

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Análisis de una planta de mezclado de gasolina con  
etanol**

Proyecto de investigación

**Danny Rubén Guevara Bonilla**  
**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 29 de mayo del 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Análisis de una planta de mezclado de gasolina con etanol**

**Danny Rubén Guevara Bonilla**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

David Escudero Ph.D.

Firma del profesor

---

Quito, 29 de mayo de 2017

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Danny Rubén Guevara Bonilla

Código: 00111184

Cédula de Identidad: 1723291082

Lugar y fecha: Quito, 27 de mayo de 2017

## **Agradecimientos**

A mis padres: Elva Bonilla y Rubén Guevara por su inagotable paciencia y continuo apoyo, a Dios por la fuerza y salud, a David Escudero Ph. D., mi director de tesis, por su constante asistencia y a todos los demás profesores del área de ingeniería que me apoyaron en mi recorrido académico.

## Resumen

En este proyecto se realiza el análisis de una planta de mezclado de gasolina con bioetanol, utilizando herramientas computacionales y normas de diseño para comprobar si los componentes instalados en la planta (tuberías, bombas, tanques) cumplen con las especificaciones de diseño y de operación de la misma.

El análisis se realizó de una planta ya existente ubicada en Santa Elena en la refinería la Libertad. Con el fin de determinar posibles fallos y sectores a mejorar, se realiza un análisis para definir aspectos importantes como la eficiencia, abastecimiento y puntos críticos para el funcionamiento de la misma. Una vez establecidas las características más importantes de la planta se detalla el procedimiento para el diseño de una planta mejorada, el cual contará con un dimensionamiento de tanques y tuberías, selección de válvulas y bombas, generación de planos y finalmente un análisis de los posibles cambios que se pueden realizar a la planta.

En los resultados obtenidos se tiene que las tuberías seleccionadas para la planta son las adecuadas de acuerdo a un pipping-class que detalla los requerimientos principales de diseño para estas. Por otro lado, en el análisis de pérdidas de presión realizado con el software Pipe Flow Expert, se mostró que las bombas que se encuentran instaladas actualmente no alcanzan la cabeza de presión necesaria para cumplir con las presiones previstas por la filosofía de diseño de las instalaciones. Finalmente, con respecto a los tanques se encontró que el diseño obtenido es muy similar al construido en la actualidad, por lo que los tanques instalados cumplen con los requerimientos de la planta.

Palabras clave: Bioetanol, emisiones contaminantes, octanaje, diseño mecánico, P&ID, planos ortogonales, isométricos, presión de operación y diseño.

## Abstract

In this project, the analysis of a gasoline blending plant with bioethanol is carried out, using computational tools and design rules to check if the components installed in the plant (pipelines, pumps, tanks) comply with the design and operation specifications of the plant.

The analysis was performed from an existing plant located in Santa Elena at La Libertad refinery. In order to determine possible failures and sectors to improve, an analysis is made to define important aspects such as efficiency, supply and critical points for the operation. Once the most important characteristics of the plant are established, the procedure for the design of an improved plant is detailed, which will include tank and pipeline sizing, valve and pump selection, generation of plans and finally an analysis of possible changes which can be made to the plant. In the results obtained the pipelines selected for the plant are suitable according to a pipping-class that details the main design requirements for them. On the other hand, in the analysis of pressure losses carried out with the Pipe Flow Expert software, it was shown that the pumps that are currently installed do not reach the head of pressure required to meet the pressures provided by the design philosophy of the facilities. Finally, with respect to the tanks, it was found that the design obtained is very similar to the one constructed, so the tanks installed comply with the requirements of the plant.

Keywords: Bioethanol, pollutant emissions, octane, mechanical design, P & ID, orthogonal plans, isometrics, operating pressure and design.

