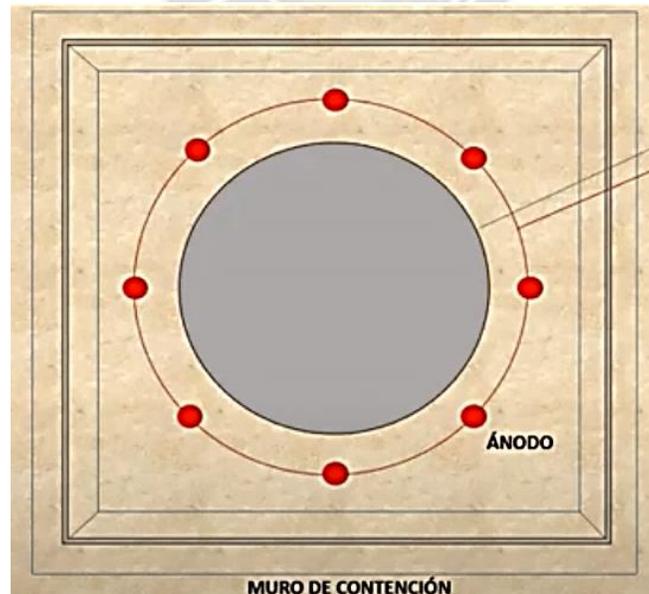
**Tabla No 3 - 24 Características del ánodo de sacrificio.**

	Descripción	Características	Cantidad
<b>Material del ánodo</b>	Aleación de magnesio con alto potencial	Es el material más utilizado como ánodo galvánico, principalmente para proteger tanques, condensadores, ductos entre otros, deben cumplir con la norma NMX-K-109-1997 y ASTM G97 o equivalente.	9 Ud.
<b>Material de relleno</b>	Yeso seco en polvo 75 % Bentonita seca en polvo 20 % sulfato de sodio anhidro 5 %	El relleno especial tiene la función de retirar humedad facilitando el drenaje de corriente del ánodo y la eliminación se casos de aire.	15,88 kg/Ud.

Fuente: Elaboración Propia.

Para su aplicación básicamente consiste en instalar ocho ánodos de aleación de magnesio con relleno especial en posición vertical en un círculo perimetral a una cierta distancia del tanque, la profundidad de los ánodos será aproximadamente los cuatro metros, permitiendo que la corriente llegue a todo el fondo.

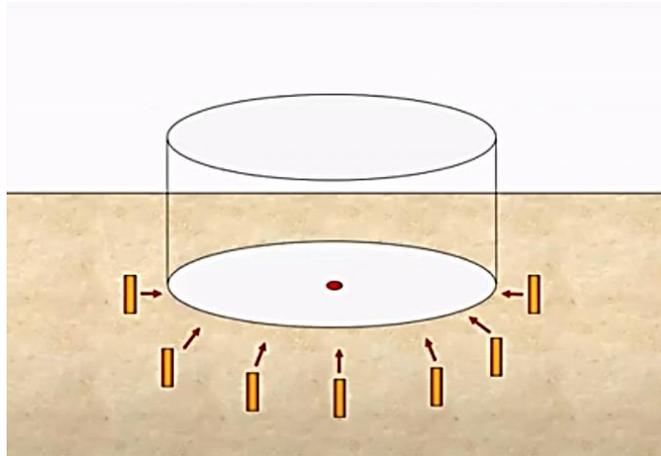
**Figura No 3 - 32 Localización de los ánodos de sacrificio en el perímetro del tanque.**



Fuente: Fuente: Jorge Goldin “Protección catódica para tanques”.

Para un mayor alcance se recomienda instalar a una cierta profundidad del centro del tanque, un ánodo permanente antes de la construcción, esto con el fin de que haya una equivalencia entre los ánodos de la periferia y el ánodo del centro del tanque para una protección correcta.

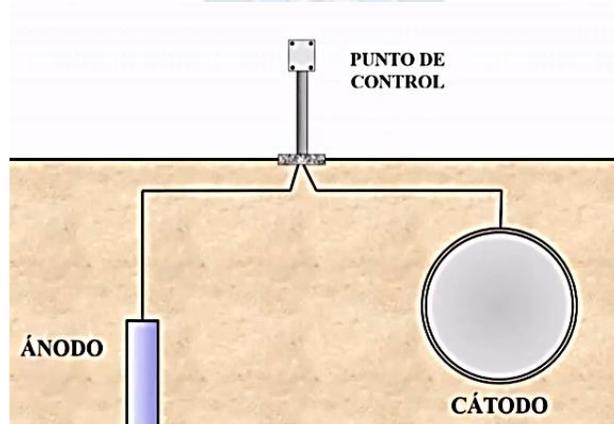
**Figura No 3 - 33 Localización de los ánodos de sacrificio en el tanque.**



Fuente: Jorge Goldin “Protección catódica para tanques”.

Una vez localizadas e instaladas las barras de aleación de magnesio al perímetro del tanque, se conectan mediante cables recubiertos por un metal galvánico (anexo X) al tanque de almacenamiento, formando así una pila entre ambos materiales y la podemos medir y cuantificar a través de un punto de control instalada en la superficie que permita verificar que el ánodo drene correctamente y proteja al tanque.

**Figura No 3 - 34 Punto de control del sistema de protección catódica.**

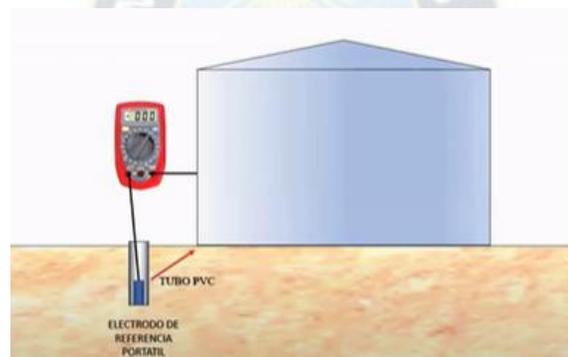


Fuente: Jorge Goldin “Protección catódica para tanques”.

### 3.8.1. Sistemas de control de corrosión

El método estándar para determinar la efectividad de la protección catódica se lo realiza cada tres años aproximadamente, debido a que los ánodos de sacrificio tienen una vida útil de tres a cuatro años, este procedimiento se realiza mediante la medición del potencial entre el suelo y el tanque. Las mediciones se efectúan utilizando un voltímetro de alta impedancia y cuatro electrodos de referencia, estables y reproducibles, en contacto con el electrolito. Estas mediciones se toman sobre el suelo natural, en el perímetro del tanque y con el electrodo de referencia, como muestra la figura No 3 - 49.

**Figura No 3 - 35. Esquema de medición de potencial**



Fuente: Jorge Goldin “Protección catódica para tanques”.

Al contar con una superficie de concreto, se instalará un tubo de PVC que llegue al suelo natural para poder introducir el electrodo de referencia como se muestra en la siguiente imagen;

**Figura No 3 - 36 Medición del potencial de protección catódica.**



Fuente: Jorge Goldin “Protección catódica para tanques”.

### **3.9. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PINTURA.**

Los esquemas de pintura que se aplicarán en el tanque de etanol anhidro se establecerán teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipos de tanque en el que se aplican.
- Los ambientes corrosivos.
- La presencia de contaminantes químico-severo.
- Los productos almacenados.

Uno de los principales factores para seleccionar el sistema de pintura se debe a los problemas de compatibilidad entre los materiales y etanol anhidro produciendo corrosión por la posible presencia de ácidos orgánicos e inorgánicos, en el etanol; además de iones, como el cloruro. El uso del acero al carbono, protegido con revestimientos específicos, ha sido de gran valor para la protección y vida útil del tanque.

La preparación de la superficie externa a ser pintada se hará de acuerdo con el “Steel Structures Painting Manual, Volumen 2 sección II, Surface preparation specifications.” (SSPC - SP), y la superficie interna se realizará de acuerdo con las Normas Petrobras N-1201.

En cualquiera de los esquemas de pintura prevista en estas Normas, están sometidos a un proceso de limpieza por acción fisicoquímica, en regiones donde, durante la inspección, se encontraron trazas de aceite, grasa y otros contaminantes. El tratamiento será una limpieza por chorro abrasivo con arena hasta el metal blanco. Lo cual tiene como objetivo eliminar la totalidad de óxido visible (herrumbre), cascarilla de laminación, pintura deteriorada y cualquier materia extraña.

Finalmente, la superficie se limpia con un aspirador o con aire comprimido limpio y seco o un cepillo para descartar los residuos de polvo abrasivo. La superficie debe quedar con un color metálico uniforme concordante con los estándares.

**Figura No 3 - 37. Sand – blasting con capa de cintura**



Fuente: PETROBRAS N-1661,

### 3.9.1. Sistema de pintura para superficies exteriores

El sistema de pintura seleccionada será por Epoxi- Poliuretano debido a que este posee la mejor resistencia al ataque del ambiente, en la tabla 11 se detalla las condiciones que se deben cumplir.

**Tabla No 3 - 25. Aplicación de pintura en tanques de superficie exterior**

Descripción	Sistema
Sistema de Pintura	Epoxi- Poliuretano
Rango de temperatura del área metálica desnuda	T <= 66 °C
Preparación de superficie	Campo SSPC- SP5
Pintura de fondo	
- Lugar	Campo
- Tipo de pintura	Epoxi- Poliamida
Espesor película húmeda	100 μm.
Espesor película seca	50 μm.
- Número de capas	1
Pintura Intermedia	
- Lugar	Campo
- Tipo de pintura	Epoxi- Poliamida
Espesor película húmeda	200 μm.
Espesor película seca	100 μm.
- Número de capas	1

Descripción	Sistema
Pintura de acabado	
- Lugar	Campo
- Tipo de pintura	Poliuretano
Espesor película húmeda	200 $\mu\text{m}$ .
Espesor película seca	30 $\mu\text{m}$ .
- Número de capas	2
- Método de aplicación	Recomendación por el fabricante
Espesor total de película seca	<b>180 <math>\mu\text{m}</math></b>

Fuente: Elaboración propia en base a PETROBRAS N-1661.

### 3.9.2. Sistema de pintura para superficies interiores

Después de la inspección y preparación de la superficie, se procede a pintar la superficie interna con un solo revestimiento, la pintura seleccionada será “Pintura de Etil Silicato de Zinc” según la norma PETROBRAS N-1661, esta pintura de características altamente anticorrosivas está fabricado a base de silicato inorgánico y un alto contenido de zinc que imparten protección catódica en superficies de acero y eficientes a las propiedades del etanol, se desarrolla mediante pistola convencional (con agitación mecánica), con un espesor mínimo de película seca de 75  $\mu\text{m}$ .

**Tabla No 3 - 26. Aplicación de pintura en tanques de superficie interna**

Descripción	Sistema
Espesor película seca	75 $\mu\text{m}$ .
Rango de temperatura del área metálica desnuda $^{\circ}\text{C}$	$T \leq 50$
Familia	Etil Silicato Zinc N 1661
Versión tinta	Alto Desempeño
Función Tinta	Fondo
Sistema Resina	Silicato Etilo
Solidos del volumen	$54 \pm 2 \%$ (ISO 3233 - 1998)
Forma de aplicación	Pistola Convencional
Preparación de la superficie	Chorro abrasivo
Superficie de aplicación	Acero Carbono
Recomendación de uso	Cumple con la norma Petrobras N 1661. Primer para la protección anticorrosiva de estructuras metálicas.

Fuente: Elaboración propia en base a PETROBRAS N-1661.

### 3.10. INSPECCIÓN Y PRUEBAS BAJO EL CÓDIGO ESTÁNDAR

La inspección y pruebas bajo el código estándar está enfocado a la utilización de los procesos de ensayo no destructivos, los mismos que serán útiles para determinar las variaciones geométricas, defectos de soldadura, y otros que pueden ser vistos, en donde al ser evaluados, determinan la calidad o confiabilidad del tanque.

#### 3.10.1. Ensayos no destructivos (END)

Los ensayos no destructivos son pruebas o ensayos de carácter no destructivo que se realiza a los materiales en este caso metales, determinando ciertas características física o química.

##### - Inspección visual

El método de inspección establecido por la API 650, punto 8.5. es desarrollado por el personal experimentado, quien debe realizar un examen visual Jaeger Type 2 en la estructura total del tanque, para determinar discontinuidades superficiales que sean evidentes a simple vista tales como:

- No es aceptable fisuras tipo cráter, fisuras en la superficie o arc strike en la soldadura o adyacentes a la soldadura.
- La socavadura máxima permitida es de 0.4 mm de profundidad para juntas verticales y 0.8 mm de profundidad para juntas horizontales.
- El refuerzo de la soldadura es de:

**Tabla No 3 - 27 Refuerzo de la soldadura**

Espesor de la Placa mm (pulg)	Espesor Máximo de Refuerzo mm (pulg)	
	Juntas Verticales	Juntas Horizontal
$\leq 13$ ( $1/2$ )	2,5 ( $3/32$ )	3 ( $1/8$ )
$> 13$ ( $1/2$ ) a 25 (1)	3 ( $1/8$ )	5 ( $3/16$ )
$> 25$ (1)	5 ( $3/16$ )	26 ( $1/4$ )

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

## - Radiografía

Inspección de tipo físico, es diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física del material. Se obtiene una imagen de la estructura interna de la pieza, debido a que este método emplea radiación de alta energía.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; para planchas menores a 10 mm se deben tomar las siguientes recomendaciones:

- Para planchas menores a 10mm, un spot debe ser tomada en los primeros 3 m de la junta vertical terminada por cada soldador u operador de soldadura y un adicional spot debe ser tomada en los próximo 30m.
- Al menos el 25% de las intersecciones entre las juntas verticales y horizontales deben ser radiografiadas como mínimo 2 intersecciones.

## - Prueba de Vacío

Es un método de vital importancia ya que nos permite detectar fugas de productos a través de la soldadura o por picaduras en las láminas del piso, esta prueba se realiza mediante las siguientes consideraciones establecidas en la Norma API 650, punto 8.6.:

- La cámara de vacío debería tener aproximadamente 150mm de ancho por 750 mm de largo, con una ventana clara en la parte superior para conseguir visibilidad.
- Verificar que no haya burbujas rápidas o respuesta de escupir a fugas grandes
- Aplicar la solución de película en un área seca, de modo que el área esté completamente mojada y se produzca una generación mínima de burbujas de aplicación.

- Una prueba de vacío parcial es de -3 Psi a -5 Psi, si es especificado por el comprador una segunda prueba parcial puede aplicarse con una presión de vacío de -8 Psi hasta -10 Psi, con una temperatura entre 4°C a 52 °C.
- La prueba de vacío debe ser traslapada al menos 50 mm, desde el punto visible de la cámara de vacío.
- La prueba de vacío debe ser mantenido al menos 5 segundos o el tiempo que sea necesario y una intensidad de iluminación de 1.000 lux.

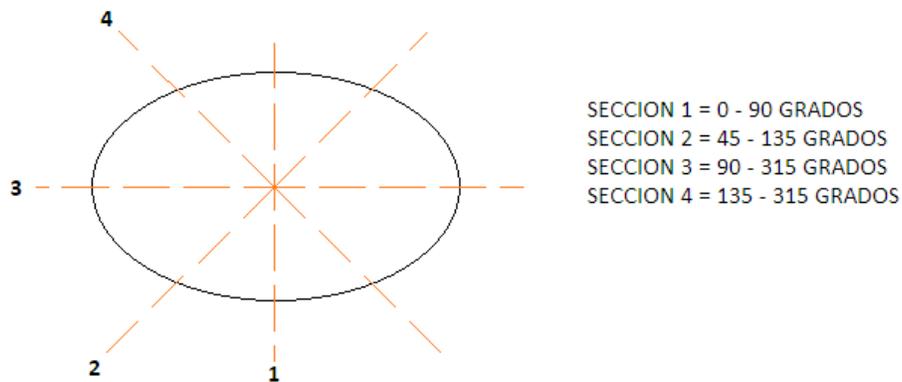
### 3.10.2. Prueba hidráulica

Esta prueba evalúa la pared del tanque y determina el estado de deformación y distorsión en todo el cuerpo de la estructura, de acuerdo con la norma API 650, punto 7.3.7.; enmarca los requisitos necesarios.

- Nivelación con topógrafo de 4 secciones del piso, al menos 5 puntos por sección para el tanque 12 m de diámetro, (desde junta pared-piso, medio hasta la otra junta pared-piso).  
API 650, 7.3.6.8.

Las secciones son:

**Figura No 3 - 38 Nivelación en el piso del tanque para la prueba hidráulica.**



Fuente: Elaboración Propia.

- Se debe verificar que la calidad del agua a utilizar en la prueba hidrostática sea adecuada para la prueba. API 650, 7.3.6.3 2) “Verificar especificaciones del contrato con el cliente”.
- Las mangueras de agua deben conectarse a las válvulas del tanque y se inicia el suministro de agua para el llenado del tanque. Durante todo el suministro del agua se debe mantener personal responsable vigilando la operación.
- La rata de llenado de agua no debe ser mayor:

**Tabla No 3 - 28 Tasa de llenado con agua**

<b>Tasa de llenado con agua</b>		
<b>Espesor de fondo</b>	<b>Parte del tanque</b>	<b>Tasa de llenado Máxima</b>
Menor a 22mm	Encima del cuerpo	300 mm/h
	Debajo del tope del cuerpo	460 mm/h
Mayor o igual a 22mm	Tercio superior del cuerpo	230 mm/h
	Tercio medio del cuerpo	300 mm/h
	Tercio inferior del cuerpo	460 mm/h

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición

- La medición de elevaciones debe ser medido igualmente espaciados alrededor de la circunferencia del tanque, no debe exceder 10m o un numero de medición en el cuerpo de 8 puntos.
- La medición del asentamiento debe ser medido:
  - Antes de la prueba
  - Al 25% • Al 50%
  - Al 75%
  - Al 100%
- El tanque se dejará reposado por 24 horas con el nivel al 100% lleno de agua.
- Pasado las 24 Horas, deberá medirse la altura de agua y el asentamiento.
- Vaciado del tanque.

