

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



DISEÑO DE UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL
DE 10 MILLONES DE LITROS CUMPLIENDO CON LAS NORMAS
NFPA

Trabajo de graduación presentado por
José Fernando Noriega Gordillo
para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química

GUATEMALA

2007

**DISEÑO DE UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE
ETANOL DE 10 MILLONES DE LITROS CUMPLIENDO CON
LAS NORMAS NFPA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL
DE 10 MILLONES DE LITROS CUMPLIENDO CON LAS NORMAS
NFPA

Trabajo de graduación presentado por
José Fernando Noriega Gordillo
para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química

GUATEMALA

2007

DEDICATORIA

A Dios Nuestro Señor

A mis Padres:

Juan Fernando Noriega Orantes
Elizabeth Gordillo de Noriega

A mis Hermanos:

Juan Gabriel Noriega Gordillo
Mariela Noriega Gordillo

A mi novia:

Annalyz Marroquín Arrivillaga

A mis abuelos

A mis familiares y amigos

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA.....	iv
LISTA DE CUADROS	vii
LISTADO DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
A. Etanol.....	2
1. Concepto y propiedades	2
2. Aplicación y usos industriales.....	2
3. Bioetanol (el etanol como combustible)	3
4. Almacenamiento	3
5. ¿Por qué Bioetanol?.....	3
6. Proceso de fabricación: Fermentación	4
7. Economía: Dependencia del petróleo.....	4
B. National Fire Protection Agency 30 (NFPA 30).....	4
1. Código de líquidos inflamables y combustibles.....	4
2. Diseño y construcción de tanques de almacenamiento	4
3. Ubicación tanques respecto a linderos, vías públicas y edificios importantes ubicados en la misma propiedad	5
III. JUSTIFICACIÓN.....	8
IV. OBJETIVOS	9
A. Objetivo general.....	9
B. Objetivos específicos	9
V. PROBLEMA A RESOLVER	10
A. Problema a resolver	10
VI. METODOLOGÍA	11
A. Diseño de una terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros según NFPA 30.....	11
1. Etapas.....	11
VII. RESULTADOS	12
A. Proyecto: Planta de almacenamiento de etanol.....	12

B. Diseño de tanques de almacenamiento y ubicación	12
C. Diseño sistema contra-incendios.....	14
D. Diseño de equipo de descarga de etanol	16
1. Descarga de etanol de cisternas a tanques de almacenamiento	16
2. Descarga de etanol de tanques de almacenamiento a barco de exportación	16
E. Sistema eléctrico	17
F. Análisis económico	17
VIII. DISCUSIÓN	21
IX. CONCLUSIONES	27
X. RECOMENDACIONES	28
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	29
XII. ANEXOS	30
A. Glosario	30
B. Cálculos de muestra	31
1. Dimensiones del tanque y ubicación.....	31
2. Drenajes	39
3. Sistema contra-incendios	41
4- Área de descarga de etanol al tanque.....	43
5. Diseño tubería de descarga de etanol al barco	45
6. Potencia requerida de la bomba de descarga a barco	46
7. Sistema eléctrico	51
8. Análisis económico.....	55
9. Plano general de la planta	66
10. Diagramas de curvas de bombas.....	68
11. Propiedades del etanol para control de calidad	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Ubicación de tanques respecto linderos, vías públicas y edificios importantes para presiones de operación igual o inferior a 17.2 kPa manométrica (2.5 psi).....	6
2. Ubicación de tanques verticales y horizontales con venteo de alivio de emergencia respecto linderos, vías públicas y edificios importantes para presiones de operación igual o inferior a 17.2 kPa manométrica (2.5 psi).....	7
3. Espaciamiento mínimo entre tanques adyacentes.....	7
4. Dimensiones de las propiedades de los tanques verticales de almacenamiento de etanol.....	12
5. Características de las láminas necesarias para cada anillo del tanque de almacenamiento de 5,500,000 L de etanol.....	12
6. Parámetros de diseño considerados en la planta según NFPA 30 en el área de los tanque de almacenamiento.....	13
7. Clasificaciones de las áreas para la colocación de equipos eléctricos según NFPA 30.....	13
8. Dimensiones de las propiedades del tanque contra incendios para almacenamiento de agua.....	14
9. Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1540 m, cédula 40 para descarga de agua contra-incendios.....	14
10. Número de enchufes de descarga de mezcla agua/espuma necesarios en relación al tamaño del diámetro de los tanques de almacenamiento de etanol.....	14
11. Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1016 m, cédula 40 para descarga de espuma.....	15
12. Cantidad de hidrantes y monitores necesarios para el sistema contra-incendios.....	15
13. Características de las bombas con motores diesel utilizadas para el sistema contra-incendio.....	15
14. Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al tanque de almacenamiento.....	16

15. Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.2032 m, cédula 40.....	16
16. Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al barco.....	17
17. Costos totales del sistema eléctrico de la terminal de almacenamiento de etanol y equipos.....	17
18. Resumen inversión inicial de equipo y construcción.....	18
19. Resumen costos fijos de equipo y mantenimiento.....	18
20. Resumen costos variables anuales de electricidad y consumo de combustible.....	19
21. Resumen costo mensual y anual de salarios a trabajadores.....	19
22. Resumen ingresos anuales de exportación de etanol.....	19
23. Rentabilidad del proyecto de la terminal de almacenamiento de etanol.....	19
24. Detalle de los puntos de equilibrio anuales del análisis económico.....	20
25. Dimensiones de las propiedades de los tanques de almacenamiento individuales de etanol.....	31
26. Láminas necesarias para un tanque de almacenamiento con capacidad de 5,500,000 L de etanol.....	33
27. Características de las láminas necesarias para cada Ring del tanque de almacenamiento de 5,500,000 L de etanol.....	34
28. Diseño de válvula de emergencia de alivio de presión de vacío.....	37
29. Diseño de válvula de presión de vacío.....	37
30. Clasificaciones de las áreas para la colocación de equipos eléctricos según NFPA 30.....	39
31. Dimensiones de la propiedad del tanque contra incendios para almacenamiento de agua.....	41

32. Número de enchufes de descarga de mezcla agua/espuma en relación al tamaño del diámetro del tanque de almacenamiento con techo cónico conteniendo hidrocarburos o líquidos inflamables o combustibles.....	42
33. Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1016 m, cédula 40.....	42
34. Características de las bombas con motores diesel utilizadas para el sistema contra-incendios.....	43
35. Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al tanque de almacenamiento.....	44
36. Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1016 m, cédula 40.....	44
37. Valores obtenidos en nomograma de la velocidad del líquido en diferentes tamaños de tubería.....	45
38. Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.2032 m, cédula 40.....	46
39. Valores de densidades para soluciones de etanol a diferentes concentraciones y temperaturas.....	47
40. Factor de pérdida de diferentes accesorios conectados a la tubería.....	48
41. Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al barco.....	51
42. Consumo KW de bomba centrífuga de 59.66 KW (80 hp) para la operación del generador continuo de 130 KW.....	51
43. Costos anuales eléctricos por consumo KW de bomba centrífuga de 59.66 KW (80 hp) del generador continuo de 130 KW.....	52
44. Consumo de KW-h y costos eléctricos de los equipos e iluminación de la terminal de almacenamiento.....	54
45. Costos totales estimados del sistema eléctrico en 10 años de la terminal de almacenamiento de etanol.....	54
46. Detalle costos de inversión inicial.....	55
47. Detalle costos fijos de la terminal de almacenamiento.....	59

48. Detalle costos variables de lámparas de halógeno a pruebas de explosión.....	60
49. Detalle costos variables de consumo de diesel de bomba centrífuga de 4.47 KW (6 hp) para sistema contra-incendios.....	60
50. Detalle de los costos de sueldos de los empleados en la terminal de almacenamiento.....	61
51. Detalle de la depreciación de los equipos utilizados en la terminal de almacenamiento de etanol y amortización de mano de obra.....	62
52. Detalle del flujo de caja del análisis económico de la planta.....	63
53. Rentabilidad del proyecto de la terminal de almacenamiento de etanol.....	64
54. Detalle de los puntos de equilibrio anuales del análisis económico.....	64
55. Propiedades del etanol comercial hidratado y carburante anhidro para control de calidad.....	71

LISTADO DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de clasificaciones de las áreas según NFPA 30	38
2. Diagrama de las subdivisiones de los diques de contención con sus respectivos drenajes y válvulas.....	40
3. Características de operación de la válvula de interconexión entre el drenaje pluvial y el del etanol	41
4. Diagrama para cálculo de cambio de presión entre el tanque de almacenamiento y la descarga hacia el barco	49
5. Gráfica del análisis de sensibilidad de la TIR	65
6. Curva de bomba centrífuga diesel contra-incendio de hierro dúctil de 18.64 KW (25 hp) con capacidad de 113.55 m ³ /h	68
7. Curva de bomba centrífuga de hierro dúctil de 48.47 KW (65 hp) con capacidad de 340.56 m ³ /h.....	69
8. Curva de bomba centrífuga de hierro dúctil de 4.47 KW (6 hp) con capacidad de 113.55 m ³ /h.....	70

RESUMEN

El etanol hoy en día está comenzando a tener mayor importancia significativa a nivel mundial debido a la escasez de las reservas de petróleo que se proyectan en el futuro. Se propuso diseñar una terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros utilizando las normas NFPA, el cual sirvió como guía para el cálculo de todas las áreas de la planta enfocándose en la seguridad industrial. También se diseñó los tanques de almacenamiento y tubería por medio de información obtenida del API y ASME B31.4 respectivamente.

El diseño de la terminal se dividió en varias partes: área de los tanques de almacenamiento, área del sistema contra-incendios, área de descarga de etanol de camiones cisterna al tanque, área de descarga de etanol de los tanques al barco para su exportación, trayectoria de las tuberías, áreas administrativas y mantenimiento. Se realizó un análisis económico de la factibilidad de la construcción de una terminal de esta capacidad, el cual se determinó que el valor de ventas y el precio del etanol son muy sensibles y determinantes para la obtención de una TIR aceptable. Con una proyección de ventas de 60 millones de litros exportados con una utilidad de 15 centavos de quetzal por litro, se determinó que el valor de la TIR fuera de 26% con un VAN de 3.6 millones de quetzales en un tiempo de evaluación de proyecto de 10 años.

I. INTRODUCCIÓN

El interés de los países desarrollados y no desarrollados por la producción de etanol se ha incrementado hoy en día para el mejor aprovechamiento de sus propiedades energéticas y disminuir la dependencia de los hidrocarburos. La obtención del etanol se lleva a cabo mediante procesos de fermentación y su almacenamiento se realiza en tanques de almacenamiento. En el almacenamiento de etanol, la seguridad industrial desempeña un papel muy importante que pretende la prevención de riesgos, planes de contingencia y emergencia, y eliminar accidentes.

El etanol es un líquido inflamable que tiene diferentes usos en el mundo. Durante los últimos años la mayoría de los países han impulsado una serie de medidas políticas, pretendiendo con ello satisfacer las necesidades de sus habitantes de vivir en un ambiente equilibrado, que permita una mayor productividad y crecimiento económico, pero con una mejor calidad de vida.

Se deben considerar varios aspectos cuando se almacena etanol, ya que éste es un líquido inflamable. En el diseño de una terminal de almacenamiento de etanol se debe utilizar una norma que puede ser el código “National Fire Protection Agency 30 (NFPA 30)” sobre líquidos inflamables y combustibles. Este código contiene diferentes tipos de normas que sirven de guía para elaborar un diseño de almacenamiento de líquidos inflamables, como lo es el etanol, teniendo en cuenta medidas de seguridad industrial y respuesta a la emergencia para prevenir catástrofes como incendios y derrames.

También es importante considerar aspectos en el diseño de una terminal de almacenamiento de etanol la localización y el diseño de los tanques, la operación de la terminal, el diseño de la tubería y bombas, la elaboración de sistemas de contención y planes de contingencia en respuesta a la emergencia, y un análisis económico de costos de las fases de construcción, la puesta en marcha, el modo de operación y el mantenimiento.

II. ANTECEDENTES

A. Etanol

1. Concepto y propiedades. El compuesto químico etanol es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro, volátil e inflamable con un punto de ebullición de 78.3 °C y fusión de -130°C. Al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica con un contenido de aproximadamente el 96 % de etanol. Su fórmula molecular es C_2H_6O y su punto de inflamación (flash point) es de 12°C cuando es 100% puro. Mientras menos pureza tenga el etanol, su punto de inflamación será mayor. El etanol es un compuesto soluble con el agua en todas proporciones, éter, metanol, cloroformo y acetona (2). Ocupa el segundo lugar en utilización como solvente, luego del agua. El etanol constituye una parte importante en la manufactura de plásticos, barniz, pulimentos, plastificantes, perfumes y cosméticos (Lee, 1996:419).

El etanol es un líquido inflamable cuyos vapores pueden generar mezclas explosivas e inflamables con el aire a temperatura ambiente. Por ser un líquido inflamable, los vapores pueden llegar a su punto de ignición, encenderse y transportar el fuego hacia el material que los originó. Este alcohol tiene reacciones vigorosas con una gran variedad de reactivos como nitrato de plata, perclorato de potasio, ácido nítrico, nitrato de flúor, etc. En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, agentes oxidantes y reductores y metales alcalinos (Lee, 1996:419).

2. Aplicación y usos industriales. La aplicación del etanol se extiende ampliamente para los diferentes mercados en muchos sectores industriales. El etanol es un buen disolvente que puede utilizarse como anticongelante y también es utilizado ampliamente en el consumo humano en bebidas conocidas como alcohólicas. Se emplea como combustible industrial y doméstico, en el cual en el uso doméstico se emplea el alcohol de quemar. También es utilizado como solvente y germicida. Sus propiedades como desinfectante también son aplicables en el área de la medicina (Lee, 1996:422).

En muchos países como Brasil se añade etanol a la gasolina para bajar la importación de petróleo, dando lugar a la alconafra o gasohol. Brasil produce anualmente 11 billones de litros de etanol proveniente de la caña de azúcar. En el caso de Guatemala, la producción de etanol se deriva de los campos de cosechas de menor escala, alcohol denominado bioetanol. El etanol también se utiliza en la industria química como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo (un disolvente para pegamentos y pinturas), el éter dietílico, etc. (Wyman, 1996:7).

3. **Bioetanol (el etanol como combustible).** El etanol puede utilizarse como combustible para automóviles únicamente, y también puede mezclarse con gasolina en cantidades variables para reducir el consumo de derivados del petróleo. El combustible resultante se conoce como gasohol oalconafta.

El bioetanol se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en relación a los combustibles fósiles. Por ejemplo, el bioetanol se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar. Este hecho es uno de los factores que favorecen al sector guatemalteco debido a que nuestro país se encuentra clasificado como uno de los primeros diez lugares en exportación de azúcar a nivel mundial según el gremio azucarero. Sin embargo, los actuales métodos de producción de bioetanol utilizan una cantidad significativa de energía comparada al valor de la energía del combustible producido. Por esta razón, no es factible sustituir enteramente el consumo actual de combustibles fósiles por bioetanol. Desde un punto de vista a largo plazo no se debe despreciar el hecho que el bioetanol sea un combustible renovable y por lo tanto inagotable, al contrario que el petróleo.

4. **Almacenamiento.** El etanol en grandes cantidades debe ser almacenado en tanques metálicos especiales para líquidos inflamables y conectados a tierra. En pequeñas cantidades pueden ser almacenados en recipientes de vidrio. En el lugar de almacenamiento, debe haber buena ventilación para evitar la acumulación de concentraciones tóxicas de vapores de este producto y los recipientes deben estar protegidos de la luz directa del sol y alejados de fuentes de ignición. Es muy importante tener sistemas de control de incendios, derrames y desechos cuando se almacena un líquido inflamable como lo es el etanol.

5. **¿Por qué Bioetanol?** Desde la antigüedad se obtiene el etanol por fermentación anaeróbica de azúcares con levadura en solución acuosa y posterior destilación. La aplicación principal tradicional ha sido la producción de bebidas alcohólicas. Hoy en día, el bioetanol puede ser producido de abundante biomasa incluyendo los residuos de la agricultura y bosques. En los últimos años aplicando los avances rápidos de la biotecnología a la producción de bioetanol, la tecnología ha mejorado a tal punto que el bioetanol es hoy en día competitivo para ser mezclada con gasolina (Wyman, 1996:10).

Actualmente se utilizan tres tipos de materias primas para la producción a gran escala de bioetanol:

- Sustancias con alto contenido de sacarosa
 - caña de azúcar
 - remolacha
 - melazas
 - sorgo dulce
- Sustancias con alto contenido de almidón
 - maíz
 - patata

- yuca
- Sustancias con alto contenido de celulosa
 - madera
 - residuos agrícolas

6. **Proceso de fabricación: Fermentación.** El proceso a partir de almidón es más complejo que a partir de sacarosa porque el almidón debe ser hidrolizado previamente para convertirlos en azúcares. A partir de celulosa es aún más complejo porque primero hay que pre-tratar la materia vegetal para que la celulosa pueda ser luego atacada por las enzimas hidrolizantes. Este es uno de los factores que explican por qué los rendimientos en etanol son altos para la caña de azúcar. La fermentación de los azúcares se lleva a cabo por microorganismos tales como levaduras o bacterias que producen etanol así como grandes cantidades de CO₂, otro compuesto favorable a obtener para la venta en el sector químico industrial. Además se producen otros compuestos oxigenados indeseables como el metanol, alcoholes superiores, ácidos y aldehídos. Típicamente la fermentación requiere aproximadamente unas 48 horas (Wyman, 1996:14).

7. **Economía: Dependencia del petróleo.** Casi cualquier país con suficiente terreno puede producir etanol para su uso como combustible. A diferencia del petróleo, que debe ser extraído de unos yacimientos no existentes en todas las regiones. El etanol es una alternativa interesante, que puede incluso ayudar a mitigar las tensiones internacionales derivadas de la dependencia y adicción de algunos países por el petróleo. Aunque en realidad todo esto depende del balance energético, ya que el cultivo y el proceso de los biocombustibles se realiza actualmente con petróleo por el uso de agroquímicos y maquinaria, por lo que en el mejor de los casos el proceso equivale a un pequeño aumento del rendimiento energético del petróleo. El etanol puede convertirse en una opción interesante a medida que la humanidad se acerque al fin de otras fuentes como el petróleo o el gas natural.

B. National Fire Protection Agency 30 (NFPA 30)

1. **Código de líquidos inflamables y combustibles.** Este código debe aplicarse al almacenamiento, manipuleo y uso de líquidos inflamables y combustibles, incluyendo los desechos líquidos, según se definición y clasificación. El propósito de este código es brindar los requisitos razonables para el almacenamiento y manipuleo seguro de líquidos inflamables, tal como lo es el etanol (NFPA 30, 2000:30-9).

2. **Diseño y construcción de tanques de almacenamiento.** Los tanques deben diseñarse y construirse de acuerdo con las buenas normas de ingeniería establecidas para el material de construcción empleado y deben ser de acero o de un material no combustible aprobado, con las siguientes limitaciones y excepciones:

a. El material con el cual se construye el tanque debe ser compatible con el líquido a almacenar. En caso de duda acerca de las propiedades del líquido a almacenar, debe consultarse al proveedor, fabricante del líquido u otra autoridad competente (NFPA 30, 2000:30-9).

b. Los tanques construidos de materiales combustibles deben sujetarse a la aprobación de la autoridad competente, y estar limitados a:

- 1) Instalación subterránea.
- 2) Empleo cuando las propiedades del líquido a almacenar así lo requieran.
- 3) Almacenamiento de líquidos Clase IIIB por encima del nivel del terreno en áreas que no estén expuestas a derrames o pérdidas de líquidos Clase I o Clase II.
- 4) Almacenamiento de líquidos Clase IIIB dentro de edificios protegidos por un sistema automático de extinción de incendios aprobado (NFPA 30, 2000:30-9).

c. Está permitido emplear tanques de hormigón sin revestir para almacenar líquidos que posean una densidad de 40° API o superior. Tanques de hormigón están permitidos con revestimientos especiales siempre que su diseño esté de acuerdo con las buenas prácticas de la ingeniería.

d. Está permitido que los tanques posean revestimientos combustibles o incombustibles. La elección de un revestimiento protector adecuado dependerá de las propiedades del líquido a almacenar (NFPA 30, 2000:30-9).

e. Se requiere un estudio especial basado en los criterios de la ingeniería si la densidad específica del líquido a almacenar supera la del agua, o si el tanque está diseñado para almacenar líquidos que tengan un temperatura inferior a -17.8°C (NFPA 30, 2000:30-9).