## LISTA DE ABREVIACIONES

AWS	American welding society (Sociedad americana de soldadura)
AWS	American welding society (Sociedad americana de soldadura)
ASTM	American society fortesting and materials (Sociedad americana para pruebas y materiales).
API	American Petroleum Institiute (Instituto americano de petróleo)
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
NAO	Naftas de alto octanaje (nafta o también conocido como gasolina o combustible).
NBO	Naftas de bajo octanaje
SMAW	Proceso de soldadura por arco eléctrico y electrodo metálico revestido
RTR	Abertura reforzada (manhole o boquilla con placa de refuerzo de tipo diamante)

## SIMBOLOGÍA

$\epsilon$	Rugosidad de la tubería	in
$\rho$	Densidad	slugs/cm <sup>3</sup>
$z$	Altura	ft
$p$	Presión	in <sup>2</sup>
$g$	Gravedad	ft/s <sup>2</sup>
$V$	Velocidad del fluido	ft/s
$V$	Velocidad del viento	mph
$U$	Combinación máxima de carga con una carga balanceada Su	psi
$T$	Combinación máxima de carga con una carga balanceada Sd	psi
$Sp$	Aceleración sísmica pico en la tierra	g
$P_i$	Presión interna que ejerce el fluido interno en el techo	psi
$P$	Presión de viento	lb/ft <sup>2</sup>
$L$	Longitud de la tubería	ft
$J$	Radio de anclaje	
$I$	Factor de importancia	
$I$	Factor de importancia	
$H$	Altura nominal del tanque	ft
$G$	Gravedad específica del fluido	
$G$	Factor de ráfaga	
$D$	Diámetro nominal del tanque	ft
$CA$	Corrosión admisible	in
$C$	Capacidad del tanque	Bls
$A$	Área de sección de la tubería	
$* C$	Clase de sitio, que en este caso es C	
$w_{int}$	Carga calculada de soporte debido a la presión por unidad de circunferencia	lbf/ft
$w_a$	Fuerza de resistencia de carga para la región anular	lbf/ft
$t_t$	Espesor de chapa del cuerpo del tanque por diseño	in
$t_d$	Espesor de la chapa del cuerpo por prueba hidrostática	in
$t_a$	Espesor anular del fondo del cuerpo	in
$r_r$	Radio del techo	ft
$X_s$	Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del tanque	ft
$X_r$	Altura desde el fondo hasta el centro de gravedad del techo	ft
$X_i$	Altura desde el fondo del tanque al centro de acción de la fuerza sísmica lateral relacionada con la fuerza impulsiva del líquido	ft
$X_c$	Altura desde el fondo del tanque al centro de acción de la fuerza lateral sísmica relacionada con la fuerza del líquido por convección	ft
$W_t$	Peso total del tanque lbf	lbf
$W_s$	Peso total del tanque y sus accesorios	lbf
$W_s$	Peso total del cuerpo del tanque	lbf
$W_{rs}$	Carga de techo actuando en el tanque	lbf
$W_r$	Peso total del techo y sus accesorios más un 10% de carga por nieve	lbf