El asentamiento medido de 13 mm por cada 10m de la circunferencia o un uniforme asentamiento encima de 50mm deben ser reportadas al comprador o al cliente.

### **3.10.3. Prueba de estanqueidad**

Una vez que se ha procedido a llenar el tanque a presión atmosférica hasta la altura de diseño como mínimo, se comprueba que no exista fugas en todas las uniones soldadas del tanque. Por lo tanto, es necesario mantener el tanque lleno por lo menos 24 horas y realizar inspecciones.

Con una solución de jabón o aceite de linaza es cubierta aproximadamente 750 mm de la costura bajo análisis, la caja de vacío es colocada sobre la sección de costura cubierta y un vacío es aplicado a la caja. La presencia de porosidad en la costura es indicada por burbujas o espumas producida por el aire aspirado a través del cordón de soldadura.

### **3.10.4. Tolerancia dimensionales**

Las mediciones en vacío determinan las condiciones geométricas de fabricación del tanque, los parámetros evaluados son la verticalidad y redondez.

#### **- Tolerancia de verticalidad**

El límite máximo de desviación del tanque medido desde el piso al punto más alto del cuerpo no debe exceder el 1/200 de la altura total. Fuera de verticalidad en una virola no debe exceder las variaciones por secciones rectas o abombadas como especifica la ASTM A6/A20/A480 cual sea aplicable.

#### **- Tolerancia de redondez**

El radio medido a 0.3 m encima del piso del tanque, de la junta piso – pared no deben exceder las tolerancias siguientes:

**Tabla No 3 - 29. Tolerancia radial**

<b>Diámetro del Tanque (m)</b>	<b>Tolerancia Radial (mm)</b>
< 12	± 13
De 12 a < 45	± 19
De 45 < 75	± 25
≥ 75	± 32

Fuente: API STANDARD 650 13ra Edición.

### **3.11. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CONTROL DE SEGURIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

#### **3.11.1. Medidas de control de riesgo**

Para el diseño de construcción de un tanque de almacenamiento, se debe considerar medidas de control de riesgo antes, durante y después de la ejecución de la obra, entre ellas las más importantes son:

- Antes de iniciar la construcción se debe examinar los lugares de trabajo, proporcionando un espacio suficiente y estable para su ejecución, como también inspeccionar los equipo y herramientas a utilizar.
- El personal encargado de la ejecución de la obra deberá contar con el conocimiento y experiencia en el campo de construcción de tanques de almacenamiento y capacitación certificada, con el objetivo de prevenir riesgos.
- La operación de maquinarias y herramientas de corte solo puede ser realizado por el personal capacitado, con el respectivo permiso de trabajo otorgado por el contratista.
- Para trabajos en altura se deberá realizar previa emisión de un permiso de trabajo emitido por el responsable operativo y deberá regirse a lo establecido por la Norma Técnica de Seguridad NTS 003/17 - TRABAJOS EN ALTURA, debido a que se considera un riesgo implícito de un daño mayor permanente o fatal.

- El personal que requiera ingresar al interior del tanque ya sea por inspección, soldadura, etc., deberá contar con el respectivo permiso de trabajo y regirse a lo establecido en la Norma Técnica de Seguridad NTS 008/17 - TRABAJOS EN ESPACIOS CONFINADOS.
- El personal que realice trabajos en soldadura o corte deberá estar debidamente capacitado, certificado y autorizado por el responsable de la obra, como también contar con el espacio adecuado y el equipo de protección pertinente.
- La instalación eléctrica deberá ser de tipo industrial sujeta a la Norma Boliviana NB 777, donde todo el sistema eléctrico estará a prueba de explosión, los tableros contarán con la señalación de advertencia de riesgos eléctrico. Como medidas preventivas se tienen identificados la tensión, pararrayos, conexión a tierra, fusibles, interruptores de circuitos.

El Departamento de Higiene y Seguridad Industrial de la Planta YPFB Logística Senkata es la encargada de coordinar y fiscalizar la ejecución de la obra realizando los respectivos controles de seguridad.

### **3.11.2. Medidas de seguridad industrial**

#### **- Vías de escape**

La Planta Senkata cuenta con un plan de emergencia en la que abarca un plano de evacuación general y específicas para cada ambiente en la cual se puede identificar las rutas de evacuación, punto de encuentro (ubicada al ingreso de la planta la cual está debidamente señalizada), así como planos de identificación de extintores, monitores y camillas a ser usados en caso de cualquier emergencia. Estos planos de evacuación deberán ser difundidos a todo el personal nuevo, contratista y visitas en el proceso de construcción, permitiendo estar preparados y tener una respuesta adecuada ante una posible contingencia.

**Figura No 3 - 39 Plano de evacuación de la Planta Senkata.**

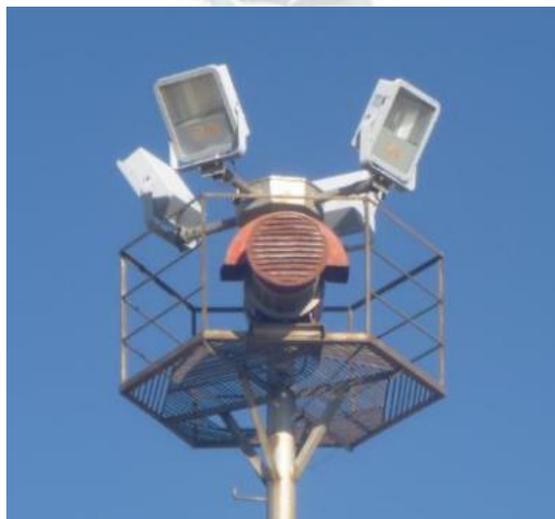


Fuente: Distrito Comercial Planta Senkata El Alto.

**- Sistema de alarma**

Al ser ésta una instalación de alto riesgo la planta está equipada con sistemas de alarma contra incendio con señales claramente audibles a todas las personas, colocada en un lugar visible, de fácil acceso y en el recorrido natural de escape de un incendio. La instalación de señales y alarmas está alimentada por una fuente de energía independiente.

**Figura No 3 - 40 Sistema de alarma**



Fuente: Planta YPFB Logística Senkata

**- Ropa de trabajo y protección personal**

La Unidad de Seguridad Industrial y el responsable de la obra están a cargo del control de uso correcto de la ropa y equipos de protección personal con el fin de prevenir lesiones y/o accidentes que puedan afectar la integridad de los trabajadores, a continuación, se detallan los equipos de protección más importantes en la obra:

**Tabla No 3 - 30 Equipos de protección personal**

<b>Protección de la cabeza</b>	Los trabajadores expuestos a objetos que caigan o salten (objetos volantes) y a golpes en la cabeza, deben usar cascos de seguridad.
<b>Protección de la vista</b>	El personal debe contar con lentes de seguridad que cumplen con normativa ANSI Z87.1, para evitar el contacto con partículas volantes. En el caso de puestos de trabajo específicos, como pintado y cepillado de válvulas se usan lentes antiparras, o por el contrario para taller de soldadura y amolado se usan mascararas de soldadura para protección de rayos UV y protectores faciales.
<b>Protección de manos</b>	Personal debe contar con guantes de cuero cabritilla.
<b>Protección del Cuerpo</b>	Personal de área de talleres cuenta con protección adicional para trabajos en caliente, como ser: mandiles de cuero y protectores faciales.
<b>Protección de oído</b>	El personal de planta cuenta con protectores auditivos descartables y tipo copa, según matriz de riesgos.
<b>Protección de pies</b>	Personal debe contar con botines de seguridad con punta reforzada.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por la Planta YPFB Logística Senkata

**- Contacto con sustancias peligrosas y dañinas**

El Etanol Anhidro es un líquido incoloro de olor característico, que puede representar peligros físicos (El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.) y peligros químicos (Reacciona lentamente con hipoclorito de calcio, óxido de plata y amoniaco y violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato mercúrico y perclorato de magnesio, esto genera peligro de incendio y explosión).

Al considerarse un producto dañino para la integridad de los trabajadores, es importante identificar riesgos, peligros y límites de exposición laboral, por lo que el personal de seguridad industrial

realiza capacitaciones sobre la manipulación de estas sustancias peligrosas y difundir las hojas de seguridad respectivas.

**Tabla No 3 - 31. Medidas de prevención**

	<b>SÍNTOMAS</b>	<b>PREVENCIÓN</b>	<b>PRIMEROS AUXILIOS</b>
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Traje de protección. Delantal. Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Sensación de quemazón.	Utilizar gafas de protección de montura integral.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo INSST

**Tabla No 3 - 32. Exposición y efectos sobre la salud**

<b>Vías de exposición</b>
La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
<b>Efectos de exposición de corta duración</b>
La sustancia irrita gravemente los ojos. El vapor en concentraciones altas irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.
<b>Riesgo de inhalación</b>
La evaporación de esta sustancia a 20°C producirá lentamente una concentración nociva de la misma en aire.
<b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b>
La sustancia desengrasa la piel, lo que puede producir sequedad y agrietamiento. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central. Esto puede dar lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo INSST.

### **3.11.3. Manejo de fugas y derrames**

Es un método utilizado para suministrar una contención secundaria, recubriendo el área entera del dique con una membrana impermeable. Una membrana existente debajo de un tanque o proponer una para un tanque nuevo puede tener un impacto significativo sobre las alternativas y el diseño de un sistema de protección catódica. En cada caso, los ánodos deben ser colocados entre la membrana y el fondo del tanque para que funcione la protección catódica.

#### **3.11.3.1. Barrera de prevención**

Las barreras de prevención son un sistema de protección medio ambiental, las cuales tienen como finalidad la disminución de contaminación del terreno en caso de derrame del producto contenido en el tanque, el estilo de barrera de prevención a ser utilizada de acuerdo con la compatibilidad del etanol Anhidro será del tipo Geomembrana HPDE debido a que este es un Polietileno resistente a las propiedades del Etanol Anhidro.

#### **Geomembrana de polietileno de alta densidad HDPE**

Las Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad PEAD o HDPE son láminas continuas y flexibles que se utilizan como barrera impermeable y tienen diversidad de aplicaciones en la Industria Petrolera y Gasífera como el uso para la impermeabilización de tanques, reservorios y diques, se utilizan como barrera de contención de líquidos o sólidos contaminantes, principalmente en la protección contra posibles fugas.

Las geomembranas están fabricadas en boquilla plana a base de polietileno de alta densidad de primera calidad (97,5%) y negro de carbono (2,5%) además de antioxidantes, lo que le confiere buena resistencia a la intemperie y un buen nivel de stress cracking, y muchos más años de resistencia con respecto a otras geomembranas del mercado.

En el proceso de fabricación se utilizan las más modernas tecnologías y las mejores resinas, lo que le otorga buenas propiedades entre estas tenemos:

- Mecánicas (tracción, elongación y desgarro).
- Químicas (resistencia frente a disolventes orgánicos e inorgánicos, incluidos ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos) así como rayos UV.

**Figura No 3 - 41. Geomembrana de polietileno de alta densidad HDP**



Fuente: Techo Flotante Interno de la empresa SODERAL.

### **3.11.3.2. Muro de contención de derrames**

Su función es evitar la extensión, hacia áreas exteriores a la zona de almacenamiento, de las pérdidas y derrames de líquidos peligrosos y bajo las especificaciones técnicas enunciadas por la ANH, se debe cumplir:

- Debe ser de estructura concreto para formar un estanque para contención de derrames el cual deberá tener un mínimo de contención del 110 % del volumen neto del tanque.
- Debe tener un drenaje con válvula de bloqueo exterior al mismo, que descargue a la trampa de combustibles.
- Debe tener un drenaje con válvula de bloqueo exterior al mismo, que descargue a la trampa de combustible.

- La superficie o suelo del dique no debe permitir la filtración del producto almacenado que se pueda derramar, debiéndose especificar el tipo de aislamiento a usarse en la construcción.
- No debe haber hilos o cables aéreos que pasen dentro de los muros o diques de contención de los tanques.
- Los muros de contención deben tener por lo menos un acceso hacia y desde el interior de este.
- Las separaciones de los costados del tanque a las paredes del muro de contención deben permitir el fácil acceso y la circulación de personas, con una distancia mínima de 1.0 m.

#### 3.11.4. Prevención y protección contra incendios

De acuerdo con la norma para el diseño, prevención y extinción de incendios, es necesario establecer un análisis del riesgo intrínseco de la instalación, entre estos tenemos; su importancia operacional, su ubicación para emergencias y el tiempo de respuesta.

La prevención radica fundamentalmente en el evitar que no se den las condiciones para que se produzca un incendio y para tal efecto se actúa mediante el triángulo del fuego, por ejemplo, entre el aire y el combustible debe existir una relación de concentraciones para que entre en combustión, por ello un factor importante es determinar el rango de inflamabilidad del Etanol Anhidro.

**Figura No 3 - 42 Limite de inflamabilidad del etanol anhidro**



Fuente: Extinción de Fuegos SIyPRL.

Donde:

- Límite inferior de inflamabilidad "L.E.L."

Los líquidos inflamables tienen una concentración mínima de sus vapores en el aire, por debajo de la cual no se produce la propagación de la llama en contacto con una fuente de ignición debido a que la mezcla es demasiado pobre.

- Límite superior de inflamabilidad "H.E.L."

Los líquidos inflamables tienen una concentración máxima de sus vapores en el aire, por encima de la cual no se produce la propagación de ignición, debido a que la mezcla es demasiado rica.

Al diseñar el tanque con cubierta interna flotante y el domo Geodésico generan una acción de control sobre dos de estos elementos de fuego: aire – combustible, contribuyendo a que sobre la cubierta la mezcla este muy por debajo del límite inferior de inflamabilidad y debajo de esta tendremos una atmosfera saturada de vapores, que la hacen estar por encima del límite superior de inflamabilidad.

De acuerdo a los aspectos mencionados y bajo los criterios establecidos por la norma NFPA 30, no serían requeridos sistemas de extinción para tanques de techo flotante, pero por políticas de seguridad de la Planta Senkata las instalaciones cuentan con la siguiente disposición de elementos para la prevención y protección contra incendios:

- a. Tanque de almacenamiento de agua + bomba de presurizado.
- b. Hidrantes + accesorios (mangas, acoples, rosetas, siameses).
- c. Extintores portátiles y de ruedas.
- d. Dentro de la planta en los carruseles se cuenta con aspersores.

La planta también cuenta con dos tanques de suministro y almacenaje de agua para atender cualquier contingencia, que solo son utilizados para la red de lucha contra incendios. Las mangas

y accesorios se encuentran en gabinetes de almacenamiento, y ubicada cerca de los hidrantes, dichos accesorios son inspeccionados mensualmente por el personal de Seguridad Industrial.

A partir de ello, el personal va capacitándose para enfrentar contingencias y cuenta con cuatro brigadas que son:

- Brigada de Primeros Auxilios
- Brigada de Lucha Contra incendios
- Brigada Técnica
- Brigada de evacuación

**Figura No 3 - 43 Hidrantes + accesorios para la prevención contra incendios.**



Fuente: Planta Senkata

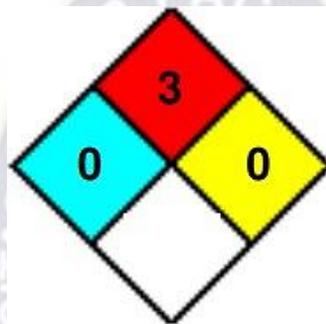
#### **3.11.4.1. Señalización**

En áreas donde abarca la ejecución de la obra dentro de planta Senkata, deberá contar con señalización de seguridad industrial, acorde a la Normativa Boliviana NB 55001 – SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD.

Se debe colocar carteles de seguridad contra incendio establecido según Reglamento emitido por la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH para la construcción de tanques, a continuación, se detalla algunos aspectos importantes:

- Debe colocarse cartelería de prevención, prohibición y carteles indicadores (“Prohibido fumar”, “Descarga de combustibles”, “uso de EPP”, entre otros).
- Puede colocarse un procedimiento básico respecto a la descarga de producto.
- Debe colocar cartel con número telefónico de Bomberos, Policía y Hospitales.
- Se deberá colocar al tanque un cartel indicando el contenido e identificación de riesgo (rombo NFPA 704).

**Figura No 3 - 44. Rombo NFPA 704 del etanol anhidro**



Fuente: ANH

Riesgo de Inflamabilidad = 3

Riesgos a la Salud = 0

Riesgo de Inestabilidad = 0

**Tabla No 3 - 33. Medidas de prevención contra incendios**

	<b>PELIGROS</b>	<b>PREVENCIÓN</b>	<b>LUCHA CONTRA INCENDIOS</b>
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Altamente inflamable. Las mezclas vapor/aire son explosivas. Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias incompatibles.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. NO poner en contacto con materiales incompatibles.	Usar agua pulverizada, polvo, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST.