Existen diferentes tipos de tanques para el almacenamiento de etanol: a) tanques atmosféricos, b) tanques de baja presión, c) tanques con techo flotante, d) tanques con techo flotante y válvula de alivio, entre otros. La elección del tipo de tanque de almacenamiento depende del costo inicial del mismo y las pérdidas que se puedan tener del etanol almacenado debido a su volatilidad (NFPA 30, 2000:30-12).

3. Ubicación tanques respecto a linderos, vías públicas y edificios importantes ubicados en la misma propiedad. Es necesario tomar las precauciones necesarias cuando se delimite la ubicación de los tanques de almacenamiento de un líquido inflamable o combustible respecto a los linderos, vías públicas y edificios importantes cercanos debido al peligro que representan de explosiones, inundaciones y derrames. La ubicación de los tanques dependerá de la capacidad del tanque y sus dimensiones.

Para tanques conteniendo líquidos Clase I, Clase II ó Clase IIIA estables y presiones de operación menores de 2.5 psig siguen las siguientes especificaciones según NFPA 30:

CUADRO No.1

Ubicación de tanques respecto linderos, vías públicas y edificios importantes para presiones de operación igual o inferior a 2.5 psi manométrica (17.2 kPa).

Tipo de tanque	Protección	Distancia mínima desde la línea de lindero sobre el cual existen o puedan existir construcciones, incluyendo el lado contrario de una vía pública. No inferior a 1.5 m.	Distancia mínima desde el lado más cercano de una vía pública o desde el edificio importante más cercano en la misma propiedad. No inferior a 1.5 m.
Techo flotante	Protección contra incendios	1/2 veces el diámetro tanque	1/6 veces diámetro tanque
	Ninguna	Diámetro del tanque (sin exceder de 53 m)	1/6 veces diámetro tanque
Vertical con junta débil entre el techo y el cuerpo	Sistema de espuma aprobada no excediendo los 46 m diámetro	1/2 veces el diámetro tanque	1/6 veces diámetro tanque
	Protección contra incendios	Diámetro del tanque	1/3 veces diámetro tanque
	Ninguna	2 veces el diámetro del tanque (sin exceder de 105 m)	1/3 veces diámetro
Tanque vertical y horizontal con venteo de alivio de emergencia para presiones hasta 2.5 psig	Sistema de espuma aprobada o inerte	1/2 veces CUADRO No.2	1/2 veces CUADRO No.2
	Protección contra incendios	CUADRO No.2	CUADRO No.2
	Ninguna	2 veces CUADRO No.2	CUADRO No.2

(NFPA 30, 2000:30-19)

CUADRO No.2

Ubicación de tanques verticales y horizontales con venteo de alivio de emergencia respecto linderos, vías públicas y edificios importantes para presiones de operación igual o inferior a 17.2 kPa manométrica (2.5 psi).

Capacidad tanque (L)	Distancia mínima desde la línea de lindero sobre el cual existen o puedan existir construcciones, incluyendo el lado contrario de una vía pública. (m)	Distancia mínima desde el lado más cercano de una vía pública o desde el edificio importante más cercano en la misma propiedad. (m)
1041 o menos	1.5	1.5
1042 a 2839	3	1.5
2840 a 45420	4.5	1.5
45421 a 113550	6.1	1.5
113551 a 189251	9.2	3
189252 a 378501	15.2	4.5
378502 a 1892506	24.4	6.1
1892507 a 3785011	30.5	10.6
3785012 a 7570023	41.1	13.7
7570024 a 11355030	50.3	16.8
11355031 o más	53.3	18.3

(NFPA 30, 2000:30-19)

Además es muy importante considerar en caso se requiera más de un tanque de almacenamiento, la distancia de espaciamiento entre cada uno de ellos por razones de seguridad. Dependiendo de la cantidad en volumen de líquido inflamable a almacenar, se determinará la distancia de espaciamiento entre los tanques. Para ello se siguen las siguientes especificaciones según la NFPA 30:

CUADRO No.3

Espaciamiento mínimo entre tanques adyacentes

Tipo de tanque	Tanques con techo flotante	Tanques horizontales o de techo fijo	
		Líquidos Clase I o II	Líquidos Clase IIIA
Tanques sin exceder diámetro de 46 m	1/6 de la suma de diámetros de tanques adyacentes (no menor que 0.9 m)	1/6 de la suma de diámetros de tanques adyacentes (no menor que 0.9 m)	1/6 de la suma de diámetros de tanques adyacentes (no menor que 0.9 m)
Tanques con diámetros superiores a 46 m			
1. Depósito o embalse remoto provisto	1/6 de la suma de diámetros de tanques adyacentes	1/4 de la suma de diámetros de tanques adyacentes	1/6 de la suma de diámetros de tanques adyacentes
2. Represas o bordas provistas	1/4 de la suma de diámetros de tanques adyacentes	1/3 de la suma de diámetros de tanques adyacentes	1/4 de la suma de diámetros de tanques adyacentes

(NFPA 30, 2000:30-21)

III. JUSTIFICACIÓN

La industria azucarera en Guatemala utiliza el desecho del proceso del azúcar para la elaboración de etanol por medio de la fermentación con levadura. Hoy en día, la melaza se exporta a otros países como materia prima para la elaboración de etanol. Sin embargo, muchas industrias azucareras de Guatemala están comenzando a invertir en la construcción de destilerías para la obtención de etanol. El etanol que se obtenga de la destilación, debe ser almacenado en las terminales de almacenamiento en tanques propiamente diseñados.

El etanol es un líquido inflamable que tiene diferentes funciones, como por ejemplo: puede servir como combustible, consumo alimenticio en la industria de bebidas alcohólicas, solvente en las industrias químicas, y otras más. Se piensa que en el futuro, el etanol será el reemplazo de los hidrocarburos como función de combustible. El mercado de etanol en Guatemala está comenzando y se tiene grandes expectativas a futuro.

En Guatemala existen únicamente terminales de almacenamiento de hidrocarburos ubicadas en la costa este y sur. Actualmente en Guatemala se están empezando a construir las primeras terminales de almacenamiento de etanol, por lo que se tiene que tomar las precauciones necesarias de seguridad en el diseño de dichas construcciones. La NFPA (National Fire Protection Agency) es una herramienta útil que sirve de guía en el diseño de una terminal de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, a fin de evitar catástrofes de incendio, explosiones y derrames.

Mediante el diseño basado en las normas de la NFPA (National Fire Protection Agency) se contribuirá con el medio ambiente evitando o previniendo la posible contaminación que se puede generar ocasionada por incendios y derrames de gran escala y evitar muertes ocasionadas por una explosión. La seguridad industrial es un requisito que todas las terminales de almacenamiento debieran tener e implementar. Además, se estará abriendo una puerta más de continuar explotando el mercado de producción de etanol el cual tiene un futuro sustentable en gran parte para la economía del país a nivel mundial.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Diseñar una terminal de almacenamiento de etanol de 10 millones de litros de acuerdo a los requerimientos que dicta la norma National Fire Protection Agency (NFPA).

B. Objetivos específicos

- Diseño de la planta de almacenamiento de etanol incluyendo equipo auxiliar.
- Aplicación de la norma National Fire Protection Agency 30 (NFPA 30) para el diseño de la terminal de almacenamiento de etanol.
- Diseño de operación de una terminal de almacenamiento de etanol.
- Elaboración de sistemas de control de incendios, riesgos y mantenimiento.
- Elaboración de un análisis económico de costos.

V. PROBLEMA A RESOLVER

A. Problema a resolver

El almacenamiento de etanol a gran escala como un líquido inflamable constituye un peligro si no se toman las precauciones necesarias de diseño para evitar riesgos de incendio, derrame y explosión. Debido a que el etanol será el combustible del futuro, se necesita tomar las medidas necesarias de seguridad en las terminales de almacenamiento de etanol a fin de evitar pérdidas costosas originarias por un incendio y cómo responder en caso de una emergencia. Así mismo se piensa facilitar la realización de un diseño de una terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros.

VI. METODOLOGÍA

A. Diseño de una terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros según NFPA 30

1. Etapas

a. El diseño de la terminal de almacenamiento comienza con la determinación de la capacidad que tendrá el tanque de almacenamiento, en este caso 10 millones de litros. Se determina la altura, el ancho, grosor y el material del cual será fabricado el tanque de almacenamiento.

b. Se localiza la ubicación del tanque de acuerdo a la geografía del terreno. Clasificar el etanol como un líquido inflamable clase IA de acuerdo a la norma NFPA 30 para facilitar la ubicación del tanque.

c. Se calcula el distanciamiento de las bordas alrededor del tanque de acuerdo a la geografía del terreno, el cual debe contener el volumen total del tanque como mínimo.

d. Se elabora el sistema contra incendios para el tanque de almacenamiento, mediante la colocación de un sistema de rociadores de espuma o una ubicación de una brigada contra incendios. Se determinan las divisiones alrededor del tanque de acuerdo al área de riesgo que existe.

e. Se diseña el punto de descarga del etanol a los tanques de almacenamiento y se determina su ubicación. El punto de descarga no puede ubicarse en el área interior de los diques. En caso haya planes de expansión, prever suficiente espacio para la colocación de otro tanque si se desea.

f. Se diseña el tipo de tubería a utilizar: tamaño, cédula, material, recubrimiento epóxico, trayecto, roscas, presión de operación, uniones y limpieza.

g. Se elige los tipos de bombas que se van a utilizar de acuerdo a la capacidad de tanque de 10 millones de litros de etanol.

h. Se localiza la subestación para la distribución de electricidad a toda la terminal, incluyendo producción, iluminación y servicios básicos.

i. Se diseñan los servicios auxiliares de la terminal de almacenamiento como electricidad y agua.

j. Se diseñan las dimensiones del área administrativa que incluye oficinas, servicios para el personal, garita de control, seguridad, despacho, parqueos, etc.

k. Por último se realiza el análisis de costos estimado para la construcción de la terminal de almacenamiento de etanol.

VII. RESULTADOS

A. Proyecto: Planta de almacenamiento de etanol

El proyecto consiste en la instalación de dos tanques de almacenamiento con capacidad de 5 millones de litros cada uno de etanol en un área específica dentro del terreno de la planta de exportación. Se debe calcular la capacidad necesaria de cada uno de los equipos y llevar a cabo la selección del mismo dependiendo de las condiciones de operación. Además, diseñar y construir la infraestructura adecuada, y desglosar los costos de instalación. Así también se debe analizar el retorno de la inversión y el crecimiento futuro de la inversión.

B. Diseño de tanques de almacenamiento y ubicación

CUADRO No.4

Dimensiones de las propiedades de los tanques verticales de almacenamiento de etanol

Propiedades de un tanque	Dimensiones
Diámetro	27.12 m
Altura	9.76 m
Volumen	5,000,000 L
No. Anillos (Ring)	6 anillos
Tipo de techo	Cónico
Altura techo cónico	0.675 m
Láminas de hierro al carbón necesarias	465 láminas

CUADRO No.5

Características de las láminas necesarias para cada anillo del tanque de almacenamiento de 5,500,000 L de etanol

No. Anillo	Característica de láminas de hierro al carbón		
	Largo (m)	Ancho (m)	Grosor (m)
1	6.096	1.8288	0.0145
2	6.096	1.8288	0.0114
3	6.096	1.8288	0.0084
4	6.096	1.8288	0.0063
5	6.096	1.2192	0.0063
6	6.096	1.2192	0.0063
Techo	6.096	1.8288	0.0048
Base	6.096	1.8288	0.0063

CUADRO No. 6

Parámetros de diseño considerados en la planta según NFPA 30 en el área de los tanques de almacenamiento

Requisitos según NFPA 30 de diseño de la planta	Dimensión
Distancia mínima desde la línea del lindero sobre la cual existen construcciones incluyendo el lado opuesto de una vía pública al tanque	20.5 m
Distancia mínima desde el lado más próximo a una vía pública o edificio importante más cercano al tanque	6.85 m
Distancia mínima entre tanques de almacenamiento de etanol	9.04 m
Altura de muros de contención	1.7 m
Sección plana en parte superior de los muros de contención	0.6 m
Longitud oeste-este del área de contención de los tanques de almacenamiento	50 m
Longitud norte-sur del área de contención de los tanques de almacenamiento	47.27 m

CUADRO No.7

Clasificaciones de las áreas para la colocación de equipos eléctricos según NFPA 30

Ubicación	División NEC Clase 1	Extensión del área clasificada
Tanque-Sobre el nivel del terreno	1	Área dentro de diques cuando la altura del dique es superior a la distancia entre el tanque y el dique en más del 50% de la circunferencia del tanque.
Cuerpo, extremos o techo y área dentro de diques	2	Área comprendida en un radio de 3.05 m medidos a partir del cuerpo, extremos o cubierta del tanque. Área dentro de los diques hasta el nivel de la parte superior del dique.
Venteo	1	Área comprendida en un radio de 1.52 m medidos en todas las direcciones a partir del extremo abierto del venteo.
	2	Área comprendida entre 1.52 m y 3.05 m medidos en todas las direcciones a partir del extremo abierto del venteo.

C. Diseño sistema contra-incendios

CUADRO No.8

Dimensiones de las propiedades del tanque contra incendios para almacenamiento de agua

Propiedades de los tanques	Dimensiones
Diámetro	13.0 m
Altura	8.8831 m
Volumen	1,179,076 L
No. Anillos (Ring)	5 anillos
Tipo de techo	Cónico
Altura techo cónico	0.325 m
Láminas de hierro al carbón necesarias	84 láminas

CUADRO No.9

Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.2540 m, cédula 40 para descarga de agua contra-incendios.

Propiedades	Valores
Tamaño nominal tubería (m)	0.2540
Diámetro exterior (m)	0.27305
Diámetro interior (m)	0.2545
Número de cédula	40
Espesor de la pared (m)	0.00927

CUADRO No.10

Número de enchufes de descarga de mezcla agua/espuma necesarios en relación al tamaño del diámetro de los tanques de almacenamiento de etanol

Tanque de almacenamiento de etanol	Número mínimo de enchufes de descarga (foam makers)
Tanque No. 1	2 unidades
Tanque No. 2	2 unidades
TOTAL	4 unidades

De acuerdo con el CUADRO No.10, se necesitan 2 enchufes de descarga para cada tanque de 5,000,000 de litros, un total de 4 enchufes de descarga para los dos tanques de almacenamiento. Es necesario realizar una mezcla de agua/espuma al 3% p/p para poder descargarla dentro del tanque. La tubería de transporte de la espuma es de 0.1016 m cédula 40 de acero al carbón.

CUADRO No.11

Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1016 m, cédula 40 para descarga de espuma.

Propiedades	Valores
Tamaño nominal tubería (m)	0.1016
Diámetro exterior (m)	0.1143
Diámetro interior (m)	0.1023
Número de cédula	40
Espesor de la pared (m)	0.00602

CUADRO No.12

Cantidad de hidrantes y monitores necesarios para el sistema contra-incendios

Equipo contra-incendios	Valores
Hidrantes	6 unidades
Monitores	4 unidades
Distanciamiento entre hidrantes	41 m a 52 m
Distanciamiento entre el tanque e hidrantes	15 m
Distanciamiento entre el tanque y monitores	12 m a 27 m

CUADRO No.13

Características de las bombas con motores diesel utilizadas para el sistema contra-incendios

Capacidad	113.55 m ³ /h
Tipo de bomba	Bomba centrífuga
Material de bomba	Hierro dúctil
Potencia de la bomba	18.64 KW
Potencia del motor	22.37 KW
Diámetro impelente	0.2286 m
Dimensiones (m)	1.22 x 0.91 x 2.74
Eficiencia de la bomba	80%
Eficiencia del motor	80%
Velocidad	3000 rev/min

Asimismo, se consideró colocar una bomba de presión (bomba jockey) que su función es mantener la presión dentro de la tubería del agua utilizada contra-incendios para evitar una posible caída de presión que pueda afectar el enfriamiento de los tanques de almacenamiento en caso de un incendio.

D. Diseño de equipo de descarga de etanol

1. Descarga de etanol de cisternas a tanques de almacenamiento. El tamaño de la tubería de acero al carbón a utilizar para la descarga de etanol de las cisternas hacia los tanques de almacenamiento es de 0.1016 m de diámetro, cédula 40. Las características de la bomba utilizada para el traslado del etanol se muestran a continuación:

CUADRO No.14

Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al tanque de almacenamiento

Capacidad	113.56 m ³ /h
Tipo de bomba	Bomba centrífuga
Material de bomba	Hierro dúctil
Potencia de la bomba	3.73 KW
Potencia del motor	4.47 KW
Descarga x Succión x Impelente	4 x 6 x 10
Cabeza	9.76 m
Eficiencia de la bomba	80 %
Eficiencia del motor	83 %

2. Descarga de etanol de tanques de almacenamiento a barco de exportación. Dadas las condiciones de mantener como velocidad máxima permitida de 4 m/s, se eligió la tubería de 0.2032 m de diámetro, cédula 40. A continuación se presentan las propiedades de la tubería de acero al carbón:

CUADRO No.15

Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.2032 m, cédula 40.

Propiedades	Valores
Tamaño nominal tubería (m)	0.2032
Diámetro exterior (m)	0.2190
Diámetro interior (m)	0.2027
Número de cédula	40
Espesor de la pared (m)	0.00813

CUADRO No.16

Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al barco

Capacidad	340.56 m ³ /h
Tipo de bomba	Bomba centrífuga
Material de bomba	Hierro dúctil
Potencia de la bomba	48.47 KW
Potencia del motor	59.66 KW
NPSHr	30.89 m
Cabeza	11.76 m
Eficiencia de la bomba	80 %
Eficiencia del motor	85 %

E. Sistema eléctrico

CUADRO No.17

Costos totales del sistema eléctrico de la terminal de almacenamiento de etanol y equipos

Sistema eléctrico	Costo
Generador continuo de 130 KW para bombas de descarga de etanol al barco	Q 165,550.00
Acometida Empresa Eléctrica para la distribución de energía por toda la planta (tubería y zanjeado)	Q 6,102,927.60
Lámparas a prueba de explosión para iluminación perimetral	Q 63,690.00
Mano de obra y montaje de equipo	Q 34,460.20
Total de costos fijos anuales	Q 84,790.16
Total de costos variables	Q13,464,518.21
TOTAL	Q19,915,936.17

*(Ver detalle en Anexos: CUADRO No. 42, 43, 44, 45 y 46, pág. 51-59)

F. Análisis económico

CUADRO No.18

Resumen inversión inicial de equipo y construcción

Área	Inversión inicial	
Oficinas administrativas y recepción	Q	1,548,546.50
Tanques de almacenamiento	Q	4,760,703.16
Sistema contra-incendio	Q	1,906,280.44
Tubería y accesorios	Q	1,154,126.15
Sistema eléctrico	Q	6,366,627.80
Área de comida	Q	8,352.10
Bodega de mantenimiento	Q	812,880.00
Baños y vestidores	Q	4,127.10
Vehículos	Q	180,000.00
Bombas, suministros y servicios	Q	721,095.00
Terreno	Q	885,839.69
Personal	Q	30,000.00
Neumática	Q	143,300.00
Imprevistos 15%	Q	2,778,281.69
TOTAL	Q	21,300,159.63

*(Ver detalle en Anexos: CUADRO No.46, pág. 55)

CUADRO No.19

Resumen costos fijos de equipo y mantenimiento

Área	Costo anual	
Electricidad	Q	84,790.16
Oficinas administrativas y recepción	Q	26,220.00
Área de mantenimiento	Q	50,000.00
Área de comedor	Q	2,640.00
Baños y vestidores	Q	1,940.00
Vehículos	Q	81,600.00
Terreno	Q	288,244.34
Otros	Q	9,640.00
Personal	Q	37,500.00
TOTAL	Q	582,574.50

*(Ver detalle en Anexos: CUADRO No.47, pág.59)

CUADRO No.20

Resumen costos variables anuales de electricidad y consumo de combustible

Año	Costo anual
1	Q 1,338,187.56
2	Q 1,335,597.20
3	Q 1,332,499.64
4	Q 1,335,037.49
5	Q 1,337,102.81
6	Q 1,352,137.21
7	Q 1,350,387.10
8	Q 1,358,227.30
9	Q 1,363,623.36
10	Q 1,361,718.55

*(Ver detalle en Anexos: CUADRO No.48-49, pág. 60)

CUADRO No.21

Resumen costo mensual y anual de salarios a trabajadores

Costo salarios mensual	Q 103,516.36
Costo salarios anual	Q 1,242,196.36

*(Ver detalle en Anexos: CUADRO No.50, pág. 61)

CUADRO No.22

Resumen ingresos anuales de exportación de etanol

Precio de unidad de compra (Q/L)	Q 5.13
Precio de unidad de venta (Q/L)	Q 5.28
Litros exportados al año (L/año)	60,000,000.00
Ingreso anual	Q 7,899,878.05

CUADRO No.23

Rentabilidad del proyecto de la terminal de almacenamiento de etanol

Tasa Interna de Retorno (TIR)	26%
Valor Actual Neto (VAN)	Q 3,638,920.81
Tiempo de recuperación de inversión	1 año

CUADRO No.24

Detalle de los puntos de equilibrio anuales del análisis económico

Año	Punto de equilibrio
1	3,363,249.23
2	3,538,641.43
3	3,781,016.11
4	4,006,898.11
5	4,246,467.88
6	4,494,753.25
7	4,765,239.80
8	5,047,351.09
9	5,347,421.13
10	5,669,302.92

VIII. DISCUSIÓN

El diseño de la terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros se basó en los lineamientos y normas a seguir de acuerdo a la NFPA. El proyecto consistió en el diseño de dos tanques de almacenamiento con capacidad de 5 millones de litros cada uno en un área clasificada rodeada de bordas de contención, un sistema contra-incendios para los tanques en caso de incendio, diferentes tamaños de tubería y bombas de descarga del producto hacia los tanques y fuera de los tanques para la exportación de etanol, así como la bomba para el sistema contra-incendios. Fue necesario determinar capacidades y condiciones de operación para el diseño del equipo, como por ejemplo las bombas centrífugas y los tanques de almacenamiento de etanol.