$W_l$	Peso del líquido por el anillo	lbf/ft
$W_i$	Impulso efectivo por peso del líquido	lbf
$W_f$	Factor multiplicador de viento	
$W_c$	Peso del líquido por efecto de chapoteo	lbf
$W_{DLR}$	Carga sobre la junta fondo cuerpo por peso del techo	lbf
$W_{DL}$	Carga sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo	lbf
$V_{viento}$	Fuerza de corte en la base	lbf
$T_b$	Espesor de las placas del fondo del tanque	in
$S_y$	Esfuerzo de fluencia	lbf
$S_t$	Esfuerzo admisible para la condición hidrostática	psi
$S_d$	Esfuerzo permisible para la condición de diseño	psi
$P_{ws}$	Presión de viento en el cilindro	lb/ft <sup>2</sup>
$P_{wr}$	Presión de viento en el techo	lb/ft <sup>2</sup>
$P_{wr}$	Presión del techo en el viento	lb/ft <sup>2</sup>
$P_w$	Presión básica del viento	lb/ft <sup>2</sup>
$M_{ws}$	Momento del vuelco sobre la junta fondo cuerpo	lb.ft
$M_w$	Momento del tanque	ft.lb
$M_{pi}$	Momento sobre la junta fondo cuerpo por presión	lb.ft
$M_f$	Momento sobre la junta fondo cuerpo debido al peso del líquido almacenado	lb.ft
$M_{DLR}$	Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del techo y cualquier estructura	lb. ft
$M_{DL}$	Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo	
$L_s$	Altura desde el fondo hasta el centro del cuerpo	ft
$L_r$	Altura desde el fondo hasta el techo	ft
$K_{zt}$	Factor para tanques circulares	
$K_z$	Coefficiente de exposición de presión	
$K_s$	Coefficiente de periodo de oleaje	
$K_d$	Factor de direccionalidad	
$G_e$	Gravedad específica efectiva incluyendo efectos verticales de sismo	
$F_r$	Fuerza del viento en el techo	lb
$F_c$	Esfuerzo longitudinal de compresión admisible para el cuerpo	lbf/ft <sup>2</sup>
$F_{by}$	Mínimo esfuerzo de fluencia para el fondo del cuerpo	psi
$A_s$	Área proyectada del cuerpo	ft <sup>2</sup>
$A_r$	Área proyectada del techo	ft <sup>2</sup>
$A_i$	Coefficiente de aceleración de espectro para respuesta impulsiva	
$A_c$	Coefficiente de aceleración de espectro para respuesta convectiva	
$\sigma_c$	Esfuerzo máximo longitudinal de compresión del cuerpo	
$P_i$	Factor de presión	
$h_p$	altura de la bomba	ft
$h_m$	altura	ft
$h_f$	altura	ft
$*I$	Grupo sísmico	

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	15
1.2	Objetivo .....	16
1.3	Objetivos específicos .....	17
2.	MARCO TEÓRICO .....	18
2.1	Gasolina Ecopaís.....	18
2.2	Mezcla de combustibles.....	18
2.3	Operación.....	18
2.4	Tuberías .....	20
2.4.1	Identificación de tubería y válvulas.....	21
2.5	Tanques de almacenamiento.....	24
2.5.1	Tipos de tanques .....	25
2.6	Cisterna de almacenamiento .....	26
2.7	Bombas .....	26
2.8	Válvulas .....	26
2.9	Parámetros característicos.....	27
3.	ANÁLISIS DE LA REFINERÍA .....	28
3.1	Análisis físico .....	28
3.2	Tubería.....	29
3.3	Bombas .....	31
3.4	Fluidos .....	33
3.5	Tanques.....	33
4.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	34
4.1	Selección de tubería y accesorios .....	34
4.1.1	Selección de tubería.....	34
4.1.2	Uso de Pipe Flow Expert en las redes de tuberías.....	35
4.1.3	Cálculo de presión .....	37
4.1.4	Transporte de etanol desde la cisterna al tanque. ....	39
4.1.5	Transporte de etanol desde los tanques de etanol hasta el blending-skid. ....	41
4.1.6	Transporte de gasolina extra desde su tanque hasta el blending-skid .....	44
4.2	Selección de bombas.....	45
4.2.1	Selección de bomba, Transporte de etanol desde la cisterna al tanque. ....	47
4.2.2	Selección de bombas, Transporte de etanol desde los tanques de etanol hasta el blending-skid. ....	47
4.2.3	Selección de bombas, Transporte de gasolina extra desde su tanque hasta el blending-skid .....	48