### 3.12. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIO-AMBIENTAL

#### 3.12.1. Identificación de impactos ambientales

Durante la ejecución de la obra civil de construcción del tanque de almacenamiento, se realizan operaciones que pueden afectar al medio ambiente, por ello es importante identificar y evaluar y proponer medidas preventivas para su posterior control. Así como regirse a Normativas del Decreto Supremo 3549/2018 INFORME DE MONITOREO AMBIENTAL.

Se debe considerar que, al ubicar el tanque en un área de suelo industrial, no existe un riesgo significativo de afectación en los parámetros ambientales siguientes:

- Geología y edafología.
- Flora y Fauna.

Pero si se presentan afectación considerable que repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos, generación de emisiones y ruido, tales como se presentan en la siguiente matriz de identificación de impactos ambientales:

**Tabla No 3 - 34 Determinación del valor de impacto ambiental**

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	PONDERACIÓN	PUNTUACIÓN
INTENSIDAD	Dimensión del cambio ambiental producido al recurso impactado.	BAJO	1
		TOLERABLE	2
		MEDIO	3
		ALTA	5
EXTENSIÓN	Área sobre la que actúa el impacto.	MENOR A 10 HORAS	1
		ENTRE 10 Y 20 HORAS	2
		MAS DE 20 HORAS	3
PERSISTENCIA	Duración del cambio provocado por las etapas del proyecto, al estado original.	HASTA 1 AÑO	1
		MAYOR A 1 AÑO	2
REVERSIBILIDAD	Posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar al estado previo a la intervención y los medios de recuperación	POSIBLE	1
		DIFICULTOSO	2
		IMPOSIBLE	3

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla No 3 - 35 Matriz de evaluación de impactos ambientales.**

<b>MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE</b>						
	DESCRIPCIÓN	IMPACTO				TOTAL
		INTENSIDAD	EXTENSIÓN	PERSISTENCIA	REVERSIBILIDAD	
<b>IMPACTO SOBRE EL SUELO</b>	Derrame de algún fluido toxico al suelo por una mala manipulación	3	3	2	1	9
	Vertido de aguas provenientes de la ejecución de muros de contención	3	2	1	2	8
	Recurso hídrico está asociado a los movimientos de tierra, excavaciones y eliminación de la cubierta vegetal	1	3	2	1	7
	Contaminación por residuos ya sea sólidos, líquidos generados en la ejecución de la obra tales como excavaciones, montaje, etc.	3	1	1	2	7
	Contaminación de agua superficial por la generación de polvos, partículas.	3	1	1	1	6
<b>GENERACIÓN DE EMISIONES</b>	Partículas en suspensión del polvo (cimentación, movimiento de tierras, etc.).	3	1	1	2	7
	Gases y humos (CO, Nox, SO2) generados por los motores de la maquinaria pesada y por la circulación de medios mecánicos empleados en la construcción de los tanques.	2	1	1	1	5
	Gases y partículas procedentes de la soldadura, pintado de paredes, escaleras, tubos, soportes, etc.	3	1	1	2	7
<b>RUIDO Y VIBRACIÓN</b>	Ruido proveniente de los vehículos en movimiento (por ej., transporte de materiales)	3	1	1	2	7
	Ruido proveniente de las actividades de la construcción (por ej., excavación, relleno)	3	1	1	2	7
	Ruido proveniente de las herramientas para la construcción (por ej., mezcladora de hormigón, máquinas eléctricas)	3	1	1	2	7
	Vibraciones provocadas por las actividades de la obra	2	1	1	2	6

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.12.2. Medidas de mitigación de los impactos ambientales identificados.

Las medidas correctivas para minimizar el impacto ambiental se deben implementar desde la fase inicial de la construcción del tanque, hasta la fase posterior de operación, con el objetivo de contrarrestar el impacto adverso causado en cada una de ellas.

A continuación, en la siguiente tabla se describen las medidas de control y mitigación que se aplicarán a los impactos ambientales identificados:

**Tabla No 3 - 36 Medidas de mitigación de los impactos ambientales**

IMPACTO AMBIENTAL		SIG NIFI	MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O SEGURIDAD
IMPACTO SOBRE EL SUELO	Derrame de algún fluido toxico al suelo por una mala manipulación	9	Capacitar al personal sobre la manipulación de los fluidos peligrosos o tóxicos.
	Vertido de aguas provenientes de la ejecución de muros de contención	8	Se concientizará a los trabajadores para que dichos residuos sean segregados y almacenados en contenedores específicos para que sean depositados
	Contaminación por residuos ya sea sólidos, líquidos generados en la ejecución de la obra tales como excavaciones, montaje, etc.	7	Para el caso de la etapa de operación, se capacitará al personal de la terminal para que estos residuos se segreguen adecuadamente y se busque su recolección y manejo por parte de alguna empresa u organización que los pueda destinar a reúso o reciclaje.
GENERACIÓN DE EMISIONES	Partículas en suspensión del polvo (cimentación, movimiento de tierras por maquinas, etc.).	7	Evitar tener montones de tierra innecesarios que pudieran generar volatilización de polvo y/o partículas. Riego diario, con agua tratada, de la superficie del terreno para humedecer el suelo constantemente y evitar con esto la propagación de material particulado.
	Gases y partículas procedentes de la soldadura, pintado de paredes, escaleras, tubos, soportes, etc.	7	Se recomendara pintar con rodillo o con el equipo necesario
RUIDO Y VIBRACIÓN	Ruido proveniente de maquinaria en movimiento (por ej., transporte de materiales)	7	Mantenimiento de los equipos y maquinaria utilizada, así como determinación de los tiempos necesarios de la utilización de los mismos
	Ruido proveniente de las actividades de la construcción (por ej., excavación, relleno)	7	Dotar equipos de protección individual, orejeras y tapones.
	Vibraciones provocadas por las actividades de la obra	7	Emplear maquinas modernas.

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente capítulo se realiza el estudio de la viabilidad económica del proyecto para determinar la rentabilidad del diseño de ingeniería para la construcción de un tanque de almacenamiento de Etanol Anhidro como Aditivo de Origen Vegetal para las gasolinas, así también un análisis estratégico por el uso de aditivos oxigenantes de origen vegetal en sustitución del aditivo importado.

#### 4.1. VIABILIDAD ESTRATÉGICA DEL PROYECTO

##### 4.1.1. Ventajas del proyecto

El diseño del tanque de almacenamiento permite no solo aumentar el crecimiento gradual de los volúmenes de Etanol Anhidro como Aditivo de Oxigenante de Origen Vegetal utilizados para la mezcla con gasolina base, si no también se identifica dos ventajas importantes para el desarrollo del proyecto, estos son:

- Sustitución Parcial de la Importación de Aditivos Fósiles.
- Reducción Sustancial de la Subvención de la Gasolina.

##### 4.1.1.1. Sustitución parcial de la importación de aditivos fósiles

Uno de los beneficios adicionales que dejara el alcohol de caña convertido en combustible, estriba en la posible sustitución de la importación de aditivos y gasolina blanca.

##### - Volúmenes importados de insumos y aditivos

Desde hace varios años Bolivia importa grandes volúmenes de insumos y aditivos oxigenantes, a continuación, se presentará tablas y gráficos ilustrando estas cifras.

**Tabla No 4 - 1. Volúmenes importados de insumos y aditivos por gestión**

<b>AÑO DE IMPORTACIÓN</b>	<b>INSUMOS Y ADITIVOS [Lt]</b>
2013	36.282.332
2014	153.993.540
2015	13.513.303
2016	155.853.264
2017	234.453.060
2018	693.499.621
2019	416.145.985
2020	310.598.895
<b>TOTAL</b>	<b>2.014.339.999</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH

**Figura No 4 - 1. Volúmenes importados de insumos y aditivos por gestión**

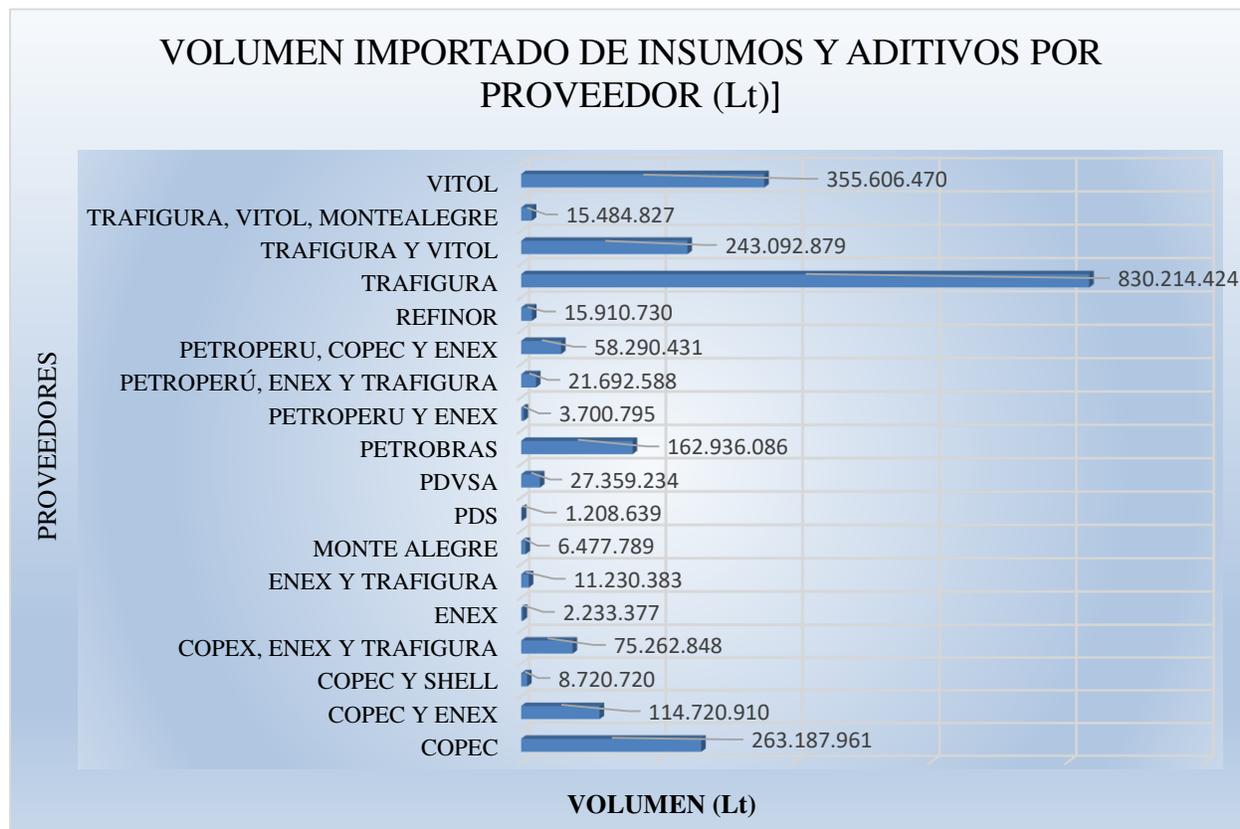


Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH

En términos generales, el volumen total de importación de Insumos y Aditivos con corte al 31 de agosto de 2020 (acumulado desde 2013) es de 2.014.339.999 Lt., la gestión que presenta mayor demanda es el año 2018 con 63.499.621 Lt, seguido del año 2019 con 416.145.985 Lt, cabe señalar que en el año 2020 los volúmenes de importación tuvieron un comportamiento irregular con variaciones significativa en relación a la gestión 2019, debido principalmente a la pandemia del COVID-19 que se hizo presente en Bolivia durante la segunda quincena de marzo.

A continuación, se detalla las empresas extranjeras a la cual el importador compra el Insumo y Aditivo:

**Figura No 4 - 2. Proveedores de volúmenes de insumos y aditivos**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH.

De acuerdo con el análisis de la Figura No 4 - 2, la empresa proveedora de insumos y aditivos con corte al 31 de agosto de 2020 (acumulado desde 2013) que presenta mayor demanda es Trafigura con 830.214.424 Lt, seguido de la empresa Vitól con 355.606.470 Lt.

**- Comercialización del producto interno de etanol anhidro.**

A partir del mes de noviembre del 2018 la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, emite licencias de Operación para la producción, almacenaje, transporte y comercialización de Etanol Anhidro para el uso como aditivo de Origen Vegetal, es por ello por lo que a continuación se presenta los puntos de distribución para su posterior mezcla.

**Tabla No 4 - 2 Distribución de etanol anhidro**

Distrito Comercial	DISTRIBUCIÓN DE ALCOHOL ANHIDRO (noviembre 2019)		
	Saldo Inicial Físico (L)	Desp. Promedio (L/Día)	% De entrega
<b>Senkata</b>	2.803.834	88.000	37,33
<b>Palmasola I</b>	1.472.852	49.123	19,61
<b>Valle Hermoso</b>	2.249.850	70.000	29,95
<b>Tarija</b>	984.310	25.000	13,11
<b>Total</b>	<b>7.510.846</b>	<b>232.123</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por YPFB.

**Figura No 4 - 3. Distribución de etanol anhidro**



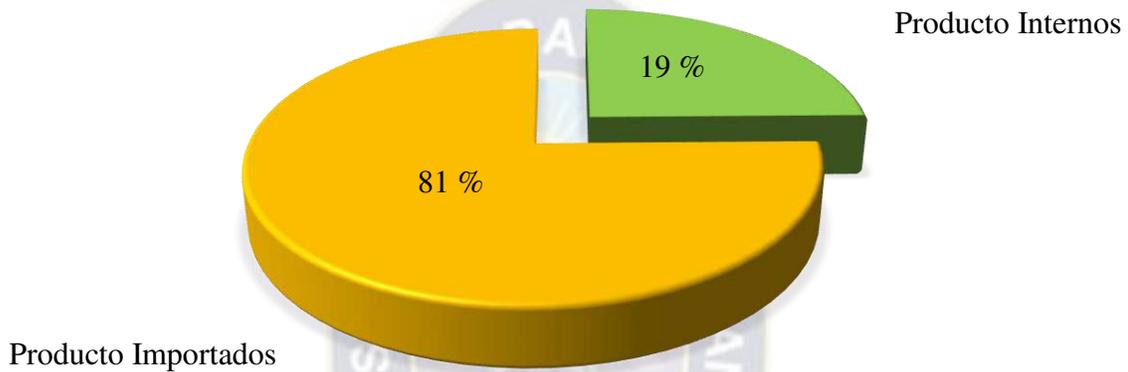
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por YPFB.

El volumen total de distribución de Alcohol Anhidro en el mes de noviembre de 2019 es de 7.510.846 Lt., esta se distribuye a cuatro distritos comerciales, y de acuerdo con el grafico se observa que el Distrito Comercial de La Paz – Senkata presenta mayor demanda con 2.803.834 Lt., seguido del Distrito Comercial del Centro Cochabamba – Valle Hermoso con 2.249.850 Lt.

- **Análisis comparativo de volúmenes distribuidos en el Mercado Interno de Insumos y Aditivos y Alcohol Anhidro**

A continuación, se realiza un análisis comparativo del volumen de distribución del producto interno (Alcohol Anhidro), y el producto importado (Insumos y Aditivos).

**Figura No 4 - 4. Análisis comparativo porcentual de volúmenes por mes de insumos aditivos y alcohol anhidro (Lt)**



■	Insumos y Aditivos	<b>30.838.023</b>
■	Alcohol Anhidrido	<b>7.510.846</b>

Fuente: Elaboración Propia.

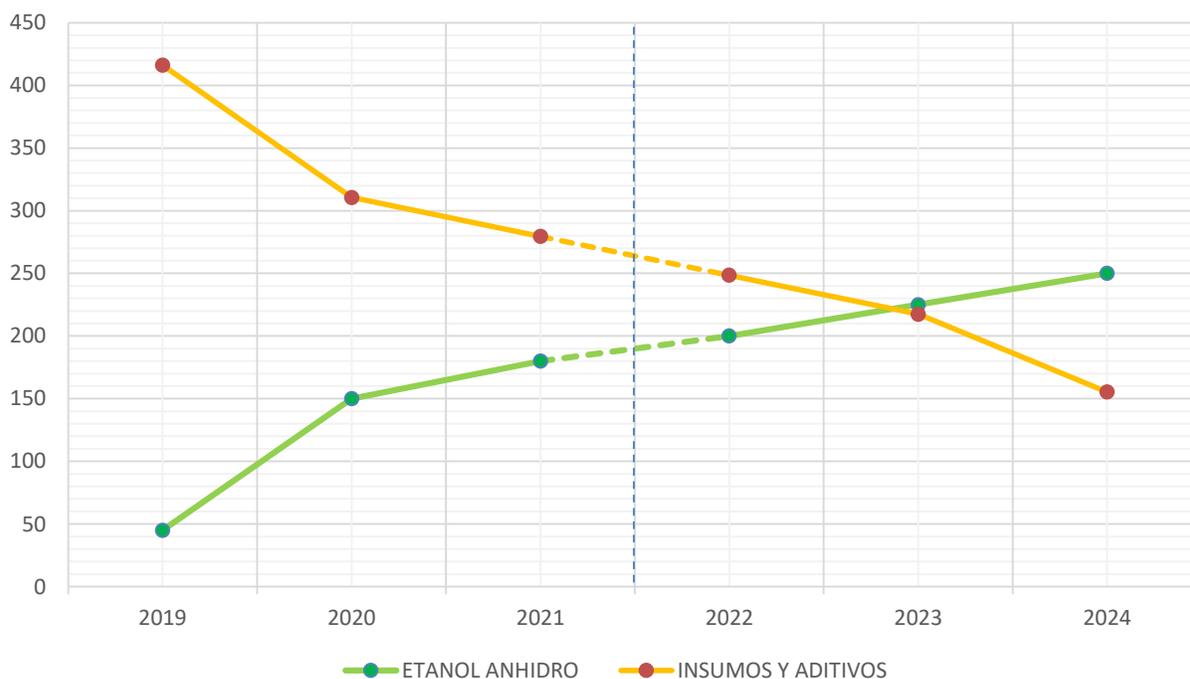
El volumen del producto importado (Insumos y Aditivos) del mes de noviembre de 2019 presenta un mayor porcentaje de distribución en el mercado interno con un 81 % con relación al producto interno (Alcohol Anhidro) que solo se distribuye en un 19 %.