Se comenzó diseñando los tanques de almacenamiento de etanol, los cuales tienen una capacidad de 5 millones de litros cada uno. Primero, se consideró un 10% del volumen a almacenar como porcentaje de seguridad para evitar problemas de rebalse o derrames en el área de contención. Por ese motivo, se diseñó cada tanque con una capacidad máxima de 5.5 millones de litros de etanol. De acuerdo a las normas de "American Petroleum Institute" (API) se determinó la altura y el diámetro de ambos tanques, ya conocido este volumen real de almacenaje. La altura de los tanques es de 9.76 m y el diámetro de 27.12 m. El material de las láminas para la construcción de los tanques es de hierro al carbón con un largo de 6.096 m, un ancho de 1.8288 m y un grosor variable dependiendo de los anillos. El grosor de las láminas de los primeros anillos de abajo para arriba es mayor, debido a la cantidad de peso que tiene que soportar estructuralmente y por la presión ejercida por el volumen almacenado de etanol. Se eligió que el techo fuera cónico con una válvula de alivio para disminuir costos y se consideró la altura del cono para el cálculo de láminas necesarias de hierro al carbón. Es muy importante mencionar que un techo flotante sería la mejor opción para evitar mayor evaporación del etanol, sin embargo su costo es demasiado elevado. La razón de recomendar un techo flotante es que no permite un espacio libre entre el producto y el techo, por lo que resulta más difícil para el etanol evaporarse por la falta de aire o espacio disminuyendo así pérdidas de producto. Así mismo, es importante también proteger el tanque contra la corrosión y evitar el sobrecalentamiento generado por los rayos solares, por lo que se recomienda escoger un color de pintura que refleje dichos rayos como lo es el color blanco.

De acuerdo a las normas NFPA 30, se calculó las distancias mínimas que deben estar situados los tanques de almacenamiento desde linderos vecinos, construcciones ajenas al proyecto, construcciones dentro del proyecto y entre ellos mismos. Estas distancias mínimas fueron calculadas por el tipo de tanque de almacenamiento y las capacidades de ambos. Los resultados calculados que muestran dichas distancias mínimas descritas se muestran en el cuadro No. 6. Como medida de seguridad, se diseñó también el dique donde están ubicados los tanques, a manera de contener el producto en caso de un derrame y evitar la propagación de la contaminación. La altura de los muros de contención son de 1.7 m, donde el área de contención es de 50 m por 47.27 m. Esta área debe ser capaz de contener el volumen total de un tanque

unitario, tomando en cuenta el volumen abarcado donde está situado el tanque. El área interior del dique de contención debe tener una capa de concreto para evitar la contaminación de la subcapa friática por absorción del etanol derramado. En caso sea un derrame, el dique debe contar con un drenaje controlado de aguas pluviales y del etanol. Dichos drenajes deben tener válvulas de compuerta de control para drenar las aguas pluviales o contener el etanol dentro del dique y recuperar dicho producto en caso un derrame.

En lugares donde se almacenan líquidos combustibles e inflamables, tal como el etanol, fue necesario clasificar áreas de acuerdo al peligro asociado por el producto almacenado. De acuerdo a la norma NFPA 497, el área clasificada como División 1 Clase 1 fue comprendida en un radio de 1.52 m medidos en todas las direcciones a partir del extremo abierto del venteo y el área interna del tanque. El área clasificada como División 1 Clase 2 comprende un radio de 3.05 m medidos a partir del cuerpo y el área dentro de los diques de contención. Esto representa el peligro que puede tener la planta al instalar equipos eléctricos cerca de los tanques de almacenamiento en las áreas clasificadas ya que pueden ocasionar un cortocircuito que provoque un incendio de mayor escala. Esta clasificación de áreas se hace para diferenciar dónde existe mayor presencia de vapores inflamables en los tanques y sus alrededores. Dentro del área de diques, no debe existir ningún otro equipo o tanques de almacenamiento de menor tamaño de cualquier otro líquido inflamable, por lo que esta área debe estar despejada para contener únicamente el etanol almacenado en los tanques en caso un derrame. No debe estar permitido el ingreso de personal al área de diques sin un permiso de trabajo autorizado que indiquen las precauciones de estar presente en esas áreas.

Luego del área de los tanques, se diseñó el sistema contra-incendios. Se eligió la perforación de un pozo de agua como suministro de agua para combate contra-incendios y aguas de servicios. El tanque de agua para el sistema contra-incendios tiene un diámetro de 13 m, una altura de 8.88 m y una capacidad de 1,179,076 L. Dicha capacidad se calculó con base a la NFPA 11 que afirma que debe existir una descarga de agua de por lo menos 65 minutos de los monitores o hidrantes hacia los tanques de etanol como medio de control de un incendio. Así mismo, se diseñó la tubería utilizada únicamente para el control de incendios, el cual es de acero al carbón con un tamaño nominal de 0.2540 m como suministro principal y 0.1016 m para el área de suministro de hidrantes y monitores en el área externa del dique de contención y suministro de espuma. De acuerdo a las especificaciones de la NFPA 11, se necesitan de 2 enchufes de descarga de espuma por cada tanque de almacenamiento basado en el tamaño del diámetro del tanque. Estos enchufes de descarga transportan una mezcla de espuma/agua al 3% p/p para descargarla en el interior del tanque y asfixiar el fuego. Dicha mezcla espuma/agua se realiza en un proporcionador de espuma ubicado en el cuarto de bombas. La espuma elimina la cantidad de oxígeno necesario para que el etanol siga quemándose en el interior del tanque. La tubería que transporta la espuma es independiente de la tubería que suministra agua a los hidrantes y monitores, y ésta penetra el tanque en la parte superior para descargar la espuma encima del etanol. Se diseñó la colocación de los enchufes de descarga de espuma de manera que quedaran en contra posición uno con otro de acuerdo a la NFPA 11.

Se diseñó la colocación de una bomba de presión (bomba jockey) dentro de la tubería de agua para mantener la presión interna y evitar una caída de presión que pueda afectar la descarga de agua de los monitores e hidrantes en la operación de combatir un posible incendio de los tanques de almacenamiento. Así mismo, se colocó monitores e hidrantes para el enfriamiento y contención del fuego en caso de un incendio en uno de los tanques de almacenamiento. Los monitores son dispositivos cuyo propósito es el enfriamiento del tanque adyacente al tanque que se encuentra en llamas para evitar que éste no se encienda por causa de conducción térmica. Se optó por instalar cuatro monitores y seis hidrantes para cubrir los dos tanques de almacenamiento. Cabe mencionar que los monitores no deben ser considerados como el medio de protección primario para tanques de techo cónico fijo que tengan más de 18 m de diámetro y las mangueras manuales de los hidrantes no es permitido su uso como protección primaria para tanques de techo cónico fijo con más de 9 m de diámetro. El número de hidrantes normalmente se determina por el diseño y el tipo de proceso. De acuerdo a la práctica recomendada API 2001, la distancia normal entre hidrantes es entre 45 a 90 metros, dependiendo de los riesgos de incendio, el acomodo de los equipos en las diferentes áreas, los requerimientos de agua y el número de salidas de hidrantes. La distancia entre un hidrante y un edificio o estructura que será protegida deberá por lo menos estar a 15 m, si es posible. Por otro lado, las mangueras tradicionalmente utilizadas son las de 0.0381 m de diámetro y las de 0.0635 m de diámetro. Las primeras mangueras son para una rápida disponibilidad de agua en áreas de proceso y las segundas primariamente en descargas grandes para enfriamiento de estructuras y equipo.

Por último se diseñó las bombas a utilizar para la distribución de agua y espuma contra-incendios. El tipo de bomba diseñada fue centrífuga con motor diesel. La elección de un motor diesel se basó en la posibilidad que en caso de un incendio falle el suministro de energía eléctrica y por lo tanto la bomba, riesgo que no se encuentra cuando se tiene un motor que funciona a base de diesel. La potencia de la bomba es de 18.64 KW con una velocidad de 3,000 revoluciones por minuto y una eficiencia del 80%. Sus dimensiones son de 1.22 m x 0.91 m x 2.74 m de hierro dúctil, con una capacidad de 113.55 m³/h. En la FIGURA No.6 en la sección de Anexos se muestra la curva respectiva de la bomba mostrando sus capacidades y eficiencias de operación. Se optó por colocar dos bombas contra-incendios en caso falle una unidad, como medida de seguridad. También se colocó en el plano de la planta una ramificación de válvulas para pruebas específicas de presión de agua de las bombas contra-incendios.

La operación de la planta comienza con la descarga de etanol de un medio de transporte, en este caso camiones cisternas, a los tanques de almacenamiento. El tamaño de la tubería de acero al carbón es de 0.1016 m de diámetro, cédula 40. La capacidad de las dos bombas centrífugas diseñadas son de 113.56 m³/h con una potencia de bomba de 3.73 KW. La potencia de estas bombas es menor debido a que la distancia a bombear del etanol es mucho menor que la distancia de las bombas contra-incendios. La cabeza de estas bombas centrífugas es de 9.76 m, el cual se asumió una eficiencia del 80%. El material más común para este tipo de bombas es hierro dúctil, por lo que justifica la elección de este material y no otro más costoso como el acero inoxidable. Como medida de control de la descarga de etanol de los camiones cisterna a los tanques, se

consideró la instalación de medidores de flujo másico, un caudalímetro ultrasónico, en ambas tuberías. De esta manera se lleva un mejor control de la cantidad de etanol que cada camión cisterna descarga, un aproximado de 37,850.10 L por cada uno. Así mismo, se puede llevar un mejor control de la cantidad de etanol que se evapora de los tanques por condiciones climáticas, las cuales se consideran como pérdidas. El tipo de producto que se descarga, etanol comercial hidratado o carburante anhidro, debe llevar también un control de aseguramiento de calidad el cual está basado en las propiedades características de cada producto como se muestran en el CUADRO No. 55 en la sección de Anexos.

El área de descarga de los camiones cisternas que contienen etanol es de 12.5 m², donde se ubican las dos bombas centrífugas de 3.73 KW. Se tomó como base una descarga de 1892.51 L/min para cada una de las bombas, suponiendo que se descarga etanol de 2 cisternas de 37,850.10 L de etanol por hora, incluyendo el tiempo de conexión de las mangueras a la tubería más el tiempo de descarga del producto. El tiempo de descarga por camión cisterna es aproximadamente de 30 minutos, por lo que se estaría descargando 605,601 litros de etanol por día. De estos parámetros, se calculó el tiempo total de descarga mínimo que se puede tener hacia un solo tanque de almacenamiento, siendo éste de 9 días aproximadamente. Sin embargo, cabe mencionar que la producción de etanol hoy en día es muy baja, por lo que no se estaría recibiendo los camiones cisterna tan rápidamente. Con base a esto, se optó por tener una holgura de 1 mes y medio para llenar la capacidad total de los dos tanques, asumiendo una producción anual de 60 millones de litros anuales.

Cuando los tanques de almacenamiento se encuentren con su capacidad máxima, se procede a la descarga de etanol hacia el barco para la exportación del producto. El diseño de la tubería se basó en la condición de mantener una velocidad máxima permitida de 4 m/s, en el cual se eligió la tubería de acero al carbón de 0.2032 m de diámetro, cédula 40. Dicha tubería quedará bajo tierra 1.2 m desde la planta hasta el área del barco, de acuerdo al “American Society of Mechanical Engineers B31.4” (ASME B31.4) sección 434.6. Al instalar la tubería subterránea, se evita que la tubería se dañe físicamente por personas ajenas a la operación de descarga o vecinos del lugar, ya que el trayecto de la tubería atraviesa carreteras de mucho tránsito vehicular y áreas industriales, comerciales y residenciales donde transitan una cierta cantidad de personas. Siendo el etanol un líquido inflamable con riesgo de incendiarse, se recomienda aislar dicha tubería por medio de su colocación bajo tierra en lugar que superficialmente, donde se colocarán rótulos, luces o banderas protectoras donde indique el traspaso de la tubería para interés de la seguridad pública. Otra ventaja de mantener la tubería subterránea es que no presentará mayor problema de corrosión, desgaste y peligro ante las condiciones climáticas donde se ubica la planta, evitando los rayos del sol, agua por lluvia y descargas eléctricas generada por rayos.

Así mismo, se recomienda la realización de pruebas hidrostáticas de presión para detectar cualquier fuga dentro de la tubería antes de comenzar la operación de descarga de etanol para evitar cualquier pérdida del producto y mantener el ambiente libre de contaminación. La tubería deberá tener una protección catódica y una aplicación de pintura epóxica para proteger la tubería contra la corrosión, a pesar que se encuentre subterránea. Otro punto importante a considerar, es proporcionar un despeje mínimo de 0.3 m entre la parte

exterior de la tubería y el extremo de cualquier otra estructura subterránea encontrada en el paso, para respetar el trayecto de las demás tuberías, evitar entrecruzamientos y daños a la tubería en caso haya lugar una excavación de parte de la empresa dueña de la otra tubería.

Se diseñaron, por último, las bombas de descarga de etanol al barco, las cuales tienen una capacidad de 340.56 m³/h para cada tanque. Dichas bombas son tipo centrífugas con material de hierro dúctil y una potencia de 48.47 KW. La eficiencia se asumió de un 80%, por lo que la potencia del motor es de 59.66 KW. La capacidad de la bomba centrífuga se basó en la disminución del tiempo de descarga de etanol de los tanques de almacenamiento al barco para su exportación. Con esta capacidad de descarga máxima, se tiene un tiempo de operación mínimo ideal de 15 horas para descargar los 10 millones de litros de etanol al barco mediante el uso de ambas bombas. De esta forma se tiene una holgura de 9 horas como máximo para evitar un costo extra de estadía por parte del barco en la Portuaria.

Para el diseño del sistema eléctrico, se optó por realizar una acometida por parte de la Empresa Eléctrica y la compra de un generador de 130 KW. Dicha compra del generador se justificó para la operación de las bombas centrífugas de 48.47 KW en la operación de descarga de etanol al barco. Mediante el uso de un generador, se evita el riesgo de una caída en el suministro de energía que pueda afectar el tiempo de descarga de etanol de los tanques al barco. Debido a que existe un costo de por medio por parte de la Portuaria para la estadía de un barco por día, es necesario tomar las precauciones para acortar el tiempo de descarga del etanol. También con el uso del generador, se evita el costo elevado del uso de energía por parte de la Empresa Eléctrica ya que su cobro está basado en el pico de consumo más elevado en el tiempo de operación del equipo. Las oficinas y las demás áreas dentro de la planta tendrán conexiones eléctricas para su operación. Se optó también por colocar luminarias perimetrales de halógeno a prueba de explosión para la iluminación de todas las áreas dentro de la planta. Cabe mencionar que todos los equipos de la planta, incluyendo los tanques de almacenamiento, deben estar conectados a tierra de acuerdo a la NFPA 70 para evitar problemas de estática que pudiera ocasionar un incendio.

Una de las recomendaciones a mencionar como apoyo para el sistema contra-incendios es tener un sistema de emergencia coordinado por los bomberos municipales o tener una brigada de bomberos dentro de la planta. De esta manera en caso de cualquier falla en el sistema principal contra-incendios, se tiene el apoyo de los bomberos en caso exista un incendio o explosión dentro de la planta. Así mismo se recomienda la colocación de una bomba hidráulica que bombee agua del río que atraviesa el terreno de la planta. De esta manera se asegura la obtención de agua en todo momento para el combate contra cualquier incendio.

La rentabilidad del proyecto se verificó en el análisis económico tomando en cuenta los costos fijos y variables, ingresos anuales y la inversión inicial. En la inversión inicial se tomó en cuenta un 15% del costo total de la inversión como imprevistos para cubrir cualquier gasto imprevisto en los cálculos de costos. La ganancia por litro exportado es de 15 centavos, el cual aumenta el ingreso debido al volumen proyectado a

exportar. El proyecto de una terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros obtuvo una TIR del 26%, un VAN de 3.6 millones de quetzales y una recuperación de la inversión en un año en un tiempo de evaluación del proyecto de 10 años. Tales resultados fueron altos debido a la gran capacidad de almacenaje que posee la planta y la asunción de exportar 60 millones de litros anuales, elevando el ingreso anual. Si disminuye los litros exportados anuales a 40 millones, el valor de la TIR baja a un 5%; valor que no sería rentable para la operación de la planta ya que es menor que la tasa actual bancaria. Por eso se concluye que los cambios en las ventas del etanol son muy sensibles a los valores de la TIR como se muestra en la figura No.5. Únicamente se permite una disminución del 10% del total de las ventas para que el proyecto siga siendo más rentable que si se utilizara la tasa bancaria del 18% que actualmente se tiene. Se realizó un préstamo de 10.6 millones de quetzales para aumentar el valor de la TIR, el cual se tomó en cuenta la tasa de interés bancaria actual de 13% dentro del análisis económico.

La proyección del incremento de la producción del etanol constituye una parte importante para el funcionamiento de la planta. Así mismo, en el plano general de la planta se observa a pequeña escala la ubicación de todas las áreas, paso de tuberías, instalaciones y mediciones de equipo. Se dejó prevista la expansión de la planta para incrementar el almacenamiento de etanol en un futuro cuando la demanda y producción sea mayor que la actual.

IX. CONCLUSIONES

1. La Tasa de Interés de Retorno (TIR) con una exportación de 60 millones de litros de etanol con una ganancia de 15 centavos de quetzal por litro es del 26% en un tiempo de evaluación económica de proyecto de 10 años, valor superior a la tasa bancaria del 18%. Este valor de la TIR es, sin embargo muy sensible a las variaciones que pudieran darse en las ventas y las ganancias por litro exportado de etanol, por lo que se presenta un riesgo de rentabilidad.
2. El VAN tiene un valor positivo de 3.6 millones de quetzales, por lo que indica que el proyecto es rentable en un tiempo de evaluación económica de 10 años. Así mismo, el tiempo de recuperación de capital es de un año, por lo que en el primer año se obtienen ganancias en la operación de la planta.
3. Hoy en día, la terminal de almacenamiento de etanol con capacidad de 10 millones de litros cumple con las expectativas de la demanda de etanol a nivel mundial. Sin embargo, la planta está diseñada para cubrir una posible expansión en caso la demanda sea muy grande en un futuro muy próximo, ya que la escasez de las reservas de petróleo crean un gran interés en la producción de etanol para diferentes usos.
4. El sistema contra-incendios es el pilar para que la planta opere de una manera segura tomando las precauciones necesarias para eliminar riesgos y peligros de un derrame o un incendio dentro del área de diques alrededor de los tanques. También es muy importante asegurarse que todo equipo utilizado para el sistema contra-incendios no esté diseñado para que pueda dar lugar a un fallo de su funcionalidad por bajas eléctricas o poca disponibilidad de agua y espuma para combatir un incendio. El mantenimiento y la verificación de la capacidad de todo el equipo es fundamental para la operación del sistema contra-incendios.
5. Las normas NFPA y ASME B 31.4 fueron de gran utilidad para el diseño de los tanques de almacenamiento, el sistema contra-incendio y la colocación de las tuberías, así como sus especificaciones. Así mismo, el API también fue de gran utilidad para el dimensionamiento de los tanques según la capacidad de almacenamiento que fue de 5 millones de litros para cada uno. Se recomienda la utilización de otras normas como las de PEMEX que puedan servir de utilidad para el diseño de una terminal de líquidos inflamables y combustibles como otra referencia de apoyo.

X. RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta el uso de la norma ASME B31.4 para la protección contra la corrosión del tanque y todas las tuberías mediante protección catódica y con revestimiento epóxico con cierto grosor de recubrimiento. Además se recomienda la consulta de esta norma para situaciones de cruces de tubería en carreteras, rieles de ferrocarril, pruebas hidrostáticas y de presión, y prueba de fugas para la tubería.
2. Para terminales de almacenamiento de líquidos inflamables, en este caso el etanol, de acuerdo a las características del tanque diseñado no se recomienda la instalación de pararrayos debido a que éstos atraen descargas eléctricas en caso de una tormenta eléctrica, la cual podría generar un incendio pequeño o grande según la norma NFPA 780 capítulo 7, sección 7.4.1.1. La colocación del pararrayos depende de las características de soldadura del tanque, grosor de lámina del techo y emisión de vapores inflamables.
3. Es muy importante considerar la realización de un plan de contingencia en caso de incendio, derrame o accidente que pueda afectar la operación de la planta. Este plan de contingencia debe estar apoyado mediante la formación de una brigada de bomberos en caso de emergencias, capacitación del personal y por consiguiente simulacros de evacuación del personal operativo y administrativo por medio de alarmas.
4. La rotulación de las áreas clasificadas y no clasificadas es muy importante a tomar en cuenta para evitar el traspaso de personas no autorizadas a lugares de alto riesgo. Además, rótulos de “No fumar” deben ser colocados en lugares de mayor tránsito de personas como recordatorio que en la terminal es prohibido fumar.
5. Los tanques de almacenamiento deben tener también rótulos que indiquen: a) nombre del producto que se almacena, b) número ID del tanque según el código de la empresa, c) altura máxima en metros y pies, d) altura mínima, e) fecha de construcción, f) fecha de limpieza, g) volumen de litros por metro según calibraciones y h) volumen total en litros o galones. Es recomendable pintar los tanques de almacenamiento de color blanco con el fin de disminuir el calentamiento de éste ocasionado por los rayos solares, y por consiguiente la disminución de la evaporación del etanol. Se recomienda hacer un estudio de la cantidad de pérdidas anuales del etanol por evaporación en ambos tanques de almacenamiento de acuerdo a las condiciones climáticas del entorno.
6. En caso de un derrame dentro del área de tanques, los drenajes deben contar con una recirculación del producto a fin de evitar que se deseché por el drenaje pluvial y se pierda este producto, por lo que se recomienda la unión del drenaje pluvial con una línea de recuperación para que este líquido inflamable derramado se pueda recuperar.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. ASME B31.4. 1999. *Sistemas de Transporte por Tubería para Hidrocarburos Líquidos y otros líquidos*. Edición 1998. Estados Unidos, Nueva York. Pp. 88, 91.
2. Brooke B. Smith, Jr., *et al.* 2000. *NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code*. Edición 2000. Estados Unidos, CO. Pp. 30-9 – 30-22, 30-61.
3. CANUTEC, 2000. *Emergency Response Guidebook*. Edición 2000. Canadá. Pp. 218 – 219.
4. Christopher P. Hanauska, *et al.* 2005. *NFPA 11: Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam*. Edición 2005. Estados Unidos, CO. pp. 11-13.
5. James G. Stallcup., *et al.* 2004. *NFPA 497: Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapor and of Hazardous Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*. Edición 2004. Estados Unidos, CO. Figura. 5.9.4(a).
6. Lee, Sunggyu. 1996. *Alternative Fuels: Fuel Ethanol Fermentation*. 1a. Edición. Editorial Taylor & Francis. Estados Unidos. Pp. 419-422.
7. McCabe, Warren, *et al.* 1991. *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*. 4a. Edición. Editorial McGraw-Hill, México. Pp. 125-129, 1154.
8. Mora, NE; Cavado, A.; Alfonso, G. 2007. *Índices de Calidad del Alcohol Etilico Anhidro Combustible*. http://www.biocarburantesmagazine.com/descargas/indicecalidad_alcoholanhidro.pdf
9. Mury, Rogelio Alvarez. 2002. *Diseño de Instalación y Manejo de Tanques Contenedores Internacional Standard Organization (ISO) Horizontales para Jarabe de Maíz en Fábrica de Dulce Tropical II*. Trabajo de Graduación Universidad del Valle, Guatemala. Pp. 24-29.
10. Perry, Robert H. 1999. *Chemical Engineers' Handbook*. 7a. Edición. Editorial McGraw-Hill, Inc. Estados Unidos. Capítulo 6 Pp.18
11. Robert C. Rosaler. 1995. *Standard Handbook of Plant Engineering*. 2a. Edición. Editorial McGraw-Hill, Inc. Estados Unidos. Pp. 10-5 a 10-6.
12. Wyman, E. Charles. 1996. *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. 1a. Edición. Editorial Taylor & Francis. Estados Unidos. Pp. 3, 7 - 14.

XII. ANEXOS

A. Glosario

Tanque atmosférico: Tanque de almacenamiento que ha sido diseñado para operar a presiones comprendidas entre la atmosférica y 6.89 kPa (1.0 psi) manométrica medida en la parte superior del tanque.

Tanque de almacenamiento: Cualquier recipiente que posea una capacidad superior a los 227 L, que haya sido destinado para su instalación fija y que no se utilice para procesamiento.

Ventoeo de alivio de emergencia: Abertura, método constructivo o dispositivo que automáticamente aliviará la excesiva presión interna provocada por la exposición a un incendio.

Planta de carga a granel o Terminal: Parte de una propiedad en la cual se reciben los líquidos por medio de buques tanque, tuberías, camiones cisterna o vehículos cisterna, y en donde se almacenan a granel con el fin de distribuir dichos líquidos mediante buques tanque, tuberías, vehículos cisterna, tanques portátiles o recipientes.

Emisiones por fugas: Liberaciones de vapor inflamable que se producen de manera continua o intermitente en los equipos de procesamiento durante su operación normal. Estas incluyen las pérdidas producidas en los sellos de las bombas, empaque de las válvulas, juntas de las bridas, sellos de los compresores, drenajes de los procesos, tanques con válvula de alivio, etc.

Material peligroso: Material que presenta riesgos más allá de los problemas de incendio relacionados con su punto de inflamación y punto de ebullición. Estos peligros pueden surgir de, pero no se limitan a, su toxicidad, reactividad, inestabilidad o corrosividad.

Protección de exposiciones: Protección contra incendio para estructuras ubicadas en propiedades adyacentes al almacenamiento de líquidos. La protección contra incendio para dichas estructuras se considerará aceptable cuando estén dentro de la jurisdicción de cualquier departamento público de bomberos, o bien adyacentes a plantas que posean brigadas contra incendio privadas capaces de proporcionar corrientes de agua de enfriamiento a las estructuras de las propiedades adyacentes al almacenamiento de líquidos.

Punto de inflamación: Mínima temperatura de un líquido en la cual se produce suficiente cantidad de vapor para formar una mezcla inflamable con el aire, cerca de la superficie del líquido o dentro del recipiente empleado.

Líquidos inflamable: Cualquier líquido que posea un punto de inflamación de copa cerrada por debajo de 37.8°C. Los líquidos inflamables deben clasificarse como Clase I de acuerdo con lo siguiente:

- *Líquido Clase I.* Cualquier líquido que posee un punto de inflamación de copa cerrada por debajo de 37.8°C y una presión de vapor Reid que no supere los 2068.6 mmHg a 37.8°C. Los líquidos Clase I se subclasifican de la siguiente manera:
 - a. Los líquidos Clase IA incluyen aquellos líquidos que poseen puntos de inflamación por debajo de 22.8°C y puntos de ebullición por debajo de 37.8°C.
 - b. Los líquidos Clase IB incluyen aquellos líquidos que poseen puntos de inflamación por debajo de 22.8°C y cuyos puntos de ebullición son iguales o superiores a 37.8°C.
 - c. Los líquidos Clase IC incluyen aquellos líquidos cuyos puntos de inflamación son 22.8°C o superiores, pero inferiores a 37.8°C.

Líquido combustible: Un líquido combustible se definirá como cualquier líquido que posee un punto de inflamación de copa cerrada igual o superior a 37.8°C. Los líquidos combustibles se clasifican en Clase II o Clase III de acuerdo con lo siguiente:

- *Líquido Clase II.* Cualquier líquido que posee un punto de inflamación igual o superior a 37.8°C e inferior a 60°C.
- *Líquido Clase IIIA.* Cualquier líquido que posee un punto de inflamación igual o superior a 60°C, pero inferior a 93°C.
- *Líquido Clase IIIB.* Cualquier líquido que posee un punto de inflamación igual o superior a 93°C.

B. Cálculos de muestra

1. Dimensiones del tanque y ubicación. Según API para una capacidad de 5.5 millones de litros se utilizará un tanque con las siguientes dimensiones:

CUADRO No.25

Dimensiones de las propiedades de los tanques de almacenamiento individuales de etanol

Propiedades de los tanques	Dimensiones
Diámetro	27.12 m
Altura	9.76 m
Volumen	5,000,000 L
Volumen a considerar	5,500,000 L

Por razón de seguridad es necesario incluir el 10% de la capacidad total del tanque.

1. Volumen a considerar: 5 millones litros + 10% Volumen tanque

Volumen a considerar: 5,500,000 millones de litros

2.
$$V = \pi r^2 h = \pi \left(\frac{27.12m}{2} \right)^2 (9.76) = 5,637,422.75 \text{ m}^3$$

Volumen real del tanque: 5,637,422.75 m³

Para calcular el grosor de las láminas a utilizar y la cantidad necesaria para la construcción de los dos tanques se realiza el siguiente cálculo:

3.
$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{27.12m}{2} \right)^2 = 577.656m^2$$

$$P = \pi D = \pi(27.12m) = 85.199m$$

Las dimensiones de láminas de acero más comunes para la construcción de tanques son:

Ancho: 1.2192 ó 1.8288 m (4 ó 6 pies)

Largo: 1.8288 m, 2.4384 m, 3.048 m, 3.6576 m, 4.8768 m ó 6.0960 m (6, 8, 10, 12, 16 ó 20 pies)

Para calcular el número de Rings que debe tener cada tanque de almacenamiento, se realizó los siguientes cálculos de acuerdo a la altura del mismo y los diferentes valores de ancho de las láminas:

4.
$$AlturaTanque = \sum_{i=0}^n AnchoLám. * n$$

$$AlturaTanque = (1.8288m)(4) + (1.2192)(2) = 9.7536m \approx 9.76m$$

5.
$$NúmeroRing = \sum n$$

$$NúmeroRing = 4 + 2 = 6$$

Por razones de seguridad, mientras menos cantidad de láminas se utilicen para la construcción del tanque mejor será la resistencia al fluido a almacenar debido a que existirá menor cantidad de soldaduras. Conociendo el número de Rings que el tanque debe tener, se necesitarían una cantidad total de 465 de láminas por uno de los tanques de almacenamiento. Para el cálculo de la cantidad de láminas necesarias para el techo del tanque cónico, se realizó el siguiente cálculo considerando un 5% de altura para dar lugar a la pendiente del techo y evitar la acumulación de agua de lluvia en el techo:

$$6. \quad \text{Alturatechocónico} = \left(\frac{27.12m}{2} \right) * \left(\frac{5}{100} \right) = 0.678m$$

Por medio del teorema de Pitágoras, se puede saber la distancia (hipotenusa) que se tiene que considerar para la construcción del techo cónico.

$$7. \quad \text{Dis tan cia} = \sqrt{r^2 + h^2} = \sqrt{\left(\frac{27.12m}{2} \right)^2 + (0.678m)^2} = 13.5769m$$

$$\text{Areatecho(cono)} = \pi r g = \pi (13.56m)(13.5769m) = 578.3758m^2$$

Con el área del techo a considerar, se puede saber la cantidad de láminas a utilizar. Con esto, se necesitarían 104 láminas de acero para cubrir el techo y el fondo del tanque. A continuación se presenta la cantidad necesaria de láminas por Ring y las características de cada lámina incluyendo el largo, ancho y el grosor:

CUADRO No.26

Láminas necesarias para un tanque de almacenamiento con capacidad de 5,500,000 L de etanol.

No. Anillo	Largo (m)	Ancho (m)	Área cubierta por lámina (m ²)	Área necesaria por el Tanque (m ²)	Cantidad necesaria de láminas por c/anillo
1	6.096	1.8288	11.1484	577.6560	51.8153
2	6.096	1.8288	11.1484	577.6560	51.8153
3	6.096	1.8288	11.1484	577.6560	51.8153
4	6.096	1.8288	11.1484	577.6560	51.8153
5	6.096	1.2192	7.4322	577.6560	77.7230
6	6.096	1.2192	7.4322	577.6560	77.7230
Techo	6.096	1.8288	11.1484	578.3758	51.8799
Base	6.096	1.8288	11.1484	577.6560	51.8153
SUMA TOTAL					466.4024 ≈ 465

CUADRO No.27

Características de las láminas necesarias para cada anillo del tanque de almacenamiento de 5,500,000 L de etanol

No. Anillo	Característica de láminas		
	Largo (m)	Ancho (m)	Grosor (m)
1	6.096	1.8288	0.0145
2	6.096	1.8288	0.0114
3	6.096	1.8288	0.0084
4	6.096	1.8288	0.0063
5	6.096	1.2192	0.0063
6	6.096	1.2192	0.0063
Techo	6.096	1.8288	0.0048
Base	6.096	1.8288	0.0063

La característica del tanque es ser vertical cónico con venteo de alivio de emergencia para limitar las presiones a 2.5 lb/pulg² manométrica (17.2 kPa). También cada tanque deberá tener un flotador para medir el nivel del tanque de etanol, y así evitar problemas de rebalse y derrames. De acuerdo con esta clasificación, según el CUADRO No.1 y No.2 (Ver sección Antecedentes) de la norma NFPA se calcula la distancia mínima que se puede ubicar el tanque desde la línea de lindero sobre el cual existen o puedan existir construcciones, incluyendo el lado opuesto de una vía pública.

El valor indicado en el CUADRO No.2 para un tanque con capacidad entre 1,000,000 galones y 2,000,000 galones es 41.1 metros de distancia.

8. X = ½ del valor indicado en el CUADRO No.2

Distancia mínima desde la línea del lindero sobre la cual existen construcciones incluyendo el lado

$$\text{opuesto de una vía pública al tanque} = \left(\frac{1}{2}\right) 41.1m = 20.5 \text{ m}$$

Asimismo se calcula la distancia mínima desde el lado más próximo de una vía pública o desde el edificio importante más cercano ubicado en la misma propiedad de acuerdo con el CUADRO No.1 y No.2 de la norma NFPA. El valor indicado en el CUADRO No.2 para un tanque con capacidad entre 1,000,000 galones y 2,000,000 galones es 13.7 metros de distancia.

9. X = ½ del valor indicado en el CUADRO No.2

Distancia mínima desde el lado más próximo a una vía pública o edificio importante más cercano al

$$\text{tanque} = \left(\frac{1}{2}\right)13.7m = 6.85 \text{ m}$$

La distancia entre los tanques es un factor muy importante a considerar cuando se ubican los tanques de almacenamiento. Para esto, la norma NFPA simplifica este cálculo mediante el CUADRO No.3 (ver sección Antecedentes). Según el CUADRO No.3 para la clasificación de tanques verticales con diámetros inferiores a 46 metros con almacenamiento de líquidos Clase I, se aplica la siguiente ecuación:

$$10. \quad X = \frac{1}{6} \sum_0^i Di$$

donde $\sum_0^i Di$ = suma de los diámetros de los tanques adyacentes

X = distancia mínima entre tanques de almacenamiento

$$X = \frac{1}{6} (27.12m + 27.12m) = 9.04 \text{ m}$$

Para la determinación de las dimensiones de las bordas o diques de los tanques, es necesario cumplir con lo que dicta la norma NFPA de acuerdo a los siguientes puntos:

- a) Debe existir una pendiente de no menos de 1 por ciento, comenzando en el tanque hacia la base del dique.
- b) Los pisos interiores de los diques de contención de tanques de almacenamiento que contengan líquidos inflamables o combustibles, deben ser construidos de manera que no permita la contaminación del subsuelo en caso de derrame. La colocación de una capa de concreto no permite que el etanol pueda ser filtrado hacia el subsuelo.
- c) La capacidad volumétrica del área con diques no debe ser inferior a la mayor cantidad de líquido que puede ser liberada del tanque de mayor capacidad dentro del área con dique, suponiendo el tanque lleno. Es importante considerar el área que abarca el tanque para calcular las dimensiones del dique.
- d) Para permitir el acceso, la base exterior del dique a nivel del terreno no estará a menos de 3 metros de cualquier lindero sobre el cual existen o puedan existir construcciones.
- e) Los muros del dique serán de tierra, acero, hormigón o mampostería sólida diseñados de manera que resulten herméticos a los líquidos y capaces de soportar la carga hidrostática.
- f) La mínima distancia entre los tanques y el pie de los muros interiores del dique debe ser de 1.5 metros. Los diques de contención deben tener como mínimo, un número de accesos peatonales (escaleras) protegidos con barandal.

- g) Los muros de tierra de 0.9 m de altura o más, deben tener en su parte superior una sección plana no menor a 0.6 m de ancho. La altura de los muros de contención con respecto al piso de la calle, no deberá ser mayor de 1.8 metros ni menor de 1.2 metros.
- h) El cableado eléctrico, incluyendo el de instrumentación y control que se localice en el interior de los diques de contención, debe alojarse en tubería conduit metálica galvanizada, cédula 40, Clase 1 División 2.
- i) En construcciones nuevas, el patio interior de diques de contención que alberguen varios tanques de almacenamiento, debe subdividirse con muretes intermedios de concreto o mampostería de 45 centímetros de altura para cada tanque, para evitar que pequeños derrames puedan poner en peligro la integridad de los tanques adyacentes dentro del recinto. Cada una de las subdivisiones, debe poseer un sistema de drenajes pluvial y aceitoso independientes (NFPA 30, 2000, 30-22).

De acuerdo a lo descrito anteriormente, siguiendo las normas NFPA se calcula la dimensión del área que abarcará el dique y la altura de los muros. La capacidad máxima de los tanques de almacenamiento será de 5,000 m³ de etanol. La altura de los muros del dique será de 1.7 m, teniendo en su parte superior una sección plana de 0.6 m. A partir de estos datos, se calcula el volumen a descontar del área abarcada por el tanque.

$$11. \quad V_{descontar} = \pi r^2 h = \pi \left(\frac{27.12m}{2} \right)^2 (1.70m) = 982.02 \text{ m}^3 \text{ de etanol}$$

Se calcula el volumen a considerar descontando el volumen contenido dentro del tanque.

$$12. \quad V = V_{contener} - V_{descontar} = 5,000m^3 - 982.02m^3 = 4,017.98 \text{ m}^3 \text{ de etanol}$$

Ya calculado el volumen a considerar para el cálculo de la dimensión del dique, se procede a calcular las distancias que corresponden al área del dique, o sea, la distancia de oeste-este y norte-sur del dique.

$$13. \quad V = h * A = h * l * a$$

donde

- h: altura del muro del dique (1.7 m)
- A: área del dique (m²)
- l: distancia oeste-este del dique (m)
- a: distancia norte-sur del dique (m)

Suponiendo una longitud con dirección de oeste a este de 50 m, se calcula la distancia con dirección de norte a sur del dique.

$$14. \quad a = \frac{V}{hl} = \frac{4,017.98m^3}{1.7m(50m)} = 47.27 \text{ m de distancia}$$

Así mismo se realizó el diseño de la válvula de emergencia de alivio de presión de vacío y la válvula de presión de vacío para evitar que en el momento de vaciar o llenar el tanque se presenten problemas de acumulación de presión positiva o negativa.