El 2019 YPF se comprometió a comprar 150 millones de litros de etanol anhidro a octubre solo adquirió 45 millones, uno de los problemas radica en la falta de logística y adecuación de tanques destinados específicamente al almacenaje del producto en los distritos comerciales, otro de los problemas ha sido por falta de estrategia comercial de la “Gasolina Súper Etanol 92” y “Gasolina

Especial Plus (GE+)” que al año 2020 se masifica gradualmente la demanda de los productos, adquiriendo un contrato de compra de 225 millones de litros de etanol.

Para un análisis más detallado del comportamiento actual y el esperado de la distribución de los volúmenes de Insumos y Aditivos y el Etanol Anhidro, se representará en el siguiente esquema:

**Figura No 4 - 5. Comportamiento actual y el esperado de la distribución de los volúmenes de insumos y aditivos y el etanol anhidro (MLt.)**



	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>ETANOL ANHIDRO</b>	45.000.000	150.000.000	180.000.000	200.000.000	225.000.000	250.000.000
<b>INSUMOS Y ADITIVOS</b>	416.145.985	310.598.895	279.539.006	248.479.116	217.419.227	155.299.448

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH

En base a la información remitida por YPFB, se estima que en el año 2023 la importación de volúmenes de Insumos y Aditivos disminuya a un 50 % y en el año 2024 la demanda porcentual del Etanol Anhidro incremente a un 62 %, generando un crecimiento económico gradual debido a la sustitución parcial de la importación de insumos y aditivos.

#### 4.1.1.2. Reducción sustancial de la subvención de la gasolina

Otra de las ventajas importantes del uso de etanol anhidro como aditivo de origen vegetal es la reducción sustancial de la subvención a los combustibles, que en los últimos diez años significó para el país un gasto de 1.500 millones de dólares, a continuación, se presenta un cuadro de datos de la gestión 2019, donde se detalla el RON, y el volumen importado de insumos y aditivos (Lt), datos que se utilizarán para realizar los cálculos de subvencionamiento de la gasolina.

**Tabla No 4 - 3. Base de datos de insumos y aditivos importados**

<b>AÑO</b>	<b>RON</b>	<b>PERIODO</b>	<b>INSUMOS Y ADITIVOS [Lt]</b>	<b>GASOLINA BLANCA [Lt]</b>	<b>PROVEEDOR</b>
2019	97	SEPTIEMBRE	101.910	43.676	ENEX Y TRAFIGURA
2019	93	SEPTIEMBRE	203.485	67.828	ENEX Y TRAFIGURA
2019	95,5	JULIO	4.025.054	1.644.036	ENEX Y TRAFIGURA
2019	90	OCTUBRE	549.405	96.954	PETROPERU Y ENEX
2019	90	OCTUBRE	720.170	127.089	PETROPERU Y ENEX
2019	93	OCTUBRE	338.125	112.708	PETROPERU Y ENEX
2019	97	OCTUBRE	608.127	260.626	PETROPERU Y ENEX
2019	93	OCTUBRE	641.252	213.751	PETROPERU Y ENEX
2019	93	OCTUBRE	202.474	67.491	PETROPERU Y ENEX
2019	96,2	AGOSTO	9.021.737	3.810.551	TRAFIGURA
2019	91,9	OCTUBRE	3.838.811	959.703	TRAFIGURA
2019	96,2	OCTUBRE	7.240.409	2.957.349	TRAFIGURA
2019	95,1	OCTUBRE	5.381.287	1.990.339	TRAFIGURA
2019	97,5	NOVIEMBRE	1318834	679399	PETROPERÚ, ENEX Y TRAFIGURA
2019	93	NOVIEMBRE	406250	135417	PETROPERÚ, ENEX Y TRAFIGURA
2019	97	NOVIEMBRE Y DICIEMBRE	3605437	1545187	TRAFIGURA

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH.

### - Cálculo de la subvención de la gasolina especial

El método de cálculo de la subvención se obtiene a través del Reglamento que establece la estructura de costos resultantes de la importación de Insumos y Aditivos para la obtención de Gasolina Especial, emitido a través de la resolución Ministerial No 048/17.

#### **Fórmula para subvencionar a YPFB**

$$Subv. = V_{TOTAL} * (CT\ YPFB - PPT)$$

Donde:

Subv. = Subvención expresada en bolivianos (Bs).

$V_{TOTAL}$  = volumen total de gasolina especial expresada en litros (Lt).

CT YPFB = costo total de obtención de gasolina especial para YPFB, expresado en bolivianos por litro ( $Bs/Lt$ ).

PPT = Precio pre terminal de la gasolina especial, publicado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), expresado en bolivianos por litro ( $Bs/Lt$ ).

**El volumen total de gasolina ( $V_{TOTAL}$ ) se obtiene de la siguiente formula:**

$$V_{TOTAL} = \frac{VIMP}{XIMP}$$

Donde:

VIMP = Volumen importado expresado en litros (Lt)

XIMP = Proporción de volumen de Insumos y Aditivos utilizado para la obtención de Gasolina.

El volumen importado (VIMP) de Insumos y Aditivos a utilizar será del mes de noviembre del 2019 con 406.250 Lt. RON 93 y se lo obtiene de la tabla N° 4 – 5.

La XIMP se lo obtiene de la siguiente tabla:

**Tabla No 4 - 4. Proporciones para la mezcla de insumos y aditivos con gasolina blanca**

<b>PROPORCIONES PARA LA MEZCLA DE INSUMOS Y ADITIVOS CON GASOLINA BLANCA</b>				
<b>Octanaje</b>	<b>Insumos y Aditivos</b>	<b>Gasolina Blanca</b>	<b>Gasolina Especial</b>	
	<b>XIMP</b>	<b>XGB</b>	<b>Octanaje</b>	<b>XGE</b>
85	100	0	85	100
86	95	5	85	100
87	93	7	85	100
88	90	10	85	100
89	88	12	85	100
90	85	15	85	100
91	80	20	85	100
92	80	20	85	100
<b>93</b>	<b>75</b>	25	85	100
94	76	24	85	100
95	73	27	85	100
96	71	29	85	100
97	70	30	85	100
98	66	34	85	100
99	65	35	85	100
100	64	36	85	100

Fuente: Resolución Ministerial No 048 - 17

Remplazando se tiene:

$$VTOTAL = \frac{406.250 \text{ lt}}{\frac{75}{100}} = 541.667 \text{ lt}$$

$$VTOTAL = 541.667 \text{ lt.}$$

**El costo total de obtención de gasolina especial para YPFB:**

El CT YPFB en el año 2019 es 3,74 ( $Bs/Lt$ ).

### El precio pre terminal de la gasolina especial:

El PPT publicado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), es 2,56 ( $Bs/Lt$ ).

Por lo tanto, tenemos:

$$VTOTAL = 541.667 \text{ Lt.}$$

$$PPT = 2,56 \text{ (Bs/Lt).}$$

$$CT \text{ YPFB} = 3,74 \text{ (Bs/Lt).}$$

$$\text{Subv.} = ? \text{ Bs}$$

Reemplazando:

$$\text{Subv.} = VTOTAL * (CT \text{ YPFB} - PPT)$$

$$\text{Subv.} = 541.667 * (3,74 - 2,56)$$

$$\text{Subv.} = 639.167 \text{ Bs.}$$

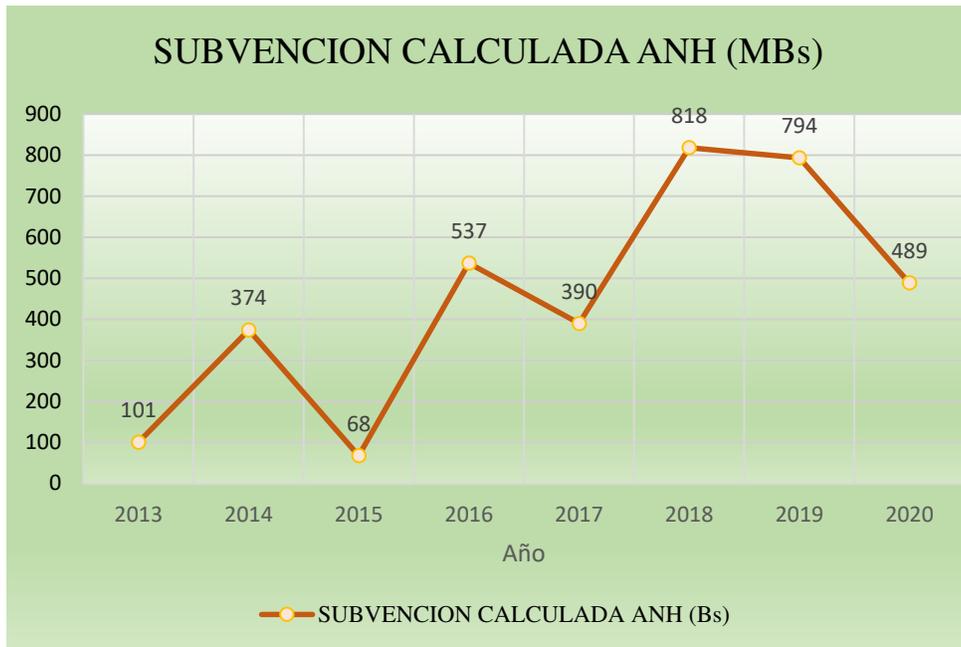
A continuación, realizamos los cálculos de subvención de la gasolina por gestión a partir del 2013 al 2020:

**Tabla No 4 - 5. Subvención calculada por gestión**

<b>AÑO</b>	<b>INSUMOS Y ADITIVOS [Lt]</b>	<b>GASOLINA BLANCA [Lt]</b>	<b>GASOLINA ESPECIAL [Lt]</b>	<b>SUBVENCIÓN CALCULADA ANH [Bs]</b>
2013	36.282.332	13.810.326	50.092.658	100.865.208
2014	153.993.540	57.271.404	211.264.944	374.117.694
2015	13.513.303	7.700.674	21.213.977	67.559.669
2016	155.853.264	46.387.130	202.240.394	536.894.069
2017	234.453.060	59.887.923	294.340.983	389.910.591
2018	693.499.621	231.166.540	924.666.161	818.329.553
2019	416.145.985	150.270.674	566.956.658	793.523.890
2020	310.598.895	103.532.965	414.131.860	488.675.594
<b>Total</b>	<b>2.014.339.999</b>	<b>670.027.636</b>	<b>2.684.907.636</b>	<b>3.569.876.268</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH

**Figura No 4 - 6. Subvención calculada por gestión**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH.

En términos generales, el monto total de la subvención de la gasolina expresada en bolivianos con corte al 31 de agosto de 2020 (acumulado desde el año 2013) es de 3.569.876.268 Bs., el año que presenta mayor gasto es el 2018 con una inversión de 818.329.553 Bs., seguido del año 2019 con 793.523.890 Bs., este hecho hace que la demanda interna y el costo de esta medida aumente sin control para el Tesoro General del Estado (TGE).

**- Cálculo de la subvención de las gasolinas producto de la mezcla de etanol anhidro**

Si bien es cierto que se desea reducir sustancialmente la subvención de la gasolina especial producto de la mezcla con insumos y aditivos importados, también es necesario mencionar que existe un porcentaje de subvención a las gasolinas producto de la mezcla con etanol anhidro.

El porcentaje de subvención se debe principalmente al costo adquirido por litro de etanol anhidro a ser utilizado como Aditivo de Origen Vegetal, este costo es establecido por la ANH tras una reunión con los agro empresarios dando como resultado en  $4,94 \text{ Bs/Lt}$  (Cuatro 94/100 bolivianos por

Litro), dicho precio tiene vigencia de cinco años, pero que en la actualidad aún se está negociando, a continuación, se calcula la subvención de las gasolinas producto de la mezcla con etanol anhidro.

**Tabla No 4 - 6. Cadena de precios de súper etanol 92**

Concepto	Bs/Lt
Precio Etanol Anhidro al 12%	0,593
IVA Etanol Anhidro (Transporte, almacenaje, refinería, compensación, transporte poliducto)	1,301
Transporte Etanol Anhidro	0,029
Margen de Etanol (transporte, almacenaje, refinería, compensación, transporte poliducto)	1,341
Precio de Referencia	1,208
IEDH	0,856
<b>TOTAL</b>	<b>5,328</b>

Fuente: Resolución Administrativa RAR-ANH-DJ No 0357/2018

Datos:

Costo terminal de la Gasolina Súper Etanol = 5,328 ( $Bs/Lt$ ).

Costo de venta al mercado de Gasolina Súper Etanol = 4,50 ( $Bs/Lt$ ).

Subvención calculada:

$$Subv = Costo\ terminal\ \frac{Bs}{Lt} - Costo\ de\ venta\ \frac{Bs}{Lt}$$

$$Subv = 5,328\ \frac{Bs}{Lt} - 4,50\ \frac{Bs}{Lt}$$

$$Subv = 0,828\ \frac{Bs}{Lt}$$

- **Análisis de subvencionamiento de gasolinas producto de la mezcla de Insumos y Aditivos importados y etanol anhidro**

Con el resultado de los cálculos de subvención de Gasolina Especial producto de la mezcla de insumos y aditivos realizamos un margen promedio anual en ( $Bs/Lt$ ).

**Tabla No 4 - 7. Subvención calculada promedio [Bs/Lt]**

<b>SUBVENCIÓN CALCULADA PROMEDIO [Bs/Lt]</b>			
<b>AÑO</b>	<b>COSTO TERMINAL (Bs/Lt)</b>	<b>PRECIO AL MERCADO INTERNO (Bs/Lt)</b>	<b>SUBVENCIÓN [Bs/Lt]</b>
2013	5,75	3,74	2,01
2014	5,51	3,74	1,77
2015	6,92	3,74	3,18
2016	6,39	3,74	2,65
2017	5,06	3,74	1,32
2018	5,45	3,74	1,71
2019	5,14	3,74	1,4
2020	5,45	3,74	1,71
Promedio total			1,96

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH.

En este análisis se identifica que el costo de subvención a las Gasolinas producto de la mezcla con Etanol Anhidro representa un monto menor de  $0,83 \text{ Bs/Lt}$  con relación a la subvención de la Gasolina Especial producto de la mezcla con Insumos y aditivos con  $1,96 \text{ Bs/Lt}$ , por lo que la pérdida sería menor ante la alternativa de importar más gasolina.

En función a estos resultados Bolivia se vio a la necesidad de encontrar estrategias para minimizar estos gastos millonarios que generan desequilibrio en la economía del país, una de estas estrategias es la reducción sustancial de la subvención por la importación es por ello por lo que se realizara un análisis de la comercialización de gasolina producto de la importación y las gasolinas producto de la mezcla con etanol anhidro.

**- Comercialización de Gasolina Especial producto de la mezcla de Insumos y Aditivos Importados, en el Mercado Interno**

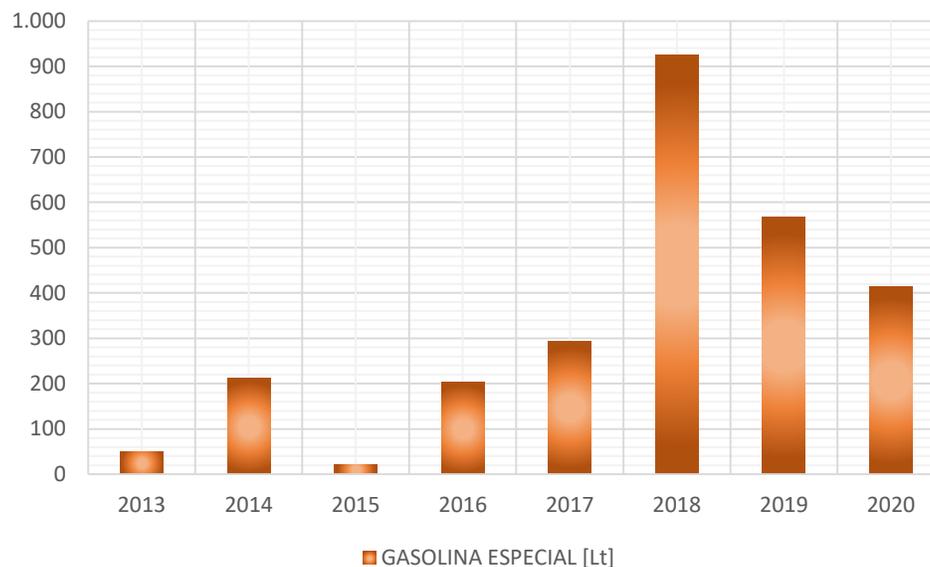
En los siguientes cuadros se detallan los volúmenes comercializados en el mercado interno de Gasolina Especial producto de la mezcla con Insumos y Aditivos importados por gestión y departamento.

**Tabla No 4 - 8. Volúmenes de Gasolina Especial por gestión**

AÑO	GASOLINA ESPECIAL [Lt]
2013	50.092.658
2014	211.264.944
2015	21.213.977
2016	202.240.394
2017	294.340.983
2018	924.666.161
2019	566.956.658
2020	414.131.860
<b>Total</b>	<b>2.684.907.636</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH.