CUADRO No.28

Diseño de válvula de emergencia de alivio de presión de vacío

Tamaño de conexión	0.5080 m
Tipo de flange y rating	API
Tipo de material de válvula	304 Carbon Steel
Material del sello del disco	FEP Teflón
Rango de temperatura de diseño	-45.55 a 121.1 °C
Rango de presión de diseño (-1 a 4 psig)	-6,892.7 a 27,570.8 Pa
Índice máximo de fuga a 90% de presión	0.02831 m ³ /h
Capacidad de presión requerida en tanque	51,691.89 m ³ /h
Modelo de válvula	2020-23T-2-n27.5

CUADRO No.29

Diseño de válvula de presión de vacío

Tamaño de válvula	0.2032 m
Tipo de flange y rating	RF 68 Kg Patrón de perno
Tipo de material de válvula	304 Carbon Steel
Material del sello del disco	FEP Teflón
Rango de temperatura de diseño	-45.55 a 121.1 °C
Rango de presión de diseño (-5 a 5 psig)	-34,463.5 a 34,463.5 Pa
Índice máximo de fuga a 90% de presión	0.02831 m ³ /h
Total Outbreathing	1,060.18 m ³ /h
Total Inbreathing	1,157.25 m ³ /h
Modelo de válvula	550-8-521-n13.5/n13.5

Dentro del área de diques, no es permitido el almacenamiento de materiales combustibles, tambores vacíos o llenos, o barriles. Existen áreas de clasificación según la inflamabilidad y riesgo que presenta el etanol debido a su inflamabilidad. De acuerdo a lo que dicta la norma NFPA 497, se indica que debe existir un radio de 1.52 m alrededor del venteo de alivio del tanque para la clasificación Clase 1 División 1. También el espacio libre entre el etanol almacenado y el techo del tanque es clasificado como Clase 1 División 1. Para la clasificación Clase 1 División 2 se debe considerar 3.05 m a partir del radio del venteo de alivio y las paredes del tanque. Toda el área del dique es clasificada también como Clase 1 División 2 (5). Se realizó un diagrama que indica las áreas clasificadas dentro del área del dique, que se muestra a continuación:

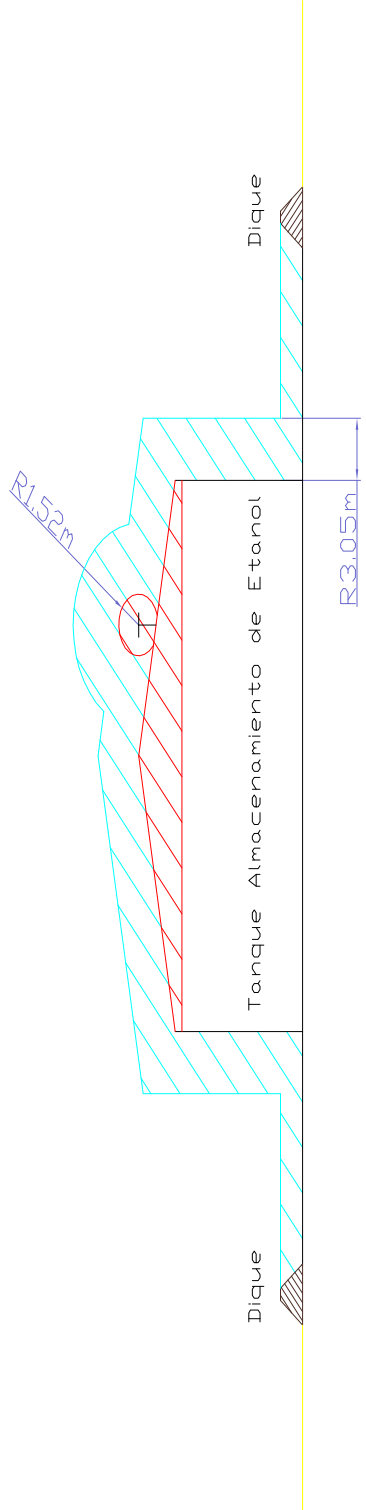
FIGURA No.1

Diagrama de clasificaciones de las áreas según NFPA 30

CLASIFICACIÓN DE LÍQUIDO INFLAMABLE

SEGUN NFPA 497 <FIGURA 5.9.4(a)>

- CLASE 1 DIVISIÓN 1
- CLASE 1 DIVISIÓN 2
- ÁREA NO CLASIFICADA



A continuación se presenta el CUADRO No. 30 donde explica las clasificaciones de las áreas de los tanques de almacenamiento de etanol:

CUADRO No.30
Clasificaciones de las áreas para la colocación de equipos eléctricos según NFPA 30

Ubicación	División NEC Clase 1	Extensión del área clasificada
Tanque-Sobre el nivel del terreno	1	Área dentro de diques cuando la altura del dique es superior a la distancia entre el tanque y el dique en más del 50% de la circunferencia del tanque.
Cuerpo, extremos o techo y área dentro de diques	2	Área comprendida en un radio de 3.05 m medidos a partir del cuerpo, extremos o cubierta del tanque. Área dentro de los diques hasta el nivel de la parte superior del dique.
Venteo	1 2	Área comprendida en un radio de 1.52 m medidos en todas las direcciones a partir del extremo abierto del venteo. Área comprendida entre 1.52 m y 3.05 m medidos en todas las direcciones a partir del extremo abierto del venteo.

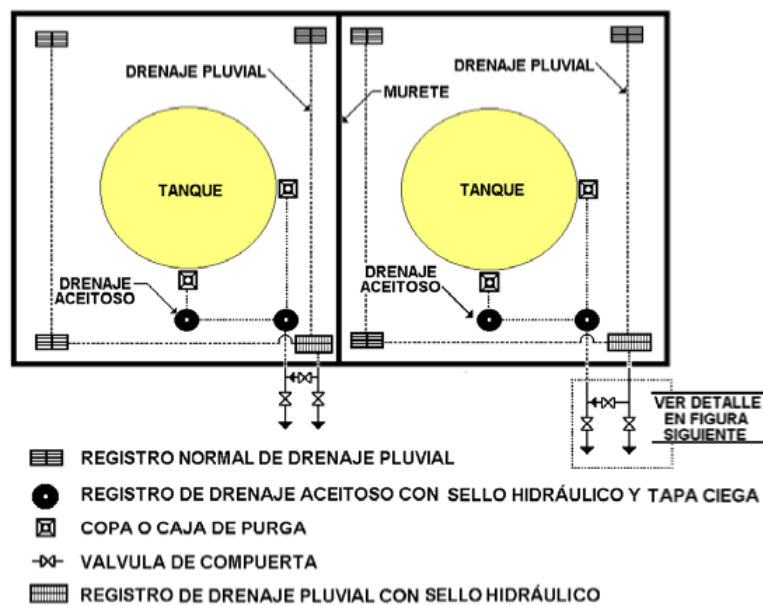
(NFPA 30, 2000:30-61)

2. Drenajes. Se debe considerar también el diseño de un sistema de drenaje dentro del área de diques para evitar inundaciones de agua en caso de lluvia fuerte y la recuperación o desecho del producto almacenado en caso de un derrame, tal como se muestra en la FIGURA No. 1. Los patios internos de los diques de contención, deben contar con sistemas independientes de drenaje pluvial y drenaje en caso de derrame del etanol, mediante los cuales sea posible el manejo selectivo de los efluentes para descargarlos en las tuberías de drenaje pluvial o del etanol, según sea el caso. Los drenajes deben ser construidos de manera que no produzcan filtraciones al subsuelo y su diseño debe permitir una limpieza fácil de los depósitos y sedimentos.

Los pisos internos de los diques de contención deben tener zonas de escurrimiento con pendientes, canaletas que aseguren la captación total de las aguas en los registros pluviales y se debe contar como mínimo con un registro de drenaje pluvial. En cada uno de los diques de contención, el registro de drenaje pluvial anterior a la descarga de aguas en los ramales o tuberías troncales debe contar con sello hidráulico. Cada uno de los sistemas de drenajes mencionados debe poseer una válvula de bloqueo localizada fuera del dique de contención con una clara indicación de "abierto" o "cerrado", así como con letreros indicativos que permitan identificar a cual drenaje pertenece dicha válvula y a qué tanque presta servicio. En la siguiente figura se presenta la ubicación de los drenajes pluviales y aceitosos con sus respectivas válvulas dentro del área del dique:

FIGURA No.2

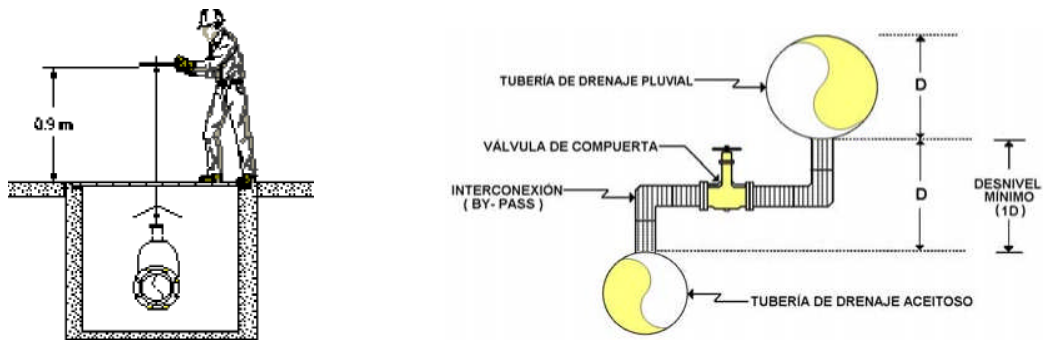
Diagrama de las subdivisiones de los diques de contención con sus respectivos drenajes y válvulas



Para la interconexión entre el drenaje pluvial y el del etanol se utilizará una válvula tipo compuerta para permitir la derivación de las corrientes del drenaje pluvial hacia el aceitoso. Estas válvulas alojadas en registros deben proveerse con extensiones que permitan la operación de la misma a una altura de 0.9 m de longitud a partir del nivel de piso terminado. Por razones de seguridad, el nivel inferior de la tubería del drenaje pluvial, debe estar situado por lo menos una vez el diámetro de dicha tubería por encima del lomo superior de la tubería de drenaje del etanol para evitar la contaminación del primero con el segundo y permitir que la totalidad de la corriente del drenaje pluvial, en caso de estar contaminada con producto, pueda derivarse hacia el drenaje de etanol por gravedad.

FIGURA No.3

Características de operación de la válvula de interconexión entre el drenaje pluvial y el del etanol



3. Sistema contra-incendios. Los incendios para un tanque de almacenamiento de etanol pueden ser generados por calor, una generación de una chispa, descarga eléctrica o electricidad estática. Los parámetros de diseño indican que cuando se incendia un tanque de almacenamiento con las capacidades ya mencionadas, es necesario mantener una descarga de agua hacia los tanques de por lo menos 65 minutos. Sin embargo dependiendo de las condiciones de diseño, se determina la cantidad de agua a utilizar y tamaño de tanque a construir para el sistema contra-incendios. Las características de este tanque contra-incendios se describen de la siguiente manera:

CUADRO No.31

Dimensiones de la propiedad del tanque contra incendios para almacenamiento de agua

Propiedades de los tanques	Dimensiones
Diámetro	13.0 m
Altura	8.8831 m
Volumen	1,179,076 L

La tubería de salida del tanque de almacenamiento de agua es de 0.2540 m, cédula 40, la cual luego se ve reducida por una de menor tamaño. Se dispuso la colocación de una bomba de presión dentro de la tubería de agua para mantener la presión interna y evitar una caída de presión que pueda afectar la descarga de agua de los monitores e hidrantes en la operación de combatir un posible incendio de los tanques de almacenamiento.

CUADRO No.32

Número de enchufes de descarga de mezcla agua/espuma en relación al tamaño del diámetro del tanque de almacenamiento con techo cónico conteniendo hidrocarburos o líquidos inflamables o combustibles

Diámetro del tanque (m)	Número mínimo de enchufes de descarga (foam makers)
Hasta 24	1
Entre 24 y 36	2
Entre 36 y 42	3
Entre 42 y 48	4
Entre 48 y 54	5
Entre 54 y 60	6

De acuerdo al CUADRO No. 32, se necesitan 2 enchufes de descarga para cada tanque de 5,000,000 de litros, un total de 4 enchufes de descarga para los dos tanques de almacenamiento. Es necesario realizar una mezcla de agua/espuma al 3% p/p para poder descargarla dentro del tanque. La tubería de espuma es de 0.1016 m cédula 40, en donde penetra el tanque en la parte superior dando lugar a la dispersión de la espuma sobre el producto (Christopher, 2005:11-13)

CUADRO No.33

Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1016 m, cédula 40.

Propiedades	Valores
Tamaño nominal tubería (m)	0.0889
Diámetro exterior (m)	0.1016
Diámetro interior (m)	0.09012
Número de cédula	40
Espesor de la pared (m)	0.00574

(McCabe, 1991:1154)

Así mismo, se necesitará de monitores e hidrantes para el enfriamiento y contención del fuego en caso de un incendio en uno de los tanques de almacenamiento. Los monitores son dispositivos que liberan una gran cantidad de agua en una dirección fija cuyo propósito es el enfriamiento del tanque adyacente al tanque que se encuentra en llamas. Con estos dispositivos se evita que el tanque adyacente no se encienda por causa de conducción térmica, tomando las precauciones necesarias. Se optó por instalar cuatro monitores y seis hidrantes para cubrir los dos tanques de almacenamiento. Cabe mencionar que los monitores no deben ser

considerados como el medio de protección primario para tanques de techo cónico fijo que tengan más de 18 m de diámetro y las mangueras manuales de los hidrantes no es permitido su uso como protección primaria para tanques de techo cónico fijo con más de 9 m de diámetro.

El número de hidrantes normalmente se determina por el diseño y el tipo de proceso. De acuerdo a la práctica recomendada API 2001, art. 4.2.3 la distancia normal entre hidrantes es entre 45 a 90 metros, dependiendo de los riesgos de incendio, el acomodo de los equipos en las diferentes áreas, los requerimientos de agua y el número de salidas de hidrantes. La distancia entre un hidrante y un edificio o estructura que será protegida deberá por lo menos estar a 15 m, si es posible. Por otro lado, las mangueras tradicionalmente utilizadas de acuerdo al art. 4.2.4 son las de 0.0381 m de diámetro y las de 0.0635 m de diámetro. Las primeras mangueras son para una rápida disponibilidad de agua en áreas de proceso y las segundas primariamente en chorros grandes para enfriamiento de estructuras y equipo. A continuación se presenta las características de las bombas centrífugas diesel para el sistema contra-incendios:

CUADRO No.34

Características de las bombas con motores diesel utilizadas para el sistema contra-incendios

Capacidad	113.55 m ³ /h
Tipo de bomba	Bomba centrífuga
Material de bomba	Hierro dúctil
Potencia de la bomba	18.64 KW
Potencia del motor	22.37 KW
Diámetro impelente	0.2286 m
Dimensiones (m)	1.22 x 0.91 x 2.74
Eficiencia de la bomba	80%
Eficiencia del motor	80%
Velocidad	3000 rev/min

4. Área de descarga de etanol al tanque. El área de descarga de las cisternas que contienen etanol para la operación de descarga a los tanques de almacenamiento es de 12.5 m², donde se ubican dos bombas centrífugas con una potencia de 5 hp. Se tomó como base una descarga de 1892.51 L/min (500 gal/min) para las bombas, suponiendo que se descarga 2 cisternas de 37,850.10 L (10,000 gal) de etanol por hora, incluyendo el tiempo de conexión de las mangueras a la tubería más el tiempo de descarga del producto. De estos parámetros, se calculó el tiempo total de descarga hacia un solo tanque de almacenamiento:

$$15. \text{Tiempo de descarga} = \frac{37,850.10L}{1892.51L/\text{min}} = 20 \text{ min} + t_{\text{conexión manguera}} = 20 \text{ min} + 10 \text{ min} = 30 \text{ min}$$

$$16. \quad \frac{\text{Descarga}}{\text{Día}} = \left(\frac{2\text{camiones}}{1h} \right) \left(\frac{37,850.10L}{1\text{camión}} \right) \left(\frac{8h(\text{operación})}{1\text{día}} \right) = 605,601.6 \frac{L}{\text{día}}$$

$$17. \quad \text{TiempoTotalDescarga} = 1 \text{ tan que } \left(\frac{5,000,000L}{1 \text{ tan que}} \right) \left(\frac{1\text{día}}{605,601.6L} \right) = 8.256\text{días} \approx 9\text{días}$$

El cálculo de muestra para conocer la potencia de la bomba se encuentra en el inciso e) y f) sobre el diseño de la tubería de descarga de etanol al barco y la potencia de la bomba de esta descarga. Siguiendo el mismo procedimiento, se obtuvo la potencia requerida por cada bomba utilizada para descargar el etanol a los tanques de almacenamiento:

CUADRO No.35

Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al tanque de almacenamiento

Capacidad	113.56 m ³ /h
Tipo de bomba	Bomba centrífuga
Material de bomba	Hierro dúctil
Potencia de la bomba	3.73 KW
Potencia del motor	4.47 KW
Descarga x Succión x Impelente	4 x 6 x 10
Cabeza	9.76 m
Eficiencia de la bomba	80 %
Eficiencia del motor	83 %

Las propiedades de la tubería de descarga de etanol a los tanques de almacenamiento se encuentran a continuación:

CUADRO No.36

Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.1016 m, cédula 40.

Propiedades	Valores
Tamaño nominal tubería (m)	0.0889
Diámetro exterior (m)	0.1016
Diámetro interior (m)	0.09012
Número de cédula	40
Espesor de la pared (m)	0.00574

5. Diseño tubería de descarga de etanol al barco. Para la selección de la tubería a utilizar para transportar el etanol, es importante calcular el caudal real que tendrá suponiendo una eficiencia del 80% de la bomba.

$$18. \quad Q = 5,000,000 \frac{L}{día} * \left(\frac{1gal}{3.7853L} \right) \left(\frac{1día}{24horas} \right) \left(\frac{1hora}{60min} \right) = 917.289 \frac{gal}{min}$$

$$19. \quad Q_{real} = 917.289 \frac{gal}{min} \left(\frac{80}{100} \right) = 733.832 \frac{gal}{min} = 2,777.56 \frac{L}{min}$$

Para poder reducir el tiempo de descarga en la mitad del tiempo requerido, se necesitará el doble de la capacidad de la bomba por lo que se realiza el siguiente cálculo:

$$20. \quad Q_{real} = 733.832 \frac{gal}{min} (2) = 1467.66 \frac{gal}{min} \approx 1500 \frac{gal}{min} \approx 5,677.52 \frac{L}{min}$$

Este caudal deberá tener la bomba para reducir el tiempo de descarga hacia los embarques en la Empresa Portuaria Quetzal (EPQ). Es importante considerarlo debido a las altas tarifas que cobran los barcos por su estadía en la EPQ. Entre menos tiempo se descargue todo el etanol hacia los embarques, menos será el costo a pagar por estadía del barco en la portuaria. Ya obtenido el caudal que deberá tener la bomba, se calcula el tamaño de la tubería a utilizar. Flujos máximos de líquidos a través de tuberías deben estar limitados a una velocidad de 4 m/s (Rosaler, 1995: 10-5)

CUADRO No.37

Valores obtenidos en nomograma de la velocidad del líquido en diferentes tamaños de tubería

Propiedades	Tubería 0.1524 m	Tubería 0.2032 m	Tubería 0.2540 m
Velocidad (m/s)	4.724	2.743	1.676

Dadas las condiciones de mantener como velocidad máxima permitida de 4 m/s, se elige la tubería de 0.2032 m de diámetro, cédula 40. A continuación se presentan las propiedades de la tubería de acero al carbón (Carbon Steel) en este tamaño:

CUADRO No.38

Propiedades de la tubería de acero al carbón de 0.2032 m, cédula 40.