**Figura No 4 - 7. Volúmenes de Gasolina Especial por gestión (Mlt)**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por la ANH.

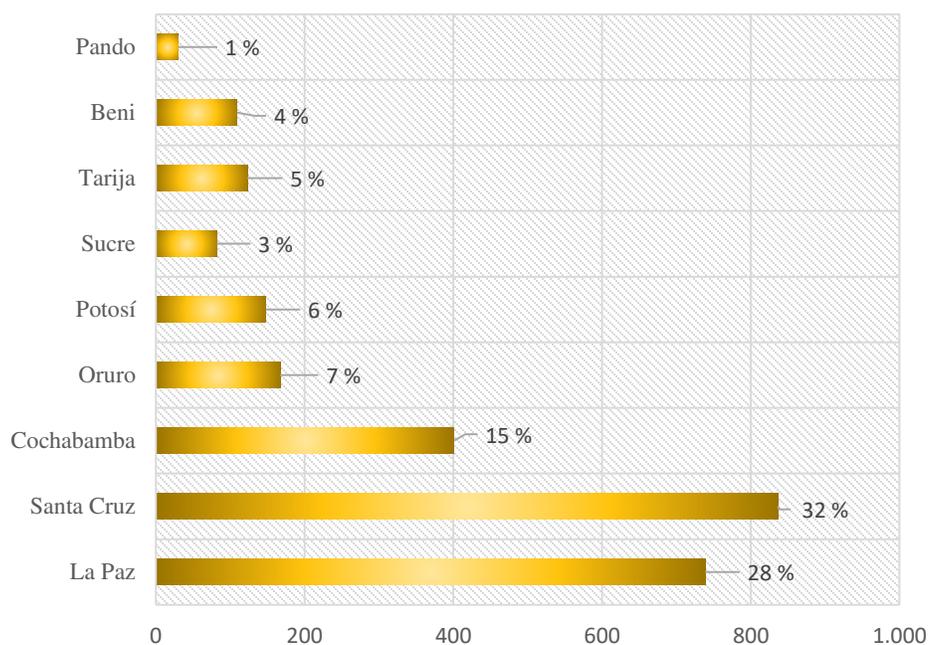
El volumen total de Gasolina Especial comercializados en el mercado interno con corte al 31 de agosto de 2020 (acumulado desde el año 2013) es de 22.684.907.636 Lt., el año que presenta mayor volumen comercializado es el 2018 con 924.666.161 Lt., seguido del año 2019 con 566.956.658 Lt.

**Tabla No 4 - 9. Volúmenes de Gasolina Especial por departamento (Lt)**

DEPARTAMENTOS	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOTAL
La Paz	60.367.774	5.920.894	55.353.717	81.625.908	259.670.890	159.216.533	116.299.258	738.454.975
Santa Cruz	68.728.366	7.020.583	67.734.555	96.121.180	289.424.753	177.460.037	129.625.173	836.114.648
Cochabamba	30.741.306	3.087.771	29.641.098	44.398.306	142.207.534	87.194.181	63.690.738	400.960.934
Oruro	12.438.909	1.278.312	12.349.434	18.236.660	59.438.576	36.444.609	26.620.860	166.807.360
Potosí	11.769.341	1.133.686	10.848.945	16.035.809	52.536.383	32.212.547	23.529.562	148.066.274
Sucre	6.092.316	631.708	6.164.339	9.111.152	29.123.321	17.856.889	13.043.513	82.023.237
Tarija	10.107.547	1.027.657	9.658.810	13.737.645	42.793.054	26.238.450	19.165.800	122.728.962
Beni	8.803.691	877.764	8.155.414	11.756.013	38.676.764	23.714.557	17.322.230	109.306.434
Pando	2.215.693	235.601	2.334.081	3.318.309	10.794.886	6.618.856	4.834.725	30.352.152

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos.

**Figura No 4 - 8. Volúmenes de Gasolina Especial por departamentos (MLt)**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

De acuerdo con el gráfico, el volumen de gasolina especial con mayor demanda se encuentra en el departamento de Santa Cruz con un 32 %, seguido del departamento de La Paz con el 28 % y el departamento con menor demanda es el de Tarija con un 1 %.

- **Comercialización de Gasolina Especial Plus y Súper Etanol 92 producto de la mezcla con Etanol Anhidro en el Mercado Interno.**

o **Comercialización de Gasolina Súper Etanol 92**

A partir del 30 de octubre del 2018, YPFB comercializa gasolina con octanaje RON 92 denominada GASOLINA SÚPER ETANOL 92, resultante de la mezcla con proporción volumétrica del 12 % de Etanol Anhidro, en ese sentido, por diferencia, se aplica la proporción volumétrica de la gasolina base en un 88 %.

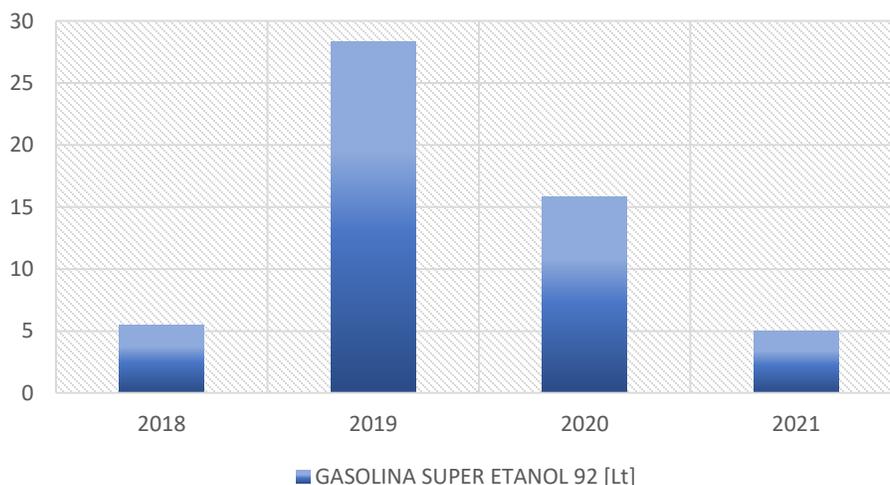
El precio determinado del combustible líquido con octanaje 92 es de 4,50 Bs/Lt el cual incluye IVA., a continuación, se detalla los volúmenes comercializados por gestión y departamento:

**Tabla No 4 - 10. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por gestión (Lt)**

AÑO	GASOLINA SÚPER ETANOL 92 [Lt]
2018	5.479.424
2019	28.308.031
2020	15.788.277
2021	5.001.007
<b>Total</b>	<b>54.576.739</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

**Figura No 4 - 9. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por gestión (Mlt)**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

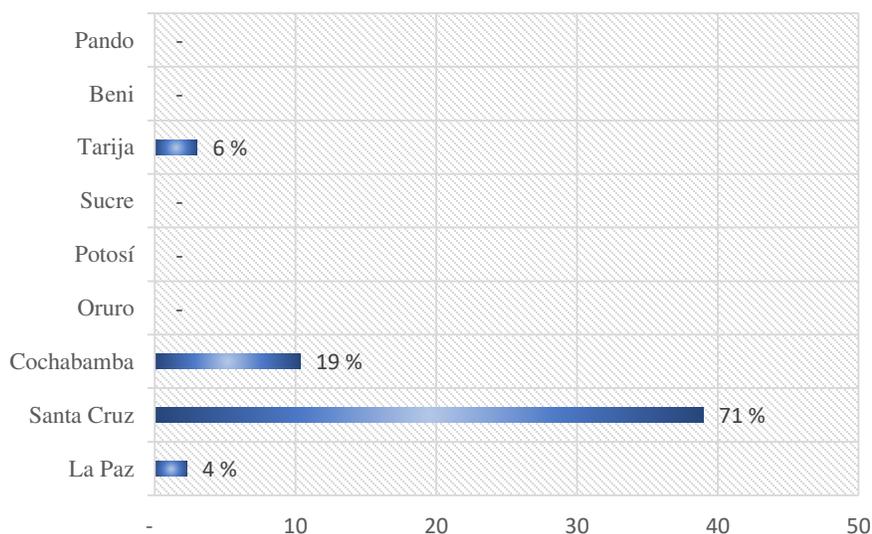
El volumen total de Gasolina Súper Etanol 92 comercializados en el mercado interno con corte a marzo 2021 (acumulado desde noviembre 2018) es de 54.576.739 Lt., el año que presenta mayor demanda es el 2019 con 28.308.031 Lt.

**Tabla No 4 - 11. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por departamento (Lt)**

DEPARTAMENTOS	2018	2019	2020	A mar-2021	TOTAL
<b>La Paz</b>	347.441	1.329.924	484.751	123.000	2.285.116
<b>Santa Cruz</b>	3.874.477	19.913.882	11.543.689	3.625.231	38.957.278
<b>Cochabamba</b>	845.657	5.429.352	3.043.851	1.010.496	10.329.355
<b>Oruro</b>	-	-	-	-	-
<b>Potosí</b>	-	-	-	-	-
<b>Sucre</b>	-	-	-	-	-
<b>Tarija</b>	411.850	1.634.874	715.985	242.280	3.004.989
<b>Beni</b>	-	-	-	-	-
<b>Pando</b>	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

**Figura No 4 - 10. Volúmenes de Gasolina Súper Etanol 92 por departamento (MLt)**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

De acuerdo con el gráfico, el volumen de Gasolina Súper Etanol 92 con mayor demanda se encuentra en el departamento de Santa Cruz con un 71 %, seguido del departamento de Cochabamba con el 19 % y los departamentos que no presentan ningún porcentaje son Pando, Beni, Sucre, Potosí, Oruro.

○ **Comercialización de Gasolina Especial Plus**

Debido a la baja demanda de la “Gasolina Súper Etanol 92”, que contiene 12% de etanol y cuesta 4,50 bolivianos/litro, en mayo del 2019 ingresa al mercado interno la comercialización de GASOLINA ESPECIAL PLUS (GE+), resultante de la mezcla con proporción volumétrica del 8% de Etanol Anhidro.

El precio determinado del combustible líquido es de 3,74 Bs/Lt precio que resulta igual que la gasolina especial con el objetivo de masificar la venta, a continuación, se detalla los volúmenes comercializados por gestión y departamento:

**Tabla No 4 - 12. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por gestión**

AÑO	GASOLINA ESPECIAL PLUS [Lt]
2019	465.631.209
2020	868.336.762
2021	261.663.892
<b>Total</b>	<b>1.595.631.863</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

**Figura No 4 - 11. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por gestión (MLt)**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

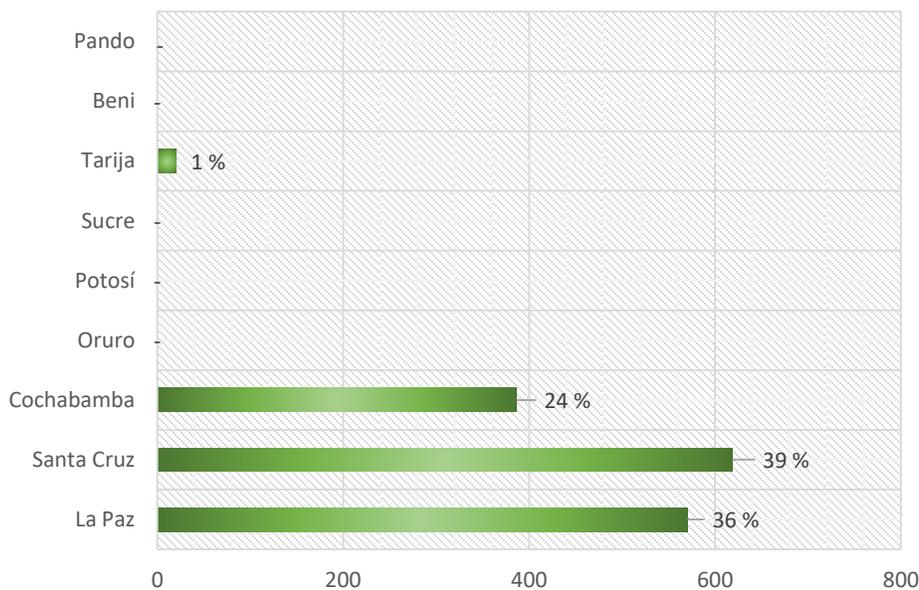
El volumen total de Gasolina Especial Plus comercializados en el mercado interno con corte a marzo 2021 (acumulado desde el año 2019) es de 1.595.631.863 Lt., el año que presenta mayor demanda es el 2020 con 868.336.762 Lt.

**Tabla No 4 - 13. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por departamentos (Lt)**

DEPARTAMENTOS	2019	2020	A mar-2021
<b>La Paz</b>	173.234.240	305.036.289	91.952.150
<b>Santa Cruz</b>	157.292.588	353.388.649	107.951.722
<b>Cochabamba</b>	132.624.960	196.441.824	57.685.020
<b>Oruro</b>	0	0	0
<b>Potosí</b>	0	0	0
<b>Sucre</b>	0	0	0
<b>Tarija</b>	2.479.420	13.470.000	4.075.000
<b>Beni</b>	0	0	0
<b>Pando</b>	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>465.631.209</b>	<b>868.336.762</b>	<b>261.663.892</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

**Figura No 4 - 12. Volúmenes de Gasolina Especial Plus por departamentos (Lt)**

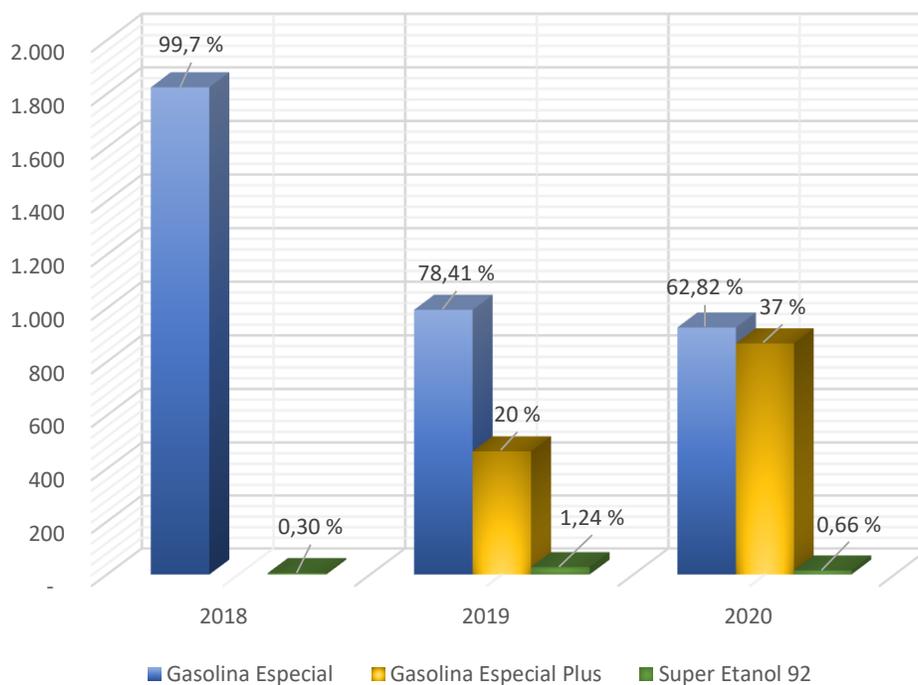


Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

De acuerdo con el grafico, el volumen de Gasolina Especial Plus con mayor demanda se encuentra en el departamento de Santa Cruz con un 39 %, seguido del departamento de La Paz con el 36 % y los departamentos que no presentan ningún porcentaje son Pando, Beni, Sucre, Potosí, Oruro.

- **Análisis comparativo entre Volúmenes Comercializados de Gasolina Especial, Gasolina Especial Plus y Gasolina Súper Etanol 92.**

**Figura No 4 - 13. Volúmenes comercializados de Gasolina Especial, Gasolina Especial Plus y Gasolina Súper Etanol 92 (MLt).**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

El volumen de Gasolina Especial representa mayor demanda de comercialización en las tres gestiones, el 2018 con un 99,7 % seguido de la Gasolina Súper Etanol 92 con un 0,30 % debido a que ingreso al mercado en noviembre 2018 y hasta el año 2020 no ha significado un promedio comprometedor, también cabe resaltar que la demanda de Gasolina Especial Plus ingresando al mercado en el año 2019 va en un crecimiento gradual representando un 37% en el año 2020.

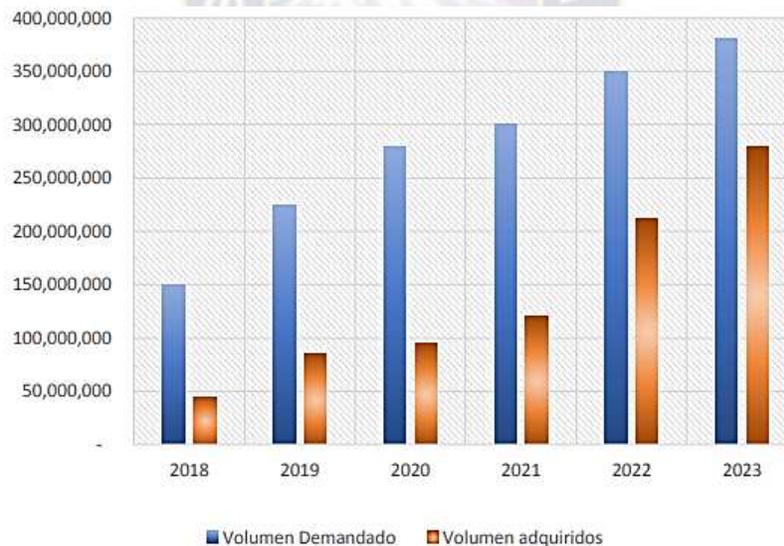
#### 4.1.2. Mercado objetivo

##### - Análisis de oferta

Actualmente son ocho las industrias azucareras que participan en la producción de Etanol Anhidro localizadas en los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Tarija, cabe resaltar que Bolivia cuenta con 30 millones de hectáreas para la producción agropecuaria, y se utiliza menos de la quinta parte. Como ya se había mencionado el 2019 YPFB firmó un contrato para la compra de 150 millones de litros de etanol anhidro a octubre solo adquirió 45 millones, para el 2020 se realizó un nuevo contrato de compra de 225 millones de litros de etanol.