Propiedades	Valores
Tamaño nominal tubería (m)	0.2032
Diámetro exterior (m)	0.2190
Diámetro interior (m)	0.2027
Número de cédula	40
Espesor de la pared (m)	0.00813

(McCabe, 1991:1154)

6. Potencia requerida de la bomba de descarga a barco. El caudal necesario actualmente es de 5555.53 litros por minuto (1467.66 GPM), pero para el diseño de la bomba se utilizará un caudal estándar de 5677.52 litros por minuto (1500 GPM), con el fin de poder incrementar el caudal sin la necesidad de cambiar el equipo en un futuro. Para obtener la velocidad del fluido se debe calcular el área transversal de la tubería en metros cuadrados (m^2).

$$21. \quad A = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

donde A: área de la tubería (m^2)
 D: diámetro interno de la tubería (m)

$$A = \frac{\pi(0.2027m)^2}{4} = 0.03226 m^2$$

Luego se calcula la velocidad (V) en metros sobre segundo cuadrado (m/s^2) a partir de la ecuación de caudal (Q).

$$22. \quad V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{\left(1500 \frac{gal}{min}\right) \left(\frac{1 min}{60s}\right) \left(\frac{1m^3}{264.17 gal}\right)}{0.03226m^2} = \frac{0.0946 \frac{m^3}{s}}{0.03226m^2} = 2.933 \frac{m}{s}$$

El número de Reynolds (N_R) es necesario para la determinación del tipo de fluido, sea laminar o turbulento. Para calcular el N_R se utiliza la velocidad (V), la viscosidad dinámica $\mu = 1.17 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (1.17 cP), el diámetro (D) y la densidad (ρ) de acuerdo a la pureza del etanol. La viscosidad dinámica es supuesta a una temperatura de trabajo de 30 °C y una presión de 1 atm. El porcentaje de volumen de etanol en agua será de 95% a una temperatura ambiente de 30 °C, por lo que la $\rho = 802.77 \text{ Kg/m}^3$.

CUADRO No.39

Valores de densidades para soluciones de etanol a diferentes concentraciones y temperaturas

Densidad (Kg/m^3)						
% Volumen de etanol en agua	Temperatura (°C)					
	20	25	30	35	40	45
90%	829.25	824.96	820.60	816.18	811.69	807.27
91%	825.90	821.60	817.24	812.82	808.33	803.87
92%	822.46	818.16	813.79	809.37	804.88	800.37
93%	818.92	814.61	810.24	805.82	801.33	796.77
94%	815.25	810.94	806.58	802.15	797.67	793.05
95%	811.45	807.14	802.77	798.36	793.89	789.21
96%	807.48	803.17	798.82	794.41	789.95	785.21
97%	803.33	799.03	794.68	790.28	785.83	781.06
98%	798.96	794.66	790.32	785.94	781.51	776.72
99%	794.32	790.03	785.70	781.34	776.94	772.18
100%	789.36	785.08	780.77	776.43	772.05	767.39
0%	998.24	997.08	995.68	994.07	992.25	990.27

$$23. \quad N_R = \frac{VD\rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{(2.933 \text{ m/s})(0.2027 \text{ m})(802.77 \text{ kg/m}^3)}{1.17 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 407,916.32$$

El resultado del cálculo del número de Reynolds es mayor a 2,000 por lo que el fluido es turbulento. Se calcula luego el factor de fricción para tuberías lisas para fluidos turbulentos aplicable para intervalos del número de Reynolds desde 50,000 hasta 1×10^6 .

$$24. \quad f = 0.046 N_R^{-0.2}$$

$$f = (0.046)(407,916.32)^{-0.2} = 0.0034725$$

Los valores de las pérdidas por fricción (h_{fL}) están relacionados con la longitud total de la tubería (L) que debe recorrer el fluido después de la bomba. Las partes de la tubería como los codos, llaves, uniones, entradas

y salidas corresponden a las pérdidas menores (h_{fA}) de la tubería. Las pérdidas mayores y menores se calculan de la siguiente manera:

Pérdidas mayores:

$$25. \quad h_{fL} = 4f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2} \right)$$

$$h_{fL} = 4(3.472 \times 10^{-3}) \left(\frac{1464.0049m}{0.2027m} \right) \left(\frac{(2.933m/s)^2}{2} \right) = 431.4422$$

Pérdidas menores:

CUADRO No.40

Factor de pérdida de diferentes accesorios conectados a la tubería

Accesorios	Factor de pérdida (K)
Codos estándar de 45°	0.35
Codos estándar de 90°	0.75
Válvula de compuerta completamente abierta	0.17
Válvula de mariposa	2.0
Entrada a bomba	0.5

(Perry, 1999:6-18)

$$26. \quad h_{ff} = K_f \frac{V_a^2}{2}$$

$$h_{ff} = (7*0.35 + 3*0.75 + 3*0.17 + 2 + 0.5) \frac{(2.933m/s)^2}{2} = 33.1626$$

Pérdidas por fricción de forma en la ecuación de Bernoulli:

$$27. \quad h_f = h_{fL} + h_{ff}$$

$$h_f = 431.4422 + 33.1626 = 464.6048$$

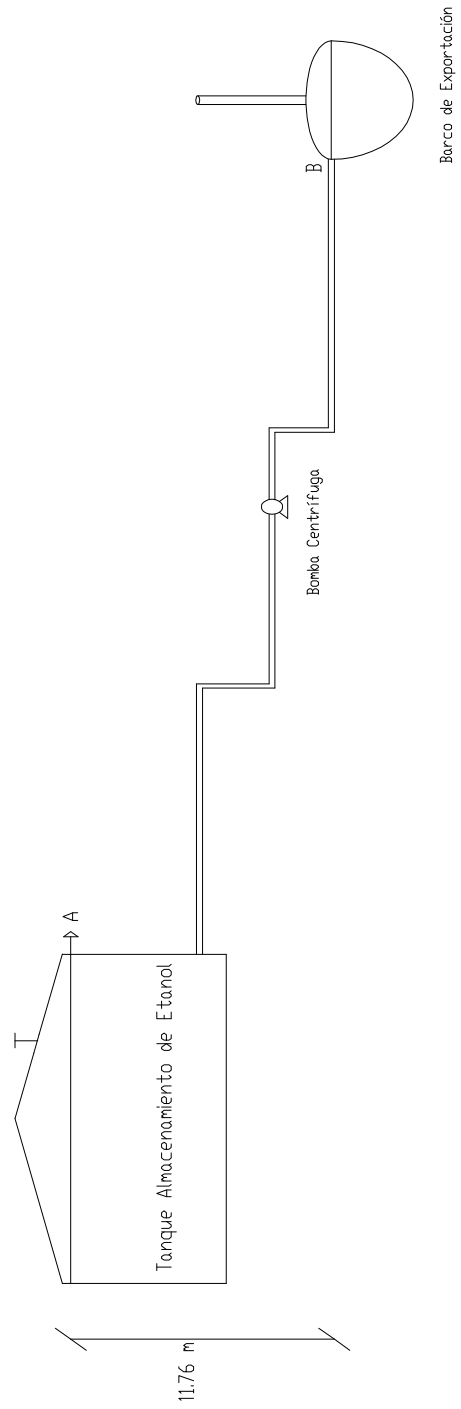
Se calcula la diferencia de presión mediante la diferencia de alturas entre el punto A y el B, tal como se muestra en la siguiente figura:

FIGURA No.4

Diagrama para cálculo de cambio de presión entre el tanque de almacenamiento y la descarga hacia el barco

DIAGRAMA DE ALTURA ENTRE PUNTO "A" Y "B"

EC. BERNOULLI



$$28. \quad P_B - P_A = \rho(g)(Z_A - Z_B)$$

$$P_B - P_A = 802.77 \frac{Kg}{m^3} \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (11.76m - 0m) = 92,517.64 Pa$$

Mediante la ecuación de Bernoulli, se calcula la carga de la bomba de acuerdo a la distancia que tiene que bombear.

$$29. \quad \frac{P_A}{\rho} + gZ_A + \frac{(\bar{V}_A)^2}{2} + \eta W_p = \frac{P_B}{\rho} + gZ_B + \frac{(\bar{V}_B)^2}{2} + h_{f(A-B)}$$

$$\eta W_p = \frac{(P_B - P_A)}{\rho} + g(Z_B - Z_A) + \frac{(\bar{V}_B)^2}{2} + h_{f(A-B)}$$

$$\eta W_p = \frac{(92,517.64 Pa)}{802.77 Kg/m^3} + 9.81 \frac{m}{s^2} (0m - 11.76m) + \frac{(2.933)^2}{2} + 464.6048$$

$$\eta W_p = 468.9060$$

$$W_p = \frac{468.9060}{0.80} = 586.1325 J / Kg$$

Para el cálculo de la potencia de la bomba es necesario calcular el flujo másico del etanol que se está bombeando, el cual se calcula mediante la densidad del líquido. Asimismo, ya obtenida la potencia de la bomba, se puede calcular la potencia del motor de la bomba asumiendo una eficiencia del 85% del motor.

$$30. \quad m = \rho \bar{V} A$$

$$\dot{m} = \left(802.77 \frac{Kg}{m^3} \right) \left(2.933 \frac{m}{s} \right) (0.03226 m^2) = 75.9569 \frac{Kg}{s}$$

$$31. \quad P_B = W_p (\dot{m})$$

$$P_B = 586.1325 \frac{J}{Kg} \left(75.9569 \frac{Kg}{s} \right) = 44,520.808 W$$

$$P_B = 44,520.808 W \left(\frac{1 KW}{1,000 W} \right) \left(\frac{1 hp}{0.7457 KW} \right) = 59.7033 hp \approx 65 hp = 48.47 KW$$

$$32. \quad P_{motor} = \frac{65 hp}{0.85} = 76.47 hp \approx 80 hp = 59.66 KW$$

CUADRO No.41

Características de la bomba a utilizar para traslado de etanol al barco

Capacidad	340.56 m ³ /h
Tipo de bomba	Bomba centrífuga
Material de bomba	Hierro dúctil
Potencia de la bomba	48.47 KW
Potencia del motor	59.66 KW
NPSHr	30.89 m
Cabeza	11.76 m
Eficiencia de la bomba	80 %
Eficiencia del motor	85 %

7. Sistema eléctrico. Para la iluminación perimetral total de la planta, se colocó 15 luminarias de halógeno con un consumo de 400 W a pruebas de explosión. La elección de un generador se optó debido a una posible baja en el sistema eléctrico de la planta, de tal manera que no afecte la descarga de etanol de la Terminal al barco. Dicho generador se diseñó de acuerdo a las demandas de electricidad de las bombas centrífugas de hierro dúctil de 59.66 KW. En el CUADRO No. 42, 43 y 44 se presenta un resumen del consumo en KW-h de los equipos y los costos, en la cual se diseñó un generador de 130 KW para el área de descarga de etanol al barco. Las oficinas, bodega de mantenimiento y demás áreas de la terminal dependerán del suministro de energía de la Empresa Eléctrica, el cual la tarifa de dicha empresa se asumió de Q.1.1/KW-h.

CUADRO No.42

Consumo KW de bomba centrífuga de 59.66 KW (80 hp) para la operación del generador continuo de 130 KW

Equipo	Cantidad	Potencia (hp)	KW Requeridos
Área descarga de etanol al barco			
Bomba centrífuga de hierro dúctil de 59.66 KW	2	80	119.312
TOTAL	2	80	119.312

CUADRO No.43

Costos anuales eléctricos por consumo KW de bomba centrífuga de 59.66 KW (80 hp) del generador continuo de 130 KW

Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
1	1-2	19	Q 3,408.60
	3-4	17	Q 3,049.80
	5-6	18	Q 3,229.20
	7-8	16	Q 2,870.40
	9-10	18	Q 3,229.20
	11-12	20	Q 3,588.00
	TOTAL	108	Q 19,375.20
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
2	1-2	21	Q 3,993.44
	3-4	17	Q 3,232.79
	5-6	19	Q 3,613.12
	7-8	16	Q 3,042.62
	9-10	17	Q 3,232.79
	11-12	20	Q 3,803.28
	TOTAL	110	Q 20,918.04
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
3	1-2	18	Q 3,628.33
	3-4	18	Q 3,628.33
	5-6	17	Q 3,426.76
	7-8	16	Q 3,225.18
	9-10	18	Q 3,628.33
	11-12	17	Q 3,426.76
	TOTAL	104	Q 20,963.68
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
4	1-2	22	Q 4,700.70
	3-4	17	Q 3,632.36
	5-6	16	Q 3,418.69
	7-8	16	Q 3,418.69
	9-10	18	Q 3,846.03
	11-12	19	Q 4,059.70
	TOTAL	108	Q 23,076.17
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
5	1-2	16	Q 3,623.81
	3-4	17	Q 3,850.30
	5-6	18	Q 4,076.79
	7-8	16	Q 3,623.81
	9-10	19	Q 4,303.28
	11-12	16	Q 3,623.81
	TOTAL	102	Q 23,101.81

Continuación CUADRO No.43

Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
6	1-2	15	Q 3,601.17
	3-4	17	Q 4,081.32
	5-6	18	Q 4,321.40
	7-8	17	Q 4,081.32
	9-10	18	Q 4,321.40
	11-12	18	Q 4,321.40
	TOTAL	103	Q 24,728.00
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
7	1-2	17	Q 4,326.20
	3-4	19	Q 4,835.16
	5-6	18	Q 4,580.68
	7-8	16	Q 4,071.72
	9-10	16	Q 4,071.72
	11-12	17	Q 4,326.20
	TOTAL	103	Q 26,211.68
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
8	1-2	19	Q 5,125.27
	3-4	17	Q 4,585.77
	5-6	18	Q 4,855.52
	7-8	16	Q 4,316.02
	9-10	18	Q 4,855.52
	11-12	20	Q 5,395.03
	TOTAL	108	Q 29,133.14
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
9	1-2	19	Q 5,432.79
	3-4	16	Q 4,574.98
	5-6	18	Q 5,146.85
	7-8	19	Q 5,432.79
	9-10	20	Q 5,718.73
	11-12	20	Q 5,718.73
	TOTAL	112	Q 32,024.87
Año	Mes	Horas trabajo	Costo eléctrico
10	1-2	16	Q 4,849.48
	3-4	17	Q 5,152.57
	5-6	18	Q 5,455.67
	7-8	18	Q 5,455.67
	9-10	16	Q 4,849.48
	11-12	20	Q 6,061.85
	TOTAL	105	Q 31,824.72

CUADRO No.44

Consumo de KW-h y costos eléctricos de los equipos e iluminación de la terminal de almacenamiento

Equipo	Cantidad	Potencia (hp)	KW Requeridos	KW-H	Costo eléctrico
Área descarga etanol al tanque					
Bomba centrífuga de 4.47 KW	2	6	8.9484	71.59	Q78.75
Área cuarto de bombas					
Compresor de aire de 18.64 KW	1	25	18.6425	74.57	Q82.03
Controlador bombas	1	-	0.12	0.24	Q0.26
Controlador diesel	1	-	0.12	0.24	Q0.26
Controlador proporcionador de espuma	1	-	0.12	0.24	Q0.26
Iluminación					
Luminarias perimetrales	15	-	6	6.00	Q6.60
Caseta de control (bombillas)	2	-	0.3	3.60	Q3.96
Caseta de vigilancia (bombillas)	4	-	0.6	7.20	Q7.92
Oficinas administrativas (bombillas)	10	-	1.5	18.00	Q19.80
Bodega de mantenimiento (bombillas)	10	-	1.5	18.00	Q19.80
Cuarto de bombas (bombillas)	2	-	0.3	3.60	Q3.96
Área de oficina/comedor					
Refrigeradora VR-12	1	0.2	0.15	3.58	Q3.94
Computadora Desktop	6	-	0.6	4.80	Q5.28
Microondas	1	-	1.56	1.56	Q1.72
Cafetera	1	-	0.9	0.90	Q0.99
TOTAL	58	31.2	41.36	214.12	Q7,065.85

CUADRO No.45

Costos totales estimados del sistema eléctrico en 10 años de la terminal de almacenamiento de etanol

Sistema eléctrico	Costo
Generador continuo de 130 KW para bombas de descarga de etanol al barco	Q 165,550.00
Acometida Empresa Eléctrica para la distribución de energía por toda la planta (tubería y zanjeado)	Q 6,102,927.60
Lámparas a prueba de explosión para iluminación perimetral	Q 63,690.00
Mano de obra y montaje de equipo	Q 34,460.20
Total de costos fijos anuales	Q 84,790.16
Total de costos variables	Q13,464,518.21
TOTAL	Q19,915,936.17

Se realizará la instalación de tres transformadores de 25 KVA cada uno conectados paralelamente para la acometida eléctrica, el cual se utilizará cable de cobre de 4/0 (0000 A.W.G.) entre los transformadores y el tablero múltiple de contadores, cable de cobre de 2 A.W.G. para

operación del compresor y bombas de descarga de etanol a los tanques, y cable de cobre de 8 A.W.G. para suministro de energía de las oficinas, bodega de mantenimiento y demás puntos de la planta.

8. Análisis económico

CUADRO No.46
Detalle costos de inversión inicial

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Oficinas Administrativas y Recepción	Escritorio	4	Q 500.00	Q 2,000.00
	Silla	8	Q 200.00	Q 1,600.00
	Computadora Desktop	6	Q 6,000.00	Q 36,000.00
	Instalación de red de computación	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
	Impresora	2	Q 400.00	Q 800.00
	Basurero	2	Q 80.00	Q 160.00
	Extintor con CO2 de 4.54 Kg	2	Q 943.25	Q 1,886.50
	Archiveros	2	Q 300.00	Q 600.00
	Fotocopiadora	1	Q 4,000.00	Q 4,000.00
	Mano de obra de construcción (m2)	375	Q 4,000.00	Q 1,500,000.00
			TOTAL	Q 1,548,546.50

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Tanques de almacenamiento	Láminas de acero para 1er tanque	465	Q 3,625.00	Q 1,685,625.00
	Láminas de acero para 2do tanque	465	Q 3,625.00	Q 1,685,625.00
	Mano de obra construcción del tanque	1	Q 96,000.00	Q 96,000.00
	Alquiler de grúa móvil	1	Q 346,500.00	Q 346,500.00
	Manómetros (D: 65mm, L: 100mm)	2	Q 122.50	Q 245.00
	Medidor de nivel (flotador)	2	Q 5,000.00	Q 10,000.00
	Montaje medidor de nivel y software	1	Q 10,000.00	Q 10,000.00
	Válvula de alivio de presión vacío	2	Q 16,170.00	Q 32,340.00
	Base de concreto tanques (m3)	945.4	Q 820.00	Q 775,228.00
	Red de drenaje pluvial y emergencia	2	Q 34,297.00	Q 68,594.00
	Válvula de compuerta de bronce 2" (drenaje)	2	Q 273.08	Q 546.16
	Escalera tanque	2	Q 5,000.00	Q 10,000.00
	Pintura blanca y mano de obra	2	Q 15,000.00	Q 30,000.00
	Montaje e instalación de equipo y accesorios	1	Q 10,000.00	Q 10,000.00
			TOTAL	Q 4,760,703.16

Continuación CUADRO No. 46

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Sistema contra-incendio	Láminas de acero para tanque de almacenamiento agua	84	Q 3,625.00	Q 304,500.00
	Mano de obra construcción del tanque	1	Q 60,000.00	Q 60,000.00
	Alquiler de grúa móvil	1	Q 154,000.00	Q 154,000.00
	Tanque almacenamiento diesel	1	Q 25,000.00	Q 25,000.00
	Bomba diesel centrífuga de hierro dúctil 1893 LPM 18.64 KW	2	Q 231,000.00	Q 462,000.00
	Bomba jockey de 57 LPM a 827.12 kPa	1	Q 20,400.00	Q 20,400.00
	Proporcionador espuma con tanque polietileno vertical	1	Q 568,756.65	Q 568,756.65
	Hidrantes	6	Q 5,000.00	Q 30,000.00
	Monitores	4	Q 5,500.00	Q 22,000.00
	Mangueras y enchufes (nozzles)	6	Q 2,378.68	Q 14,272.10
	Aspersores de espuma	4	Q 376.22	Q 1,504.89
	Perforación del pozo de agua	1	Q 50,000.00	Q 50,000.00
	Montaje e instalación de equipo y accesorios	1	Q 86,625.00	Q 86,625.00
	Mano de obra de construcción (m2)	53.6109	Q 2,000.00	Q 107,221.80
			TOTAL	Q 1,906,280.44

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Tubería y accesorios	Tubería de 0.0508 m de acero al carbón	10.7116	Q 101.55	Q 1,087.80
	Tubería de 0.0635 m de acero al carbón	2.0984	Q 161.43	Q 338.73
	Tubería de 0.0762 m de acero al carbón	3.0913	Q 210.94	Q 652.08
	Tubería de 0.1016 m de acero al carbón	725.0403	Q 300.37	Q 217,778.24
	Tubería de 0.2032 m de acero al carbón	670.098	Q 795.00	Q 532,728.03
	Tubería de 0.2540 m de acero al carbón	50.9129	Q 1,202.73	Q 61,234.55
	Excavación e instalación tubería de CS	1461.9525	Q 7.70	Q 11,257.03
	Válvulas compuerta de bronce 0.0508 m	1	Q 273.08	Q 273.08
	Válvulas compuerta de bronce 0.0635 m	4	Q 453.28	Q 1,813.12
	Válvulas compuerta de bronce 0.0762 m	2	Q 477.59	Q 955.18
	Válvulas compuerta de bronce 0.1016 m	8	Q 1,102.25	Q 8,818.00
	Válvulas compuerta de bronce 0.2032 m	8	Q 2,801.00	Q 22,408.00
	Válvulas compuerta de bronce 0.2540 m	1	Q 3,746.70	Q 3,746.70
	Válvula de mariposa 0.2032 m	1	Q 1,157.40	Q 1,157.40
	Válvulas de cheque	4	Q 1,996.71	Q 7,986.84
	Manómetros (D: 65mm, L: 100mm)	2	Q 122.50	Q 245.00
	Codos 90° ASTM A234 de 0.0508 m	1	Q 75.92	Q 75.92
	Codos 90° ASTM A234 de 0.0762 m	1	Q 95.87	Q 95.87
	Codos 90° ASTM A234 de 0.1016 m	12	Q 108.65	Q 1,303.76
	Codos 90° ASTM A234 de 0.2032 m	6	Q 230.46	Q 1,382.77
	Codos 90° ASTM A234 de 0.2540 m	3	Q 308.00	Q 924.00
	Codos 45° ASTM A234 de 0.2032 m	8	Q 83.01	Q 664.05
	Instalación de válvulas y codos	60	Q 4,620.00	Q 277,200.00
			TOTAL	Q 1,154,126.15

Continuación CUADRO No. 46

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Sistema eléctrico	Trámite ante empresa eléctrica de acometida y conexión	1	Q 284,237.80	Q 284,237.80
	Tubería y cableado total de la planta (m)	870.9	Q 6,622.00	Q 5,767,099.80
	Generador continuo de 130 KW	1	Q 165,550.00	Q 165,550.00
	Montaje e instalación generador	1	Q 5,000.00	Q 5,000.00
	Lámparas a prueba de explosión	15	Q 1,700.00	Q 25,500.00
	Columnas rectas para artefactos de iluminación	15	Q 1,976.00	Q 29,640.00
	Instalación postes de iluminarias	15	Q 570.00	Q 8,550.00
	Tableros múltiple de contadores	1	Q 20,982.00	Q 20,982.00
	Tablero de interruptores y control bombas	4	Q 7,652.00	Q 30,608.00
	Mano de obra de montaje e instalación	1	Q 29,460.20	Q 29,460.20
			TOTAL	Q 6,366,627.80

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Área de comida	Mesa	4	Q 150.00	Q 600.00
	Silla	20	Q 50.00	Q 1,000.00
	Microondas	1	Q 400.00	Q 400.00
	Refrigeradora VR-12 de 0.15 KW	1	Q 5,182.10	Q 5,182.10
	Basurero	2	Q 80.00	Q 160.00
	Horno tostador	1	Q 350.00	Q 350.00
	Cafetera	1	Q 500.00	Q 500.00
	Basurero	2	Q 80.00	Q 160.00
			TOTAL	Q 8,352.10

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Bodega de mantenimiento	Escritorio	2	Q 500.00	Q 1,000.00
	Silla	2	Q 200.00	Q 400.00
	Mesa de trabajo	2	Q 300.00	Q 600.00
	Herramientas	1	Q 10,000.00	Q 10,000.00
	Materiales y accesorios	1	Q 50,000.00	Q 50,000.00
	Extintor con CO2 de 4.54 Kg	2	Q 400.00	Q 800.00
	Basurero	2	Q 40.00	Q 80.00
	Mano de obra de construcción (m2)	375	Q 2,000.00	Q 750,000.00
			TOTAL	Q 812,880.00

Continuación CUADRO No. 46

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Baños y vestidores	Casilleros	2	Q 350.00	Q 700.00
	Sillas	4	Q 50.00	Q 200.00
	Basurero	3	Q 40.00	Q 120.00
	Inodoro y lavamanos	2	Q 1,053.55	Q 2,107.10
	Instalación equipo	1	Q 1,000.00	Q 1,000.00
			TOTAL	Q 4,127.10

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Vehículos	Vehículos	2	Q 90,000.00	Q 180,000.00
			TOTAL	Q 180,000.00

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Bombas, suministros y servicios	Bomba hidroneumática e instalación en pozo de agua	1	Q 10,845.00	Q 10,845.00
	Tanque de agua de servicios e instalación	1	Q 12,550.00	Q 12,550.00
	Extintor con CO2 de 4.54 Kg	2	Q 400.00	Q 800.00
	Señalización de planta	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
	Medidor de flujo másico (Caudalímetro ultrasónico)	2	Q 44,660.00	Q 89,320.00
	Bomba centrífuga descarga a tanques de hierro dúctil, 4.47 KW	2	Q 53,900.00	Q 107,800.00
	Bomba centrífuga descarga a barco de hierro dúctil, 59.66 KW	2	Q 169,400.00	Q 338,800.00
	Montaje e instalación de equipo y accesorios	1	Q 14,000.00	Q 14,000.00
	Movimiento de tierra	1	Q 140,000.00	Q 140,000.00
	Jardinización	1	Q 5,480.00	Q 5,480.00
			TOTAL	Q 721,095.00

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Terreno	Arrendamiento de terreno (anual)	1	Q 271,363.40	Q 271,363.40
	Renta paso de tubería en EPQ (anual)	1	Q 16,880.94	Q 16,880.94
	Pozo de absorción	1	Q 4,273.00	Q 4,273.00
	Fosa séptica	1	Q 16,565.00	Q 16,565.00
	Colocación malla perimetral (m)	985.91	Q 585.00	Q 576,757.35
			TOTAL	Q 885,839.69

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Personal	Uniformes	15	Q 500.00	Q 7,500.00
	Equipo de protección personal	15	Q 1,500.00	Q 22,500.00
			TOTAL	Q 30,000.00

Continuación CUADRO No. 46

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
Neumática	Compresor para suministro de aire de 18.64 KW	1	Q 69,000.00	Q 69,000.00
	Instalaciones relacionadas con equipo	1	Q 69,300.00	Q 69,300.00
	Mano de obra de instalación de equipo	1	Q 5,000.00	Q 5,000.00
			TOTAL	Q 143,300.00

CUADRO No.47

Detalle costos fijos de la terminal de almacenamiento

Área	Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo anual
Electricidad	Consumo KW-H oficinas y planta (mensual)	12	Q 7,065.85	Q 84,790.16
Oficinas administrativas y recepción	Servicio de internet inalámbrico (mensual)	12	Q 385.00	Q 4,620.00
	Servicio de extracción de basura (mensual)	12	Q 50.00	Q 600.00
	Servicio de teléfono	10	Q 1,100.00	Q 11,000.00
	Material de oficina	1	Q 10,000.00	Q 10,000.00
Área de mantenimiento	Repuestos (materiales y accesorios)	1	Q 50,000.00	Q 50,000.00
Área de comedor	Garrafón de agua potable	1	Q 2,640.00	Q 2,640.00
Baños y vestidores	Jabón líquido	1	Q 500.00	Q 500.00
	Papel de baño	1	Q 1,440.00	Q 1,440.00
Vehículos	Consumo de combustible	2	Q 24,000.00	Q 48,000.00
	Seguro de vehículos	2	Q 16,800.00	Q 33,600.00
Terreno	Arrendamiento terreno (mensual)	12	Q 22,613.62	Q 271,363.40
	Renta paso de tubería en EPQ (anual)	12	Q 1,406.75	Q 16,880.94
Otros	Escoba	4	Q 35.00	Q 140.00
	Trapeador	4	Q 45.00	Q 180.00
	Desinfectantes	1	Q 500.00	Q 500.00
	Recarga extintores (mantenimiento)	6	Q 150.00	Q 900.00
	Compra licencias antivirus	6	Q 720.00	Q 4,320.00
	Material médico	1	Q 3,600.00	Q 3,600.00
Personal	Uniformes	15	Q 500.00	Q 7,500.00
	Equipo de protección personal (lentes, guantes, zapatos seguridad, cascos)	20	Q 1,500.00	Q 30,000.00
			TOTAL	Q 582,574.50

CUADRO No.48

Detalle costos variables de lámparas de halógeno a pruebas de explosión

Año	Cantidad de reemplazo (unidades)	Costo por unidad	Costo anual
1	10	Q 1,700.00	Q 17,000.00
2	11	Q 1,802.00	Q 19,822.00
3	10	Q 1,910.12	Q 19,101.20
4	14	Q 2,024.73	Q 28,346.18
5	13	Q 2,146.21	Q 27,900.74
6	17	Q 2,274.98	Q 38,674.72
7	15	Q 2,411.48	Q 36,172.24
8	15	Q 2,556.17	Q 38,342.57
9	14	Q 2,709.54	Q 37,933.58
10	13	Q 2,872.11	Q 37,337.48

CUADRO No.49

Detalle costos variables de consumo de diesel de bomba centrífuga de 4.47 KW (6 hp) para sistema contra-incendios

Año	Consumo diesel (Q/h)	Horas operadas	Costo anual
1	Q 103.50	288	Q 59,616.00
2	Q 109.71	240	Q 52,660.80
3	Q 116.29	216	Q 50,238.40
4	Q 123.27	168	Q 41,418.77
5	Q 130.67	168	Q 43,903.90
6	Q 138.51	168	Q 46,538.13
7	Q 146.82	156	Q 45,806.82
8	Q 155.63	156	Q 48,555.23
9	Q 164.96	156	Q 51,468.54
10	Q 174.86	144	Q 50,359.99

El CUADRO No.43 en la página 52, presenta los costos variables del consumo de diesel del generador de 130 KW para la operación de las bombas de descarga de etanol al barco de 59.66 KW (80 hp) de capacidad.

CUADRO No.50

Detalle de los costos de sueldos de los empleados en la terminal de almacenamiento

No.	Puesto	Sueldo base	IGSS	IRTRA	INTECAP	Aguinaldo	Bono 14	Pasivo laboral	Otros	Total prestaciones	TOTAL
1	Gerente General	Q 10,000.00	Q 1,067.00	Q 100.00	Q 100.00	Q 833.33	Q 833.33	Q 833.33	Q 833.33	Q 4,600.33	Q 14,600.33
2	Secretaria de Gerencia	Q 4,000.00	Q 426.80	Q 40.00	Q 40.00	Q 333.33	Q 333.33	Q 333.33	Q 333.33	Q 1,840.13	Q 5,840.13
3	Jefe de Operaciones	Q 8,000.00	Q 853.60	Q 80.00	Q 80.00	Q 666.67	Q 666.67	Q 666.67	Q 666.67	Q 3,680.27	Q 11,680.27
4	Supervisor de Operaciones	Q 5,000.00	Q 533.50	Q 50.00	Q 50.00	Q 416.67	Q 416.67	Q 416.67	Q 416.67	Q 2,300.17	Q 7,300.17
5	Secretaria-Recepcionista	Q 1,800.00	Q 192.06	Q 18.00	Q 18.00	Q 150.00	Q 150.00	Q 150.00	Q 150.00	Q 828.06	Q 2,628.06
7	Jefe de Bodega de Mantenimiento	Q 4,500.00	Q 480.15	Q 45.00	Q 45.00	Q 375.00	Q 375.00	Q 375.00	Q 375.00	Q 2,070.15	Q 6,570.15
8	Supervisor de Bodega de Mantenimiento	Q 3,500.00	Q 373.45	Q 35.00	Q 35.00	Q 291.67	Q 291.67	Q 291.67	Q 291.67	Q 1,610.12	Q 5,110.12
9	Encargado de Sistema Contra-Incendios	Q 4,500.00	Q 480.15	Q 45.00	Q 45.00	Q 375.00	Q 375.00	Q 375.00	Q 375.00	Q 2,070.15	Q 6,570.15
10	Contador	Q 4,000.00	Q 426.80	Q 40.00	Q 40.00	Q 333.33	Q 333.33	Q 333.33	Q 333.33	Q 1,840.13	Q 5,840.13
11	Operador 1	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
12	Operador 2	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
13	Operador 3	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
14	Operador 4	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
15	Operador 5	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
16	Operador 6	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
17	Vendedor	Q 3,500.00	Q 373.45	Q 35.00	Q 35.00	Q 291.67	Q 291.67	Q 291.67	Q 291.67	Q 1,610.12	Q 5,110.12
18	Vendedor	Q 3,500.00	Q 373.45	Q 35.00	Q 35.00	Q 291.67	Q 291.67	Q 291.67	Q 291.67	Q 1,610.12	Q 5,110.12
19	Mensajero	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
20	Policia 1	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
21	Policia 2	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
22	Policia 3	Q 1,600.00	Q 170.72	Q 16.00	Q 16.00	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 133.33	Q 736.05	Q 2,336.05
23	Persona de Limpieza Oficinas Administrativas	Q 1,300.00	Q 138.71	Q 13.00	Q 13.00	Q 108.33	Q 108.33	Q 108.33	Q 108.33	Q 598.04	Q 1,898.04
24	Jardinero	Q 1,300.00	Q 138.71	Q 13.00	Q 13.00	Q 108.33	Q 108.33	Q 108.33	Q 108.33	Q 598.04	Q 1,898.04
	TOTAL	Q 70,900.00	Q 7,565.03	Q 709.00	Q 709.00	Q 5,908.33	Q 5,908.33	Q 5,908.33	Q 5,908.33	Q 32,616.36	Q 103,516.36

CUADRO No.51

Detalle de la depreciación de los equipos utilizados en la terminal de almacenamiento de etanol y amortización de mano de obra

Artículo	Codo inicial	Años depreciación	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	TOTAL
1 Escritorios	Q 3.000,00	7	Q 428,70	Q 734,70	Q 524,70	Q 374,70	Q 267,90	Q 267,90	Q 267,90	Q 133,80				Q 3.000,00
2 Sillas	Q 3.200,00	7	Q 457,28	Q 783,68	Q 559,68	Q 399,68	Q 285,76	Q 285,76	Q 285,76	Q 142,72				Q 3.200,00
3 Archiveros	Q 600,00	7	Q 85,74	Q 146,94	Q 104,94	Q 74,94	Q 53,58	Q 53,58	Q 53,58	Q 26,76				Q 600,00
4 Computadores	Q 36.000,00	3	Q 11.998,80	Q 16.002,00	Q 5.331,60	Q 2.667,60								Q 36.000,00
5 Impresoras	Q 800,00	5	Q 160,00	Q 250,00	Q 153,00	Q 92,16	Q 92,16	Q 46,08						Q 800,00
6 Casilleros	Q 700,00	7	Q 100,05	Q 171,45	Q 122,43	Q 87,43	Q 62,51	Q 62,51	Q 31,22					Q 700,00
7 Escritores	Q 3.486,50	7	Q 498,22	Q 853,84	Q 609,79	Q 433,46	Q 311,34	Q 311,34	Q 155,50					Q 3.486,50
8 Bomba hidráulica de pozo	Q 10.845,00	10	Q 1.084,50	Q 1.952,10	Q 1.501,68	Q 1.249,34	Q 999,91	Q 799,28	Q 710,35	Q 710,35	Q 710,35	Q 710,35	Q 356,80	Q 10.845,00
9 Bomba térmica centrifuga, 1893 LPM a 15 HP	Q 462.000,00	10	Q 46.200,00	Q 83.160,00	Q 66.520,00	Q 53.222,40	Q 42.596,40	Q 34.049,40	Q 30.261,00	Q 30.261,00	Q 30.261,00	Q 30.261,00	Q 15.198,80	Q 462.000,00
10 Bomba rotativa de 7 LPM a 120 psi	Q 20.400,00	10	Q 2.040,00	Q 3.672,00	Q 2.957,60	Q 2.350,08	Q 1.880,88	Q 1.503,48	Q 1.336,20	Q 1.336,20	Q 1.336,20	Q 1.336,20	Q 671,16	Q 20.400,00
11 Bomba centrifuga descarga a tanques MATERIAL Y 6 hp	Q 107.800,00	10	Q 10.780,00	Q 19.404,00	Q 15.523,20	Q 12.418,56	Q 9.939,16	Q 7.944,86	Q 7.060,90	Q 7.060,90	Q 7.060,90	Q 7.060,90	Q 3.546,62	Q 107.800,00
12 Bomba centrifuga descarga a barco MATERIAL 80 hp	Q 338.800,00	10	Q 33.880,00	Q 60.984,00	Q 48.787,20	Q 39.029,76	Q 31.257,36	Q 24.969,56	Q 22.191,40	Q 22.191,40	Q 22.191,40	Q 22.191,40	Q 11.446,52	Q 338.800,00
13 Medidor de flujo máscico (Caudalímetro ultrasónico)	Q 89.200,00	10	Q 8.920,00	Q 16.077,60	Q 12.862,08	Q 10.239,66	Q 8.235,30	Q 6.582,88	Q 5.850,46	Q 5.850,46	Q 5.850,46	Q 5.850,46	Q 2.925,63	Q 89.200,00
14 Mangas y nozzles	Q 14.272,10	10	Q 1.427,21	Q 2.586,98	Q 2.065,18	Q 1.644,15	Q 1.313,89	Q 1.051,05	Q 934,82	Q 934,82	Q 934,82	Q 934,82	Q 469,55	Q 14.272,10
15 Flocopadora	Q 4.000,00	5	Q 800,00	Q 1.200,00	Q 768,00	Q 468,00	Q 468,00	Q 230,40						Q 4.000,00
16 Mesas	Q 1.200,00	7	Q 171,48	Q 293,88	Q 209,88	Q 149,88	Q 107,16	Q 107,16	Q 107,16	Q 53,52				Q 1.200,00
17 Microondas	Q 400,00	7	Q 57,16	Q 97,96	Q 69,96	Q 49,96	Q 35,72	Q 35,68	Q 35,72	Q 17,84				Q 400,00
18 Refrigeradora VR 12 de 15 hp	Q 5.182,10	7	Q 740,52	Q 1.289,10	Q 906,35	Q 647,24	Q 462,76	Q 402,74	Q 402,76	Q 231,12				Q 5.182,10
19 Hornos asador	Q 350,00	7	Q 50,02	Q 85,72	Q 61,22	Q 43,72	Q 31,26	Q 31,22	Q 31,22	Q 15,61				Q 350,00
20 Cofre	Q 500,00	7	Q 71,45	Q 122,45	Q 87,45	Q 62,45	Q 44,65	Q 44,60	Q 44,60	Q 22,30				Q 500,00
21 Vehículos	Q 180.000,00	10	Q 18.000,00	Q 32.400,00	Q 25.920,00	Q 20.736,00	Q 16.596,00	Q 13.266,00	Q 11.790,00	Q 11.790,00	Q 11.790,00	Q 11.790,00	Q 5.922,00	Q 180.000,00
22 Amortización de costo de mano de obra	Q 4.589.461,00	5	Q 917.892,20	Q 1.486.627,52	Q 881.176,51	Q 528.705,91	Q 324.532,95							Q 4.589.461,00
23 Lámparas a prueba de explosión	Q 25.500,00	3	Q 8.499,15	Q 11.331,55	Q 3.776,55	Q 1.889,55								Q 25.500,00
24 Compresor para suministro de aire de 25 hp	Q 60.000,00	10	Q 6.000,00	Q 12.400,00	Q 9.956,00	Q 7.948,80	Q 6.361,80	Q 5.085,20	Q 4.519,50	Q 4.519,50	Q 4.519,50	Q 4.519,50	Q 2.270,10	Q 60.000,00
25 Generador de 130 KW	Q 165.550,00	10	Q 16.555,00	Q 29.799,00	Q 23.839,20	Q 19.071,36	Q 15.265,71	Q 12.210,04	Q 10.845,53	Q 10.845,53	Q 10.845,53	Q 10.845,53	Q 5.446,60	Q 165.550,00
TOTAL	Q 10.857.889,46		Q 1.085.889,46	Q 1.764.497,64	Q 1.104.412,80	Q 704.101,59	Q 665.344,92	Q 373.433,86	Q 317.160,80	Q 317.160,80	Q 317.160,80	Q 317.160,80	Q 157.987,78	Q 6.132.366,70