A continuación, realizamos un pronóstico anual de los volúmenes ofrecidos por los agros y el volumen que se está adquiriendo por parte de YPFB.

**Figura No 4 - 14. Pronostico anual de oferta de volúmenes de etanol anhidro**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

De acuerdo con el gráfico, los volúmenes de Etanol Anhidro ofrecidos por las empresas agroindustriales son mayores a la demanda requerida por parte de YPFB.

Entre las empresas que fueron otorgadas las licencias de operación para la producción de Etanol Anhidro, así como la comercialización para su uso como aditivo de origen vegetal están el

INGENIO AZUCARERO GUABIRA SOCIEDAD ANÓNIMA I.A.G.S.A., INGENIO SUCROALCOHOLERO AGUAI S.A., UNIÓN AGROINDUSTRIAL DE CAÑEROS UNAGRO S.A., SODERAL S.A.

- **Análisis de demanda**

De acuerdo con las figuras No 4 – 10 y 4 - 12, los volúmenes demandados de Gasolina Especial Plus y Gasolina Súper Etanol 92 con mayor demanda se encuentra en el departamento de Santa Cruz con un 39 %, seguido del departamento de La Paz con el 36 %, Cochabamba con 24 % y Tarija con el 1 %, los departamentos que no presentan ningún porcentaje son Pando, Beni, Sucre, Potosí, Oruro. Por tanto, actualmente la demanda de Gasolinas con mezcla de Etanol Anhidro es menor respecto a la oferta, esto se debe primordialmente a la falta de estacionamientos en los 5 departamentos.

#### **4.2. VIABILIDAD FINANCIERA DEL PROYECTO**

La viabilidad financiera del proyecto se desarrolla en base a los resultados de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). La inversión inicial y costos de los equipos se efectúan de manera aproximada mediante datos de cotizaciones existentes o correlaciones apropiadas.

##### **4.2.1. Inversiones del proyecto**

Al ingresar a la era de los combustibles verdes, Yacimientos petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) realiza una inversión que supera los 41 millones de dólares, para **ampliar sus plantas y su forma de despacho**, así de esta manera poder almacenar hasta 10 millones de litros de alcohol anhidro por mes para la producción de Gasolina Especial Plus y Súper Etanol 92. Es por ello por lo que se estima un promedio de inversión de **259.423** dólares, para la construcción de un tanque nuevo y específico para el almacenamiento de Etanol Anhidro.

#### 4.2.2. Estimación de coste

A continuación, se presenta el costo de suministro y mano de obra para la implementación e instalación del tanque de almacenamiento para etanol anhidro, (Todos los precios incluyen IVA).

##### 4.2.2.1. Costo de los materiales

**Tabla No 4 - 14. Costo del material**

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD Kg.	PRECIO UNITARIO \$/Kg	PRECIO TOTA \$
CUERPO	Anillo 1	2.500	3,1	7.750,00
	Anillo 2	2.500	3,1	7.750,00
	Anillo 3	2.500	3,1	7.750,00
	Anillo 4	2.500	3,1	7.750,00
	Anillo 5	2.500	3,1	7.750,00
	Anillo 6	2.500	3,1	7.750,00
	Anillo 7	2.500	3,1	7.750,00
FONDO		7.600	3,1	23.560,00
<b>TOTAL</b>				<b>77.810,00</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de la empresa Soderal.

##### 4.2.2.2. Costo de los accesorios

**Tabla No 4 - 15. Costo de los accesorios**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD Glb	PRECIO UNITARIO \$/Glb	PRECIO TOTAL\$
Sumideros	1	600	600
Boca Cuerpo Entrada/salida	1	62,5	62,5
Boca Sumidero	1	50	50
Cleanout	1	1.180	1.180
Manhole	1	780	780
Escalera	1	3.900	3.900
Plataforma	1	3.050	3.050
Pasarela	1	15.800	15.800
Domo Geodésico de aluminio	1	31.600	31.600
Membrana Flotante de Aluminio	1	16.000	16.000
Materiales para el Difusor Interno	1	2.300	2.300
<b>TOTAL</b>			<b>75.322,50</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de la empresa Soderal.

#### 4.2.2.3. Costo mano de obra

Tabla No 4 - 16. Costo de mano de obra

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTA \$
<b>CUERPO</b>	Anillo 1	2.500 Kg	2,7 \$/Kg	6.750
	Anillo 2	2.500 Kg	2,5 \$/Kg	6.250
	Anillo 3	2.500 Kg	2,5 \$/Kg	6.250
	Anillo 4	2.500 Kg	2,5 \$/Kg	6.250
	Anillo 5	2.500 Kg	2,5 \$/Kg	6.250
	Anillo 6	2.500 Kg	2,5 \$/Kg	6.250
	Anillo 7	2.500 Kg	2,5 \$/Kg	6.250
FONDO		7.600 Kg	2,6 \$/Kg	19.760
Sumideros		1 Glb	315 \$/Glb	315
Boca Cuerpo Entrada/salida		1 Glb	40 \$/Glb	40
Boca Sumidero		1 Glb	35 \$/Glb	35
Cleanout		1 Glb	620 \$/Glb	620
Manhole		1 Glb	670 \$/Glb	670
Escalera		1 Glb	1.500 \$/Glb	1.500
Plataforma		1 Glb	2.300 \$/Glb	2.300
Pasarela		1 Glb	7.600 \$/Glb	7.600
Domo Geodésico de aluminio		1 Glb	13.200 \$/Glb	13.200
Membrana Flotante de Aluminio		1 Glb	7.100 \$/Glb	7.100
Materiales para el Difusor Interno		1 Glb	8.900 \$/Glb	8.900
<b>TOTAL</b>				<b>106.290</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de la empresa Soderal.

**Tabla No 4 - 17 Costo total de inversión del proyecto**

DESCRIPCIÓN		COSTO DEL MATERIAL				COSTO MANO DE OBRA				COSTO TOTAL \$	COSTO TOTAL Bs
		CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTA \$	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTA \$				
<b>CUERPO</b>	Anillo 1	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,7	\$/Kg	6.750	14.500	100.195
	Anillo 2	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,5	\$/Kg	6.250	14.000	96.740
	Anillo 3	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,5	\$/Kg	6.250	14.000	96.740
	Anillo 4	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,5	\$/Kg	6.250	14.000	96.740
	Anillo 5	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,5	\$/Kg	6.250	14.000	96.740
	Anillo 6	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,5	\$/Kg	6.250	14.000	96.740
	Anillo 7	2.500	Kg	3,1	\$/Kg	7.750	2,5	\$/Kg	6.250	14.000	96.740
<b>FONDO</b>		7.600	Kg	3,1	\$/Kg	23.560	2,6	\$/Kg	19.760	43.320	299.341,2
Sumideros		1	Glb	600	\$/Glb	600	315	\$/Glb	315	915	6.322,65
Boca Cuerpo Entrada/salida		1	Glb	62,5	\$/Glb	63	40	\$/Glb	40	103	708,275
Boca Sumidero		1	Glb	50	\$/Glb	50	35	\$/Glb	35	85	587,35
Cleanout		1	Glb	1.180	\$/Glb	1.180	620	\$/Glb	620	1.800	12.438
Manhole		1	Glb	780	\$/Glb	780	670	\$/Glb	670	1.450	10.019,5
Escalera		1	Glb	3.900	\$/Glb	3.900	1.500	\$/Glb	1.500	5.400	37.314
Plataforma		1	Glb	3.050	\$/Glb	3.050	2.300	\$/Glb	2.300	5.350	36.968,5
Pasarela		1	Glb	15.800	\$/Glb	15.800	7.600	\$/Glb	7.600	23.400	161.694
Domo Geodésico de aluminio		1	Glb	31.600	\$/Glb	31.600	13.200	\$/Glb	13.200	44.800	309.568
Membrana Flotante de Aluminio		1	Glb	16.000	\$/Glb	16.000	7.100	\$/Glb	7.100	23.100	159.621
Materiales para el Difusor Interno		1	Glb	2.300	\$/Glb	2.300	8.900	\$/Glb	8.900	11.200	77.392
<b>TOTAL</b>										<b>259.423</b>	<b>1.792.609</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.2.3. Flujo de caja

#### FLUJO DE CAJA

CUENTAS	0	2020	2021	2022	2023	2024
INVERSIÓN						
<b>TOTAL, DE INVERSIÓN</b>	1.792.609					
INGRESOS						
Ahorro por costo de alquiler de almacenaje en		712.800	712.800	712.800	712.800	712.800
<b>TOTAL, INGRESO</b>		<b>712.800</b>	<b>712.800</b>	<b>712.800</b>	<b>712.800</b>	<b>712.800</b>
EGRESOS						
Costo operativo		28.000	28.000	28.000	28.000	28.000
Margen de Almacenamiento		48.000	55.200	62.400	69.600	76.800
IVA Mg. Almacenamiento		9.600	9.600	9.600	9.600	9.600
<b>TOTAL, DE EGRESOS</b>		<b>85.600</b>	<b>92.800</b>	<b>100.000</b>	<b>107.200</b>	<b>114.400</b>
<b>Margen bruto</b>		<b>627.200</b>	<b>620.000</b>	<b>612.800</b>	<b>605.600</b>	<b>598.400</b>
<b>IEDH</b>	<b>19%</b>	<b>119.168</b>	<b>117.800</b>	<b>116.432</b>	<b>115.064</b>	<b>113.696</b>
<b>Utilidad Neta</b>		<b>508.032</b>	<b>502.200</b>	<b>496.368</b>	<b>490.536</b>	<b>484.704</b>
<b>Depreciación</b>		<b>12.000</b>	<b>12.000</b>	<b>12.000</b>	<b>12.000</b>	<b>12.000</b>
<b>FLUJO DE FONDOS</b>		<b>496.032</b>	<b>490.200</b>	<b>484.368</b>	<b>478.536</b>	<b>472.704</b>

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos de la empresa Soderal.

#### 4.2.4. Cálculo de indicadores VAN y TIR

##### 4.2.4.1. Evaluación mediante el Valor Actual Neto (VAN)

Para el cálculo del VAN, se usará la tasa de interés (k) del 5% de acuerdo a los datos recabados por la Planta, asimismo, el periodo de evaluación es de 5 años. El monto de inversión destinadas a la construcción del tanque es de **1.792.609 Bs** (259.423 \$) aplicando la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

F<sub>t</sub> = Son los flujos de dinero en cada periodo t.

I<sub>0</sub> = Es la inversión realizada en el momento inicial (t=0)

n = Es el número de años

k = Es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión.

Se obtiene:

VALOR ACTUAL NETO	5%	SALDOS ANUALES				
PERIODOS SALDOS ACTUALIZADOS	0	2020	2021	2022	2023	2024
Resultado Neto de la gestión	<b>-1.792.609</b>	496.032	490.200	484.368	478.536	472.704
-1.792.609	$\frac{-1.792.609}{(1+0.05)^0}$					
472.411,43	$\frac{496.032}{(1+0.05)^1}$					
444.625,85	$\frac{490.200}{(1+0.05)^2}$					
418415.29	$\frac{484.368}{(1+0.05)^3}$					
393.692,75	$\frac{478.536}{(1+0.05)^4}$					
370.375,95	$\frac{472.704}{(1+0.05)^5}$					
<b>VAN = Bs</b>						
<b>306.912,27</b>						

#### 4.2.4.2. Evaluación mediante la Tasa Interno de Retorno (TIR)

La TIR es la Tasa Interno de Retorno del proyecto de inversión que permite que el beneficio neto actualizado sea igual a la inversión (VAN igual a cero). La TIR es la máxima tasa de descuento que un proyecto puede tener para ser rentable.

Se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Donde:

$F_t$  = Son los flujos de dinero en cada periodo  $t$ .

$I_0$  = Es la inversión realizada en el momento inicial ( $t=0$ )

$N$  = Es el número de años.

Se obtiene:

TASA INTERNO DE RETORNO	SALDOS ANUALES					
	0	2020	2021	2022	2023	2024
PERIODOS SALDOS ACTUALIZADOS AL MOMENTO 0						
Resultado Neto de la gestión	- <b>1.792.609</b>	496.032	490.200	484.368	478.536	472.704
	$\frac{1.792.609}{(1+TIR)^0}$					
	$\frac{496.032}{(1+TIR)^1}$					
	$\frac{490.200}{(1+TIR)^2}$					
	$\frac{484.368}{(1+TIR)^3}$					
	$\frac{478.536}{(1+TIR)^4}$					
VAN = 0	$\frac{472.704}{(1+TIR)^5}$					
<b>TIR = 11 %</b>						

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se analizó las características de diseño de los dos tanques convencionales a los que se están adecuando el Etanol Anhidro y se identificó que en un periodo corto se puedan presentar problemas técnicos y operativos como por ejemplo la corrosión.
- Se determinó las dimensiones y parámetros de diseño en función a la Norma API, la demanda volumétrica y a los respaldos de Normativas y Resoluciones que reglamentan la adecuación y/o construcción de tanques para el almacenaje de Etanol.
- Se diseñó el tanque con el tipo de techo de Domo Geodésico de Aluminio y Cubierta Interna Flotante, a través de un análisis que determina las ventajas de generar un control sobre la volatilidad que presenta el Etanol Anhidro y las pérdidas por evaporación en la operación de llenado y vaciado.
- Se determinó un sistema de pintura y protección catódico para proteger el tanque de los problemas de corrosión provocados por el tipo de suelo y por las propiedades del Etanol Anhidro por la presencia de iones como el cloruro y ácidos orgánicos e inorgánicos.
- Se realizó un análisis económico del aprovechamiento estratégico de utilizar Etanol Anhidro como en Aditivo Oxigenante de Origen Vegetal para sustituir parcialmente la importación de Aditivos Oxigenantes Fósiles y reducir sustancialmente la subvención de la gasolina.
- Se realizó una evaluación económica mediante una estimación del costo más probable del proyecto, donde de acuerdo con los resultados del VAN = 306.912,27 Bs y TIR = 11 %, se considera que el proyecto es factible para su desarrollo.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para aplicaciones más específicas del presente proyecto se recomienda obtener información más detallada acerca de la hostilidad de la zona para determinar si el método de protección catódica no sea adsorbido por un equipo metálico enterrado cerca, lo cual afectaría su funcionalidad.
- Para la aplicación del presente trabajo se recomienda realizar estudios para la aplicación de procedimientos de soldadura bajo los criterios establecidos por la sección 7, 9 y anexo C de la Norma API 650 ya que no contempla el proyecto.
- Se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que contemple la medición del potencial entre el suelo y el tanque, para verificar si el tanque está protegido contra la corrosión, debido a que los ánodos de sacrificio propuestos varían su vida útil entre 3 a 5 años.
- Se recomienda que la Planta Senkata realice los controles respectivos, considerando los estudios del presente trabajo para contrarrestar los problemas de corrosión y pérdidas por evaporación que se puedan presentar en los tanques convencionales por el almacenamiento de etanol anhidro.

## **BIBLIOGRAFÍA. –**

LEY N°1098 de 15/09/2018 Marco Normativo para Aditivos de Origen Vegetal.

Resolución Ministerial No 183 del 28 de diciembre del 2018. Reglamento de las características técnicas de calidad del Etanol Anhidro.

Resolución Ministerial No 121 del 3 de octubre del 2018. Reglamento de las características técnicas de calidad de la Gasolina Base para su mezcla con Aditivos de Origen Vegetal.

Resolución Administrativa RAR-ANH-DRC No 0081/2019 del 11 de abril del 2019. Reglamento de las características técnicas de calidad de la Gasolina Especial +

API-650. 2013. Storage, Welded Tanks for Oil. Washington, D.C.: Twelfth edition.

INGLESA. 1990. Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento. México: s.n., 1990.

NEC. 2014. Norma ecuatoriana de la construcción. ECUADOR: s.n., 2014.

Norma NRF-015-PEMEX-2003 “Protección de Áreas y Tanque de Almacenamiento de Productos Inflamables y Combustibles”, 2004.

Norma NRF-010-PEMEX-2001 “Espaciamientos Mínimos y Criterios para la Distribución de Instalaciones Industriales en Centros de Trabajo de Petróleos mexicanos y Organismos Subsidiarios”, 2004.

Norma API SPC 12D, “Specification for Field Welded Tanks for Storage of Production Liquids”, 1994.

Especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6) y la infraestructura para su manejo en México – 2018.

Corporación Química Venezolana CORQUIVEN, C.A. 2019, hoja de seguridad – Alcohol Etílico.

PDVSA ENGINEERING DESIGN GUIDES "SAFETY DESIGN GUIDE" N° 99622.1.001 ISSUE DEC/87. CARACAS, VENEZUELA.

## ANEXOS

### ANEXO A

**Tabla No A - 1 Análisis FODA**

<b>FORTALEZA</b>		<b>OPORTUNIDAD</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad de diseñar un tanque específico para el etanol anhidro considerando sus propiedades físico químicas para contrarrestar problemas técnicos y operativos.</li> <li>- Diseñar un nuevo tanque que permite almacenar grandes volúmenes de Etanol Anhidro para abastecer la demanda.</li> <li>- Contar con una base de datos volumétricos de insumos y aditivos importados y producción de etanol anhidro como aditivo oxigenante, para realizar un análisis económico.</li> <li>- Disponer de normativas, resoluciones y decretos que permitan diseñar el tanque bajo reglamentos establecidos.</li> <li>- Mejorar el octanaje de la gasolina, mediante la mezcla con etanol anhidro como aditivo oxigenante.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contar con el presupuesto necesario, debido a que YPFB cuenta con un saldo destinado para la adecuación y construcción de tanques de Etanol Anhidro.</li> <li>- Sustituir parcialmente la importación de aditivos oxigenantes fósiles.</li> <li>- Reducir sustancialmente el subvencionamiento de la gasolina.</li> <li>- Efectuar la construcción del tanque respaldado bajo la Resolución Administrativa RAN-ANH-DJ No 22/2018 donde determina la autorización para la construcción o adecuación y operación de las instalaciones para el almacenaje de aditivos de origen vegetal.</li> </ul>
<b>DEBILIDADES</b>		<b>AMENAZAS</b>	
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtener una información básica referente a los tanques convencionales que actualmente se almacena Etanol Anhidro. El Aditivo Oxigenante de Origen Vegetal es producido en distintos departamentos a una distancia significativa de la planta.</li> <li>- Seguimiento deficiente al implementar el proyecto.</li> <li>- Aun en 5 departamentos no se cuenta con la gasolina resultante de la mezcla con el etanol</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento del precio del Etanol Anhidro, lo que provocaría que el proyecto de los Biocombustibles no sea rentable.</li> <li>- Construir un tanque de almacenamiento de Etanol Anhidro en una zona urbana muy poblada.</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia.

**ANEXO B**

**Tabla No B - 1 Ventajas y desventajas del diseño del tanque propuesto**

<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TIPO DE TANQUE PROPUESTO EN COMPARACIÓN CON LOS TANQUES CONVENCIONALES</b>		
<b>DISEÑO DE TANQUE PROPUESTO</b>	<b>TANQUE CONVENCIONAL</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<p>Las pérdidas por evaporación en techos flotantes son reducidas en un 95 % ya que al estar en contacto con el producto elimina la superficie libre del líquido evitando la evaporación, lo que representa un ahorro apreciable del producto que se está disipando en la atmosfera.</p>	<p>Unas de las grandes desventajas de los techos fijos son las pérdidas por evaporación ocasionadas en las operaciones de llenado y vaciado. Durante el llenado, los vapores en el espacio libre son desalojados al ambiente mediante las válvulas de presión al vacío y luego con el vaciado se succiona aire fresco hacia el interior del tanque, propiciando nueva evaporación.</p>
	<p>El diseño con el tipo de techo de DOMOS GEODÉSICOS DE ALUMINIO eliminan la necesidad de columnas y minimiza la formación de asentamientos localizados, su bajo peso permite una construcción modular lo que hace fácil su instalación.</p>	<p>Al estar diseñados con techo fijo de acero al carbono, son sumamente pesados que traen consigo problemas por los asentamientos localizados que ocurren debajo de las columnas ocasionando la falla de soldadura de las planchas de fondo, produciéndose problemas de filtraciones que son fuente de contaminación de suelos.</p>
	<p>El domo geodésico al estar sometidos a la acción de la lluvia, contaminantes, etc., sin ningún tipo de protección o mantenimiento, han mostrado gran resistencia a la corrosión aún en lugares de reconocida agresividad ambiental, lo que representa una vida útil de más de 40 años.</p>	<p>La superficie exterior de los tanques de acero al carbono están expuestos al medio ambiente, por lo que debe ser pintada cada 5 años para proteger el acero y así evitar deterioros por corrosión, lo que representa una vida útil de 15 años.</p>
	<p>La resistencia a la corrosión del domo geodésico de aluminio sin ninguna protección es aproximadamente diez veces mayor al del acero al carbón incluso en ambientes con alta humedad ambiental.</p>	<p>Los tanques de techo fijo de acero al carbono están expuestos al vapor del producto almacenado (Etanol Anhidro) y a la presencia de Cloruros, sulfato hierro y sodio provenientes del proceso productivo por lo que existe altos índices de deterioro del metal por corrosión.</p>

	<b>DISEÑO DE TANQUE PROPUESTO</b>	<b>TANQUE CONVENCIONAL</b>
<b>VENTAJAS</b>	La seguridad intrínseca del tanque con el domo geodésico y la cubierta interna flotante minimiza los riesgos de incendio al actuar sobre el límite de inflamabilidad del etanol. Además de que el aluminio tiene una conductividad eléctrica de un 70 % superior al acero lo que permite proteger al tanque de descargas atmosféricas absorbiendo cualquier electricidad estática.	las descargas atmosféricas en tanques de acero pueden generar chispas por corriente estática, esta situación podría ser un origen potencial de ignición espontánea, una posibilidad de relativa peligrosidad en el almacenamiento del producto inflamable.
	El tiempo de instalación requeridos para la construcción del tanque son de 7 semanas, lo que implica la disminución de la labor y por ende de las Horas-Hombre de exposición, lo que representa un 20% de la labor en comparación con los techos de acero soldado.	El tiempo de instalación que se efectuó para la construcción de este tipo de tanques son de más de 20 semanas.
	El cuerpo y fondo del tanque está diseñada para construirse con acero al carbón, por lo que se dispondrá de un sistema de protección catódica mediante la incorporación de ánodos de sacrificio y un sistema de pintura.	El cuerpo y fondo del interior del tanque no presenta ningún tipo sistema de protección anticorrosiva lo que genera un desgaste del metal, debido a que el Etanol no es compatible con el acero al carbón.
	La necesidad de requerir reparación del tanque en especial el techo, es practico ya que las piezas a cambiar pueden ser movilizadas manualmente y ser remplazadas en muy poco tiempo.	La posibilidad de tener que reparar alguna sección del tanque involucra la necesidad de grúas, soldadura, oxicorte, haciendo más complicado este procedimiento.
<b>DESVENTAJAS</b>	El sistema de protección contra derrames propuesto es mediante el uso de geomenbranas de Polietileno de Alta Densidad HDPE, ya que tiene mejor alcance como barrera de protección, pero involucra un costo adicional al presupuesto.	La planta cuenta con su propio sistema de protección contra derrames con un costo mínimo ya que esta está diseñado en baso a concreto fino.
	Se requiere mayor tiempo para la construcción de un nuevo tanque.	Estos tanques se pueden adecuar a las características del etanol a un corto plazo.

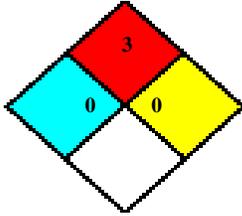
Fuente: Elaboración Propia.

## ANEXO C

### Tabla No C - 1 Hoja de seguridad del Alcohol Etilico

#### HOJA DE SEGURIDAD

#### ALCOHOL ETÍLICO



Rótulo NFPA



**Fecha Revisión:** 15/10/2019

TELÉFONOS DE EMERGENCIA: 800-10-55-60

#### IDENTIFICACIÓN

- Sinónimos:** Etanol, Alcohol anhidro, Metil carbinol, Alcohol Desnaturalizado.
- Fórmula:**  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- Composición:** Etanol: 95.00°alcoholico
- Número CAS:** 64-17-5
- Número UN:** 1170
- Clases UN:** 3.2
- Usos:** Disolvente para resinas, grasa, aceites, ácidos grasos, hidrocarburos, hidróxidos alcalinos. Como medio de extracción por solventes, fabricación de intermedios, derivados orgánicos, colorantes, drogas sintéticas, elastómeros, detergentes, soluciones para limpieza, revestimientos, cosméticos, anticongelante, antisépticos, medicina.

#### ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

**Almacenamiento:** Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Depositar en contenedores herméticamente cerrados. Los equipos eléctricos y de iluminación deben ser a prueba de explosión.

**Tipo de recipiente:**

**Manipulación:** Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente.

**RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN**

**Punto de inflamación (°C):** 17 c.c.

**Temperatura de auto ignición (°C):** 422

**Límites de inflamabilidad (%V/V):** 3.3 - 19

**Peligros de incendio y/o explosión:**

Inflamable. Se evapora fácilmente. Sus vapores se depositan en las zonas bajas y pueden formar mezclas explosivas con el aire si se concentran en lugares confinados.

**Productos de la combustión:**

Se liberan óxidos de carbono.

**Precauciones para evitar incendio y/o explosión:**

Evitar toda fuente de ignición o calor. Separar de materiales incompatibles. Conectar a tierra los contenedores para evitar descargas electrostáticas. Mantener buena ventilación y no fumar en el área de trabajo. Los equipos de iluminación y eléctricos deben ser a prueba de explosión.

**Procedimientos en caso de incendio y/o explosión:**

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Retirar los contenedores del fuego si no hay riesgo, en caso contrario, enfriarlos usando agua en forma de rocío desde una distancia segura.

**Agentes extintores del fuego:**

Polvo químico seco, espuma para alcohol, dióxido de carbono o agua en forma de rocío.

**PROCEDIMIENTOS EN CASO DE ESCAPE Y/O DERRAME**

Evacuar o aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. No permitir que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Si el derrame es pequeño dejarlo evaporar, también se puede absorber con toallas de papel. Si es grande recolectar el líquido con equipos que no desprendan chispas para evitar que se encienda.

Fuente: Corporación Química Venezolana CORQUIVEN.

**Tabla No C - 2 Reglamento de las características técnicas de calidad del etanol anhidro**

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	LÍMITE	MÉTODO	
			NBR	ASTM
Aspecto	-	Claro y libre de impurezas	Visual	
Acidez total, máx.	mg/L	30	16047	D1613, D7795
Conductividad eléctrica, máx.	µs/m	300	10547	D1125
Densidad a 68°F (20°C)	g/cm <sup>3</sup>	0,7915 máx.	5992	D4052
			15639	
Graduación Alcohólica	% vol	99,5 mín.	5992	D891
			15639	
Contenido de Etanol, mín.	% vol	98	16041	D5501
Contenido de agua, máx.	% vol	0,5	15531	E203, E1064
			15888	
Contenido de Metanol, máx.	% vol	0,5	16041	D5501
Residuo de evaporación, máx.	mg/100 ml	5	8644	-
Cloruros	mg/kg	1	10894	D7328
				D7319
Sulfato, máx.	mg/kg	4	10894	D7328
				D7319

Fuente: Resolución Ministerial No 183 del 28 de diciembre del 2018.

**Tabla No C - 3 Reglamento de las características técnicas de calidad de la Gasolina Base para su mezcla con Aditivos de Origen Vegetal.**

Prueba	Especificaciones				Unidad	Método ASTM		
	VERANO (*)		INVIERNO			Altern. 1	Altern. 2	Altern. 3
	Min.	Máx.	Min.	Máx.				
Gravedad específica a 15,6/15,6 °C	Informar		Informar			D 1298	D 4052	
Relación V/L = 20 (760 mmHg)	51(124)		51 (124)		°C (°F)	D 5188	D 2533	D 4814
Tensión de vapor Reid a 100°F (37.8°C)	7,0	11.5	7,0	11,5	psig	D 323	D 5191	D 6378
Corrosión lámina de cobre (3h/50°C)		1		1		D 130		
Azufre total		0,05		0,05	% peso	D 1266	D 4294	
Octanaje RON	85		85			D 2699		
Octanaje MON	Informar		Informar			D 2700		
Índice antidetonante (RON+MON)/2	Informar		Informar					
Color	Incoloro a Ligeramente amarillo					Visual		
Apariencia	Cristalina		Cristalina			Visual		
Poder calorífico	Informar		Informar		BTU/lb	D 2890		
Destilación Engler (760 mmHg)						D 86		
10% vol.		65(149)		60 (140)	°C (°F)			
50% vol.	77(170)	118 (245)	77(170)	116 (240)	°C (°F)			
90% vol.		190 (374)		185 (365)	°C (°F)			
Punto Final		225 (437)		225 (437)	°C (°F)			
Residuo		2		2	% vol.			
Contenido de Aromáticos Totales		42		42	% vol.	D 1319	D 6730	
Contenido de Olefinas		18		18	% vol.	D 1319	D 6730	
Contenido de Benceno		3		3	% vol.	D 3606	D 5769	D 6730
Contenido de Manganeso		18		18	mg Mn/L	D 3831		
Contenido de Oxígeno		2,7		2,7	% peso	D 4815	D 6730	

Fuente: Resolución Ministerial No 121 del 3 de octubre del 2018.

**Tabla No C - 4 Reglamento de las características técnicas de calidad de la Gasolina Especial Plus**

PRUEBA	VERANO*		INVIERNO		UNIDAD	MÉTODO ASTM		
	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.		ALTER. 1	ALTER. 2	ALTER. 3
Gravedad Específica a 15.6/15.6 °C	Informar		Informar			D-1298	D-4052	D-6378
Tensión de Vapor Reid a 100°F (37,8°C)	7	11,5	7	11,5	psig	D-323	D-5191	D-6378
Contenido de Plomo (**)		0,013		0,013	G Pb/L	D-3237	D-5059	
Corrosión Lámina de Cobre (3h/50°C)		1		1		D-130		
Azufre Total		0.05		0.05	% peso	D-2622	D-4294	D-6667
Octanaje RON	85		85			D-2699		
Octanaje MON	Informar		Informar			D-2700		
Índice Antidetonante (RON + MON)/2	Informar		Informar					
Color	Incoloro a Ligeramente amarillo					Visual		
Apariencia	Cristalina		Cristalina			Visual		
Poder Calorífico	Informar		Informar		Btu/Lb	D-2890		
Dest. Engler (760 mmHg)						D-86		
10%vol.		65 (149)		60 (140)	°C (°F)			
50%vol.	60(140)	118(245)	60(140)	116 (240)	°C (°F)			
90%vol.		190(374)		185 (365)	°C (°F)			
Punto Final		225(437)		225 (437)	°C (°F)			
Residuo		2		2	% vol.			
Contenido de Aromáticos Totales.		42		42	% vol.	D-1319	D-6730	D-5134
Contenido de Olefinas		18		18	% vol.	D-1319	D-6730	D-5134
Contenido de Benceno		3		3	% vol.	D-3606	D-5134	D-6730
Contenido de Manganeso		18		18	mg Mn/L	D-3831		
Contenido de Etanol Anhidro		8		8	% vol	D-4815	D-6730	NBR-13992

Fuente: Resolución Administrativa RAR-ANH-DRC No 0081/2019 del 11 de abril del 2019.

**Tabla No C - 5 Metodologías usadas para el análisis del Etanol en Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea.**

Características	Estados Unidos	Brasil	Europa
Aspecto y color	Inspección visual	Inspección visual	Inspección visual
Masa Específica (20 °C)		ASTM D 4052 (digital) NBR 5992 (manual)	
Grado de Alcohol (20 °)		NBR 5992 (vía densidad)	
Contenido de Etanol % vol.	ASTM D 5501 (cromatografía gaseosa)	ASTM D 5501 - etanol no obtenido por fermentación	EN 15721 (cromatografía gaseosa)
Contenido de Metanol	ASTM D 5501 (cromatografía gaseosa)		EN 15721 (cromatografía gaseosa)
Contenido de Alcoholes C3-C5			EN 15721 (cromatografía gaseosa)
Contenido de Agua	ASTM D 203 (Karl Fisher – Titulación volumétrica)		EN 15489 (Karl Fisher – Titulación Volumétrica)
Acidez Total	ASTM D1613 (titulación ácido- base)	ASTM D 1613/ NBR 9866 (Titulación con NaOH e indicador alfa naftol ftaleína)	EN 15491 (titulación ácido base Indicador fenolftaleína)
Conductividad Eléctrica		NBR 10547/ASTM 1125 (medida directa de la conductividad célula k= 0.1 cm-1)	
pH e	ASTM D6423 (medida con pH metro y electrodo especial)		
pH		NBR 10547/ASTM 1125 (medida directa de la conductividad célula k= 0.1 cm-1)	
Contenido de cobre	ASTM 1688 <sup>a</sup> (absorción atómica- directa, extracción y horno de grafito)	NBR 10893 (absorción atómica)	EN 15488 (absorción atómica- horno de grafito)
Contenido de sodio		NBR 10422 Fometría de llama	
Contenido de ferro		NBR 11331 (absorción atómica)	
Contenido de cloruro	ASTM D 7319 ASTM D 7328 (ambas cromatografías de iones- Cl)	NBR 10894 (cromatografía de iones)	EN 15484 (Titulación Potencio métrica) EN15492 (cromatografía iones)
Residuo Evaporación o contenido de Goma	ASTM D 381 (goma lavada)	NBR 8644 (evaporación /pesaje)	ECD/2870/2000- anexo II
Contenido de Azufre	ASTM D 5453 (Fluorescencia UV) ASTM D 2622 (Fluorescencia rayos X) ASTM D 3120 (Microcoulometría)		EN15486 (Fluorescencia UV < 20ppm) EN 15485 (Fluorescencia rayos X)
Contenido de Sulfato	ASTM D 7318 (Titulación potencio métrica) ASTM D 7319 (Direct Injection Suppressed Ion Chromatography) ASTM D 7328 (Cromatografía de iones)	NBR 10894 (Cromatografía de iones- Cl) NBR 12120 (volumetría)	EN 15492 (Cromatografía de iones- Cl)

Fuente: Especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas GTZ.