CUADRO No.52

Detalle del flujo de caja del análisis económico de la planta

Detalle	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		Q 7,899,878.05	Q 8,373,870.73	Q 8,876,302.98	Q 9,408,881.15	Q 9,973,414.02	Q 10,571,818.86	Q 11,206,128.00	Q 11,878,495.68	Q 12,591,205.42	Q 13,346,677.74
Costos variables		Q (1,338,187.56)	Q (1,415,753.03)	Q (1,532,499.64)	Q (1,685,087.49)	Q (1,857,102.81)	Q (1,952,157.21)	Q (1,950,387.10)	Q (1,850,227.30)	Q (1,565,623.36)	Q (1,361,718.55)
Costos fijos		Q (582,574.50)	Q (617,528.97)	Q (654,380.71)	Q (693,855.55)	Q (735,486.88)	Q (779,616.10)	Q (826,993.06)	Q (875,976.64)	Q (928,535.24)	Q (984,247.36)
Depreciación		Q (1,087,809.46)	Q (1,764,497.64)	Q (1,104,412.80)	Q (704,101.59)	Q (665,347.92)	Q (373,743.86)	Q (97,160.80)	Q (96,328.54)	Q (95,498.16)	Q (95,498.16)
Interés préstamo		Q (1,379,912.95)	Q (1,304,993.09)	Q (1,220,344.30)	Q (1,124,685.51)	Q (1,016,591.08)	Q (894,444.38)	Q (756,418.60)	Q (600,449.48)	Q (424,204.36)	Q (225,047.38)
Utilidad antes de impuestos		Q 3,511,393.58	Q 3,271,113.00	Q 4,564,465.53	Q 5,551,200.01	Q 6,218,885.53	Q 7,171,877.32	Q 8,175,768.44	Q 8,947,513.71	Q 9,779,344.30	Q 10,680,166.30
Impuesto ISR (31%)		Q (1,519,899.24)	Q (1,406,578.59)	Q (1,962,700.18)	Q (2,387,016.44)	Q (2,674,120.69)	Q (3,083,907.25)	Q (3,515,580.43)	Q (3,847,430.90)	Q (4,203,118.05)	Q (4,592,471.51)
Utilidad neta		Q 2,001,494.34	Q 1,864,534.41	Q 2,601,765.35	Q 3,164,183.57	Q 3,544,764.84	Q 4,087,970.07	Q 4,660,188.01	Q 5,100,082.82	Q 5,576,226.25	Q 6,087,694.79
Depreciación		Q 1,087,809.46	Q 1,764,497.64	Q 1,104,412.80	Q 704,101.59	Q 665,347.92	Q 373,743.86	Q 97,160.80	Q 96,328.54	Q 95,498.16	Q 95,498.16
Inversión inicial	Q (2,129,430.03)										
Préstamo	Q (106,147,15.02)										
Amortización de deuda		Q (576,268.16)	Q (651,083.02)	Q (735,836.82)	Q (831,495.60)	Q (939,590.03)	Q (1,061,736.74)	Q (1,199,162.51)	Q (1,353,731.64)	Q (1,531,976.75)	Q (1,731,133.73)
Flujo de caja	Q (106,147,15.02)	Q 2,513,035.64	Q 2,977,949.03	Q 2,970,221.33	Q 3,036,790.57	Q 3,270,322.32	Q 3,399,977.20	Q 3,557,586.29	Q 3,840,679.72	Q 4,137,747.65	Q 4,452,059.21

CUADRO No.53

Rentabilidad del proyecto de la terminal de almacenamiento de etanol

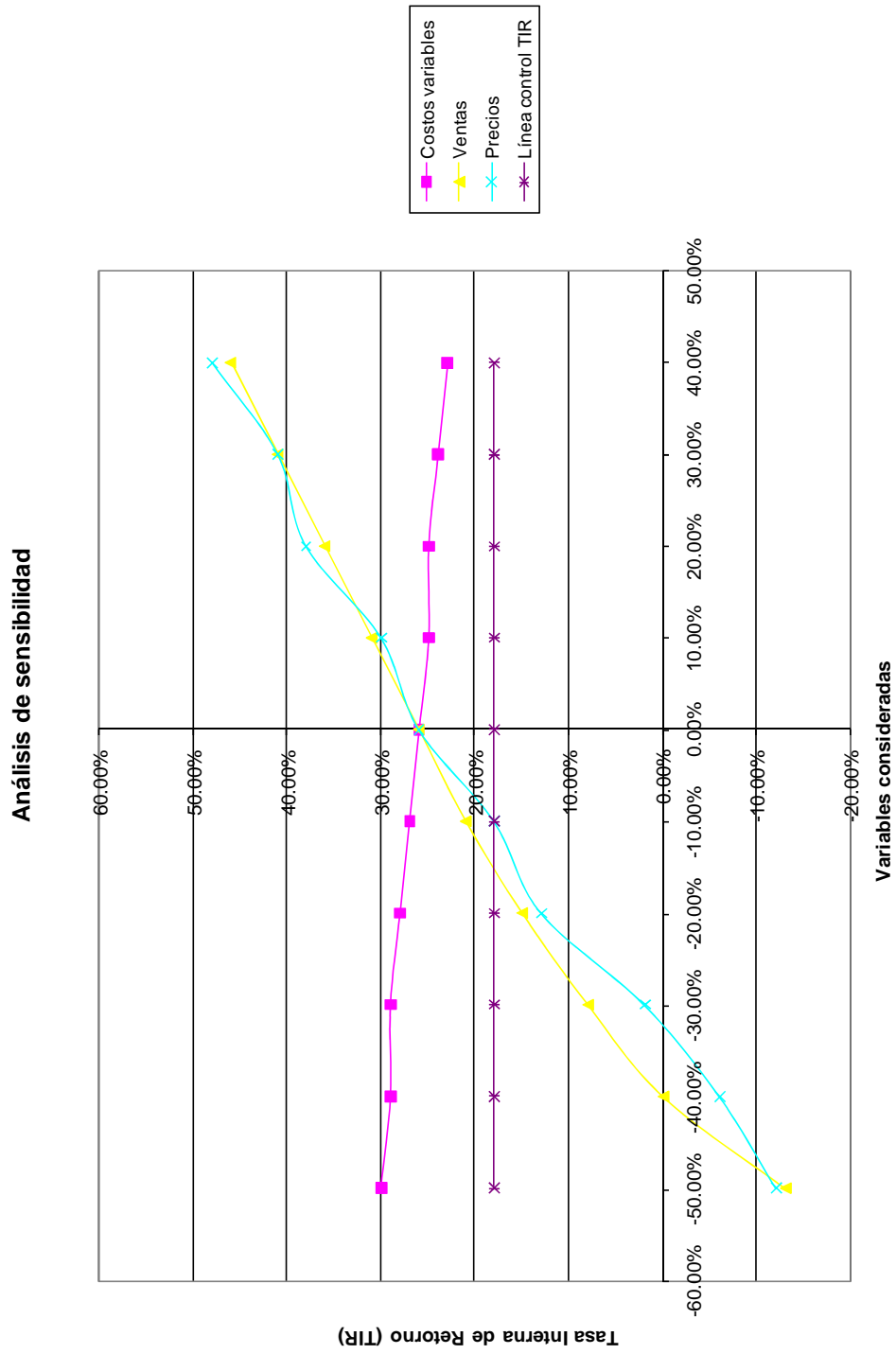
TIR	26%
VAN	Q 3,638,920.81
Tiempo de recuperación de inversión	1 año

CUADRO No.54

Detalle de los puntos de equilibrio anuales del análisis económico

Año	Punto de equilibrio
1	3,363,249.23
2	3,538,641.43
3	3,781,016.11
4	4,006,898.11
5	4,246,467.88
6	4,494,753.25
7	4,765,239.80
8	5,047,351.09
9	5,347,421.13
10	5,669,302.92

FIGURA No.5
Gráfica del análisis de sensibilidad de la TIR



9. Plano general de la planta

10. Diagramas de curvas de bombas

FIGURA No.6

Curva de bomba centrífuga diesel contra-incendio de hierro dúctil de 18.64 KW (25 hp) con capacidad de 113.55 m³/h

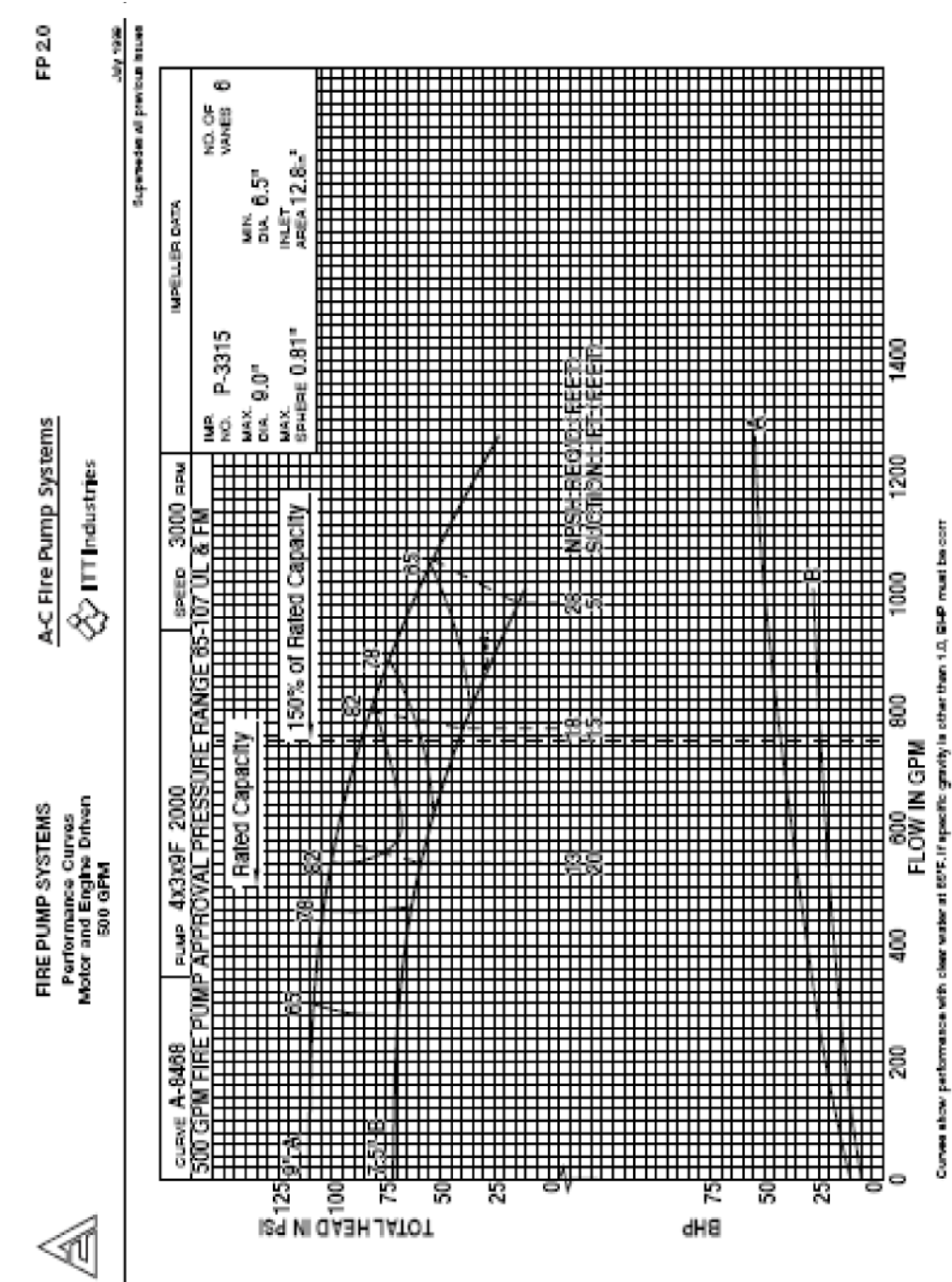


FIGURA No.7

Curva de bomba centrífuga de hierro dúctil de 48.47 KW (65 hp) con capacidad de 340.56 m³/h

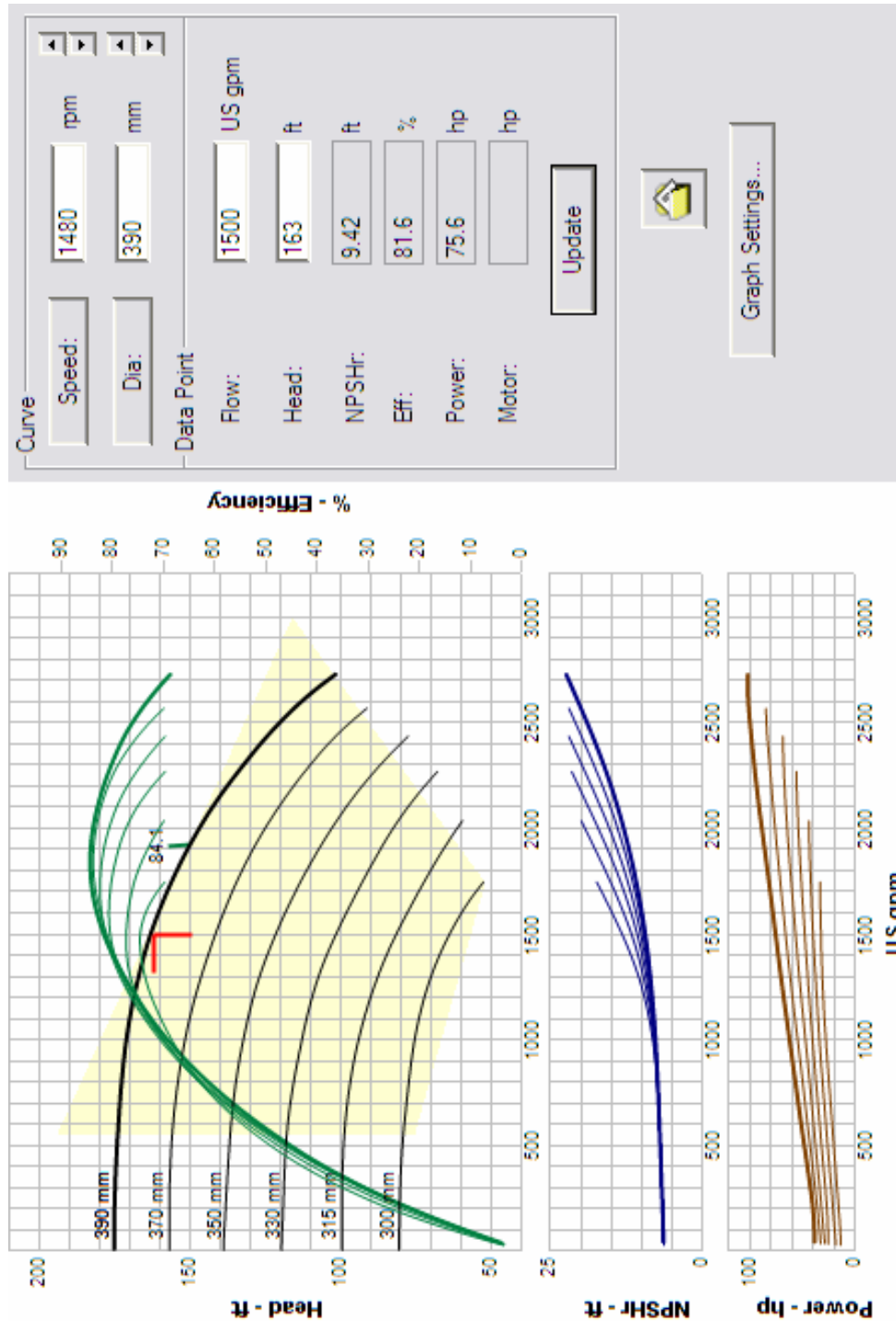
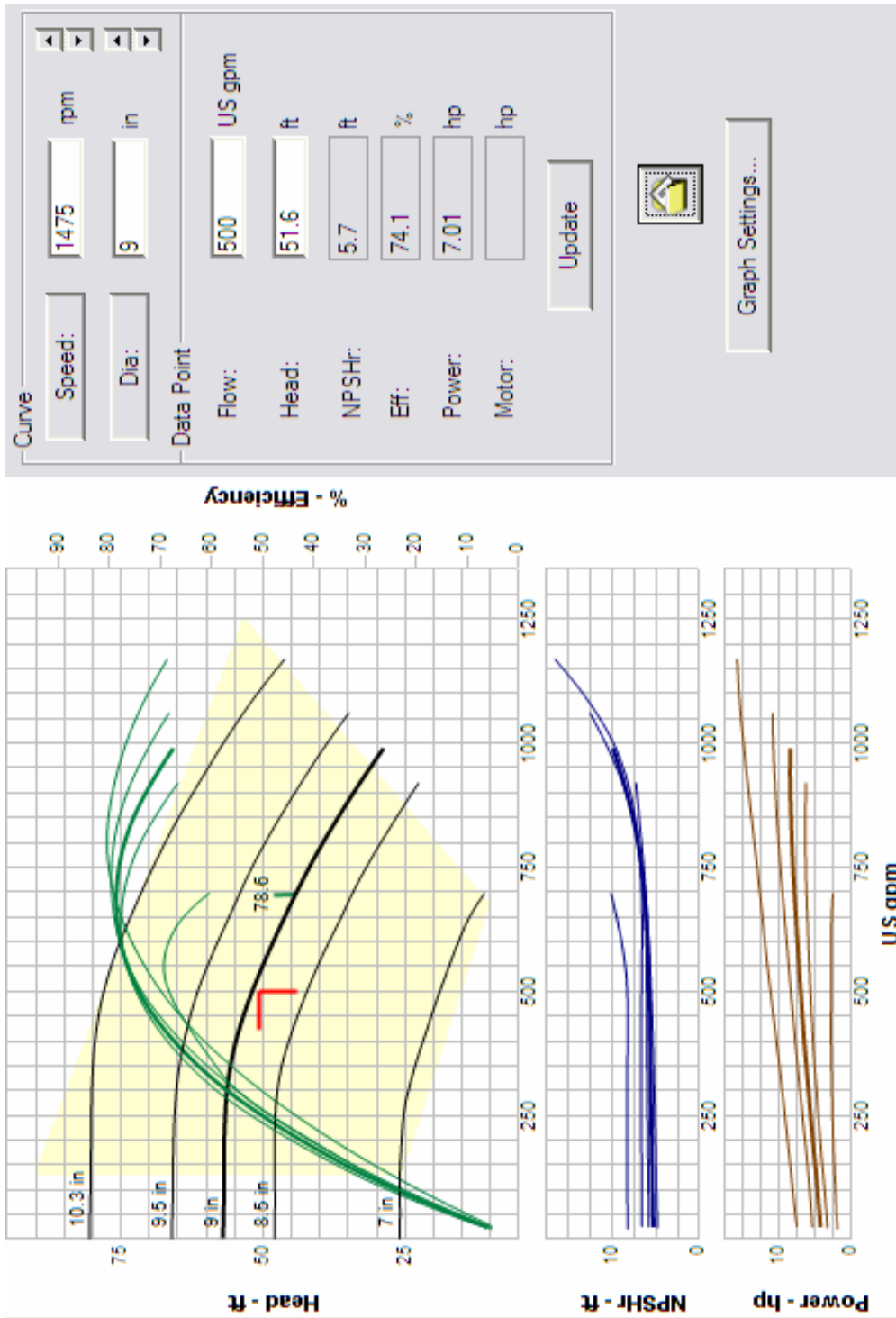


FIGURA No.8

Curva de bomba centrífuga de hierro dúctil de 4.47 KW (6 hp) con capacidad de 113.55 m³/h



11. Propiedades del etanol para control de calidad

CUADRO No.55

Propiedades del etanol comercial hidratado y carburante anhidro para control de calidad

Característica	Especificaciones		Unidad
	Carburante anhidro	Comercial hidratado	
Acidez total, máx	30.0	30.0	mg / L
Conductividad eléctrica, máx	500.0	500.0	μS / m
Masa específica a 20°C	791.5	807.6 - 811.0	Kg / m ³
Contenido de alcohol, mín	99.85	92.6 - 93.8	% vol.
Contenido de agua, máx	0.12	7.37	% vol.
Potencial hidrogénico (pH)	-	6.0 - 8.0	-
Residuo por evaporación, máx	0.35	5.0	mg / 100 mL
Contenido de hidrocarburos	3.0	3.0	% vol.
Ion cloruro, máx	0.04	1.0	mg / Kg
Ion sulfato, máx	0.07	4.0	mg / Kg
Hierro, máx	0.008	5.0	mg / Kg
Sodio, máx	-	2.0	mg / Kg
Cobre, máx	0.07	-	mg / Kg

(Mora, *et al.*, 2007:1)