Figura No C - 1 Localización de las empresas productoras de etanol anhidro.



Fuente: Información proporcionada por las empresas del sector Agroindustrias.

## ANEXO D

### Tabla No D - 1 Volúmenes comercializados de Gasolina Especial por departamentos

#### Volúmenes Comercializados de Gasolina Especial por Departamentos

(En Litros)

DEPARTAMENTOS	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	A jul-2019
La Paz	284.248.509	306.175.294	326.110.085	349.193.587	373.437.043	400.272.463	421.552.885	450.673.403	487.321.186	512.224.458	257.342.735
Santa Cruz	281.680.571	315.997.554	357.621.323	388.826.123	423.734.590	455.707.918	499.848.001	551.474.485	573.860.533	570.916.660	339.485.018
Cochabamba	143.052.804	159.286.966	166.384.993	171.271.679	187.857.134	203.832.235	219.841.599	241.328.955	265.065.780	280.517.300	121.438.236
Oruro	47.773.751	55.179.766	61.754.968	66.655.393	71.947.000	82.477.000	91.012.620	100.545.400	108.876.100	117.248.000	73.166.500
Potosí	42.760.341	48.041.286	56.563.493	64.024.011	70.592.757	78.037.384	80.715.608	88.328.868	95.736.632	103.632.796	60.982.087
Sucre	27.348.120	29.320.031	30.938.164	33.043.612	35.884.256	40.395.500	44.976.043	50.188.200	54.395.200	57.448.400	35.771.100
Tarija	40.681.539	43.308.314	46.051.303	50.607.672	59.299.138	67.018.750	73.166.581	78.639.140	82.016.185	84.413.192	48.425.408
Beni	35.172.599	41.167.870	46.306.510	50.844.647	54.738.351	58.373.450	62.494.613	66.398.940	70.185.490	76.293.436	44.577.325
Pando	8.915.052	10.153.579	11.101.596	11.064.644	12.685.456	14.691.300	16.774.220	19.003.390	19.810.894	21.293.895	12.586.443
<b>TOTAL</b>	<b>911.633.286</b>	<b>1.008.630.659</b>	<b>1.102.832.435</b>	<b>1.185.531.368</b>	<b>1.290.175.725</b>	<b>1.400.806.000</b>	<b>1.510.382.170</b>	<b>1.646.580.781</b>	<b>1.757.268.000</b>	<b>1.823.988.137</b>	<b>993.774.852</b>

Fuente: Datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos.

### Tabla No D - 2 Volúmenes comercializados de Súper Etanol 92 por departamentos

#### Volúmenes Comercializados de Súper Etanol 92 por Departamentos

(En Litros)

DEPARTAMENTOS	2018	A jul-2019
La Paz	2.185	6.255
Santa Cruz	24.370	78.517
Cochabamba	5.319	22.550
Oruro	0	0
Tarija	2.590	6.817
Beni	0	0
Pando	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>34.464</b>	<b>114.138</b>

Fuente: Datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos

**Tabla No D - 3 Volúmenes comercializados de Gasolina Especial Plus por zonas y departamentos**

<b>DEPARTAMENTOS</b>	<b>A jul-2019</b>
<b><u>La Paz</u></b>	49.332.793
Puerto Linares	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>49.332.793</b>
<b><u>Santa Cruz</u></b>	3.477.061
Camiri	0
Puerto Suarez	0
S.J. de Chiquitos	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>3.477.061</b>
<b><u>Cochabamba</u></b>	56.072.548
Pto. Villarroel	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>56.072.548</b>
<b><u>Oruro</u></b>	0
<b><u>Potosí</u></b>	0
Villazón	0
Tupiza	0
Uyuni	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>0</b>
<b><u>Sucre</u></b>	0
Tarabuquillo	0
Monteagudo	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>0</b>
<b><u>Tarija</u></b>	0
Bermejo	0
Yacuiba	0
Villa montes	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>0</b>
<b><u>Beni</u></b>	0
Guayaramerin	0
Riberalta	0
<b>SUBTOTAL</b>	<b>0</b>
<b><u>Pando</u></b>	0
<b>TOTAL</b>	<b>108.882.402</b>
<b>Bbl</b>	<b>684.849</b>
<b>BPD</b>	<b>7.444</b>
<b>M3</b>	<b>108.882</b>

Fuente: Datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos

**Tabla No D - 4 Base de datos de Insumos y Aditivos Importad**

AÑO CERTIFICACIÓN	DUI's	RON	INSUMOS Y ADITIVOS [Lt]	GASOLINA BLANCA [Lt]	GASOLINA ESPECIAL [Lt]	SUBVENCIÓN CALCULADA ANH [Bs]	PROVEEDOR	SECTOR	FRONTERA
2018	C-023216	87	5592719	166249	5758968	4306446,28	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-05531	100	2397427	1348553	3745980	3895819,2	REFINOR	SUR	YACUIBA
2019	C-06239	94,5	1381178	510847	1892025	1154135,25	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-06912	100	2172509	1222036	3394545	2172508,8	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-00063	100	4502240	2532510	7034750	4783630	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-00637	85	5864966	0	5864966	10850187,1	PDVSA	SUR	YACUIBA
2019	C-01350	85	6095593	0	6095593	14446555,4	PDVSA	SUR	YACUIBA
2019	C-02445	85	5576456	0	5576456	11766322,2	PDVSA	SUR	YACUIBA
2019	C-07357	85	4425874	0	4425874	13631691,9	PDVSA	SUR	YACUIBA
2019	C-08082	85	4469054	0	4469054	13407162	PDVSA	SUR	YACUIBA
2019	C-014109	92	2920552	730138	3650690	3869731,4	VITOL	SUR	YACUIBA
2019	C-014120	91	2835242	708811	3544053	3756696,18	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-0811	98	1016003	523395	1539398	1000608,7	VITOL	SUR	YACUIBA
2019	C-01515	92	2525136	689443	3214579	2974703	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-01491	96	5100282	2054362	7154644	5192313,28	VITOL	SUR	YACUIBA
2019	C-01496	92	6801769	1720799	8522568	7367621,85	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA
2019	C-01516	96	2248046	948622	3196668	2433321,96	VITOL	SUR	YACUIBA
2019	C-08916	97	3605437	1545187	5150624	5202130,24	TRAFIGURA	SUR	YACUIBA

Fuente: Datos proporcionados por la Agencia Nacional ANH.

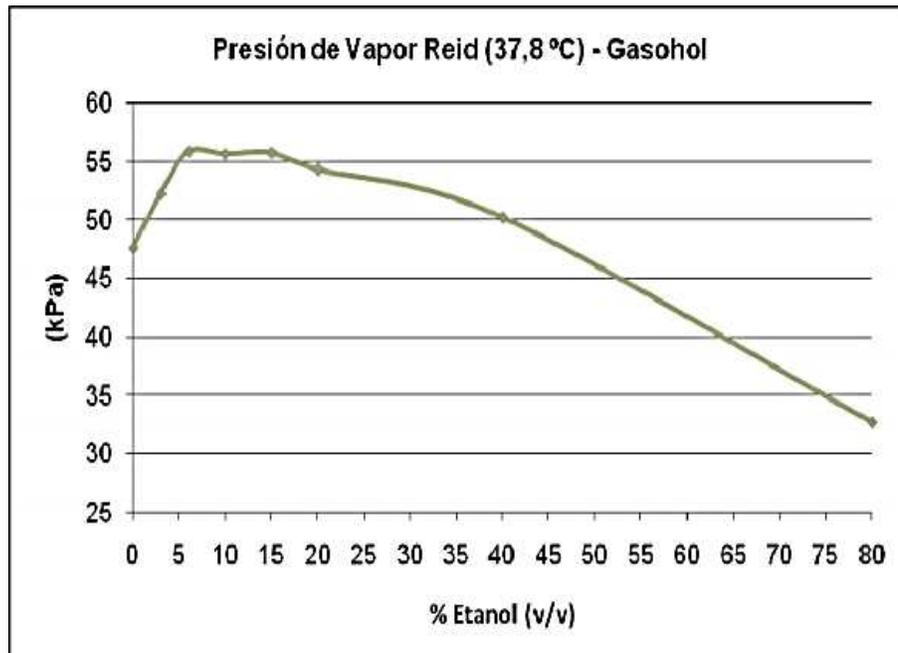
## ANEXO E

**Tabla No E - 1 Distancia entre tanques y los límites de la propiedad**

CAPACIDAD DE LOS TANQUES	DESDE EL LIMITE DE LA PROPIEDAD	DESDE UN EDIFICIO DE LA PLANTA
< 6 barriles	1,50 m	1,50 m
de 6 a 19 Bls.	4,00 m	2,00 m
de 20 a 285 Bls.	6,00 m	2,00 m
de 285 a 720 Bls.	8,00 m	2,00 m
de 720 a 1200 Bls.	10,00 m	4,00 m
de 1200 a 2380 Bls.	15,00 m	6,00 m
de 2380 a 11900 Bls.	25,00 m	8,00 m
de 11900 a 23800 Bls.	30,00 m	10,00 m
de 23800 a 47600 Bls.	40,00 m	12,00 m
de 47600 a 71400 Bls.	50,00 m	17,00 m
> 71400 Barriles	55,00 m	20,00 m

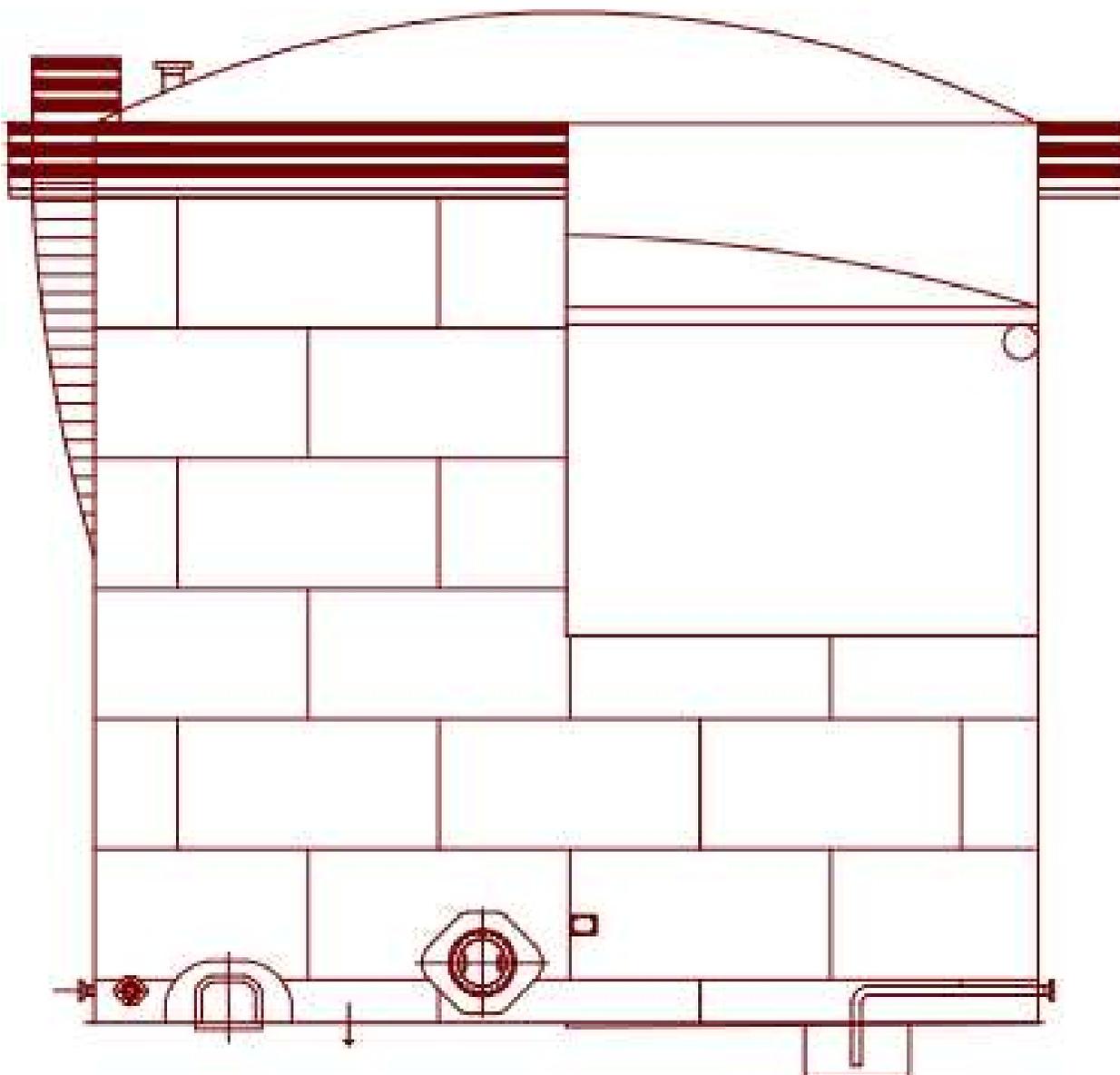
Fuente: Informe Técnico para Tanques de Aluminio 1096.

**Figura No E - 1 Efecto del contenido de etanol en la presión de vapor reíd (37.8 °C) de la gasolina mezclada con etanol (GASOHOL)**



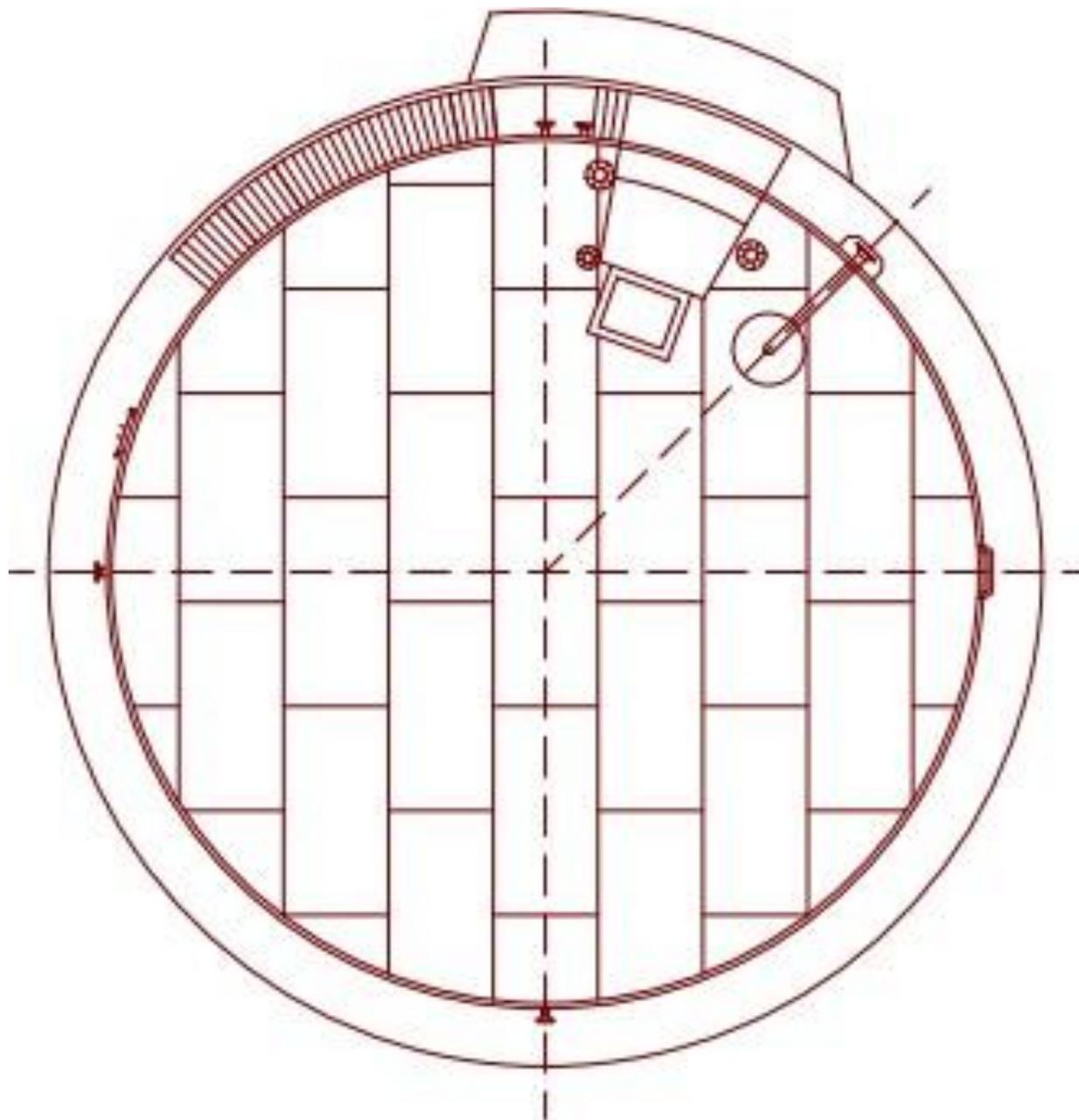
Fuente: Especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas GTZ

**Figura No E - 2 Diseño del tanque de almacenamiento de etanol anhidro**



Fuente: Elaboración Propia.

Figura No E - 3 Diseño de fondo del tanque de almacenamiento de etanol anhidro.



Fuente: Elaboración Propia.