4.3	Diseño del tanque de almacenamiento .....	49
4.3.1	Selección de norma.....	49
4.3.2	Dimensionamiento según la capacidad del tanque .....	49
4.3.3	Diseño del cuerpo del tanque por el método de punto fijo.....	51
4.3.4	Diseño del fondo del tanque .....	53
4.3.5	Parámetros a considerar para el techo de domo geodésico. ....	55
4.3.6	Estabilidad de volteo por carga de viento.....	55
4.3.7	Cálculo de diseño por carga de sismo .....	58
4.3.8	Diseño de la resistencia al volteo por sismo.....	60
4.3.9	Tipo de soldadura en la construcción del tanque.....	61
4.3.10	Validación de los datos mediante el software TANK .....	66
5.	CONCLUSIONES.....	71
6.	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA .....	74
	ANEXO A: CÁLCULOS TANQUE.....	75
	ANEXO B: INFORME TANK. ....	78
	ANEXO C: PLANOS DISEÑO DEL TANQUE.....	84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de materiales y descripción de las líneas de tubería .....	29
Tabla 2. Condiciones generales de diseño .....	30
Tabla 3. Lista de bombas en operación. ....	31
Tabla 4. Propiedades de los fluidos utilizados en la planta .....	33
Tabla 5. Resultados cálculo de presión parte 1 .....	41
Tabla 6. Resultados cálculo de presión Parte 2 .....	43
Tabla 7. Resultados cálculos Parte 3 .....	44
Tabla 8. Alturas de cabeza requeridas para mantener la presión de operación. ....	45
Tabla 9. Requerimientos para selección de nuevas bombas.....	46
Tabla 10. Lista de bombas adecuadas para la Parte 1 .....	47
Tabla 11. Lista de bombas adecuadas para la Parte 2 .....	48
Tabla 12. Lista de bombas adecuadas para la Parte 3 .....	48
Tabla 13. Requerimientos mínimos para el espesor de una plancha, API 650.....	49
Tabla 14. Dimensiones calculadas para el tanque .....	52
Tabla 15. Valores de los espesores admisibles para los anillos calculados.....	53
Tabla 16. Dimensiones del diseño del fondo del tanque .....	55
Tabla 17. Requerimientos para tanques no anclados.....	58
Tabla 18. Comparación entre tanque en planta y diseño bajo la API 650.....	70

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transporte de etanol a las islas de carga. ....	19
Figura 2. Transporte de gasolina extra a las islas de carga.....	19
Figura 3. Islas de carga de mezclado de gasolina con etanol. ....	20
Figura 4. Nomenclatura para tuberías. ....	21
Figura 5. Especificaciones de tubería. ....	22
Figura 6. Servicios y especificaciones para tuberías. ....	22
Figura 7. Nomenclatura para válvulas. ....	23
Figura 8. Nomenclatura para válvulas. ....	23
Figura 9. Selección de conexiones de válvulas según el diámetro de tubería. ....	24
Figura 10. Techos Soportados. ....	25
Figura 11. Techo Auto soportados. ....	25
Figura 12. Representación de válvula de control. ....	27
Figura 13 Bomba vertical en la cisterna, bomba 4x3x12. ....	32
Figura 14 Bombas horizontales de transporte de etanol, bomba 3x1,5x9,5.....	32
Figura 15. Bombas horizontales de transporte de gasolina extra, bomba 6x4x19. ....	32
Figura 16. Tanques de etanol.....	33
Figura 17. Tanque de gasolina extra.....	34
Figura 18. Especificación ANSI #150.....	35
Figura 19. Línea de tubería calculada. Transporte de etanol hacia un tanque.....	36
Figura 20. Resultados de la bomba obtenidos. ....	36
Figura 21. Ejemplo de parámetros de tubería.....	38
Figura 22. Ejemplo de selección de instrumentación.....	39
Figura 23. Ejemplo de selección del fluido. ....	39
Figura 24. Diseño red de tubería Parte 4.1.4. ....	40
Figura 25. Cálculo red de tubería Parte 4.1.4. ....	40
Figura 26. Diseño red de tubería 4.1.5. ....	42
Figura 27. Cálculo red de tubería Parte 4.1.5. ....	43
Figura 28. Diseño red de tubería Parte 4.1.6. ....	44
Figura 29. Cálculo red de tubería Parte 4.1.6. ....	44
Figura 30. Medidas típicas y correspondientes a las capacidades nominales (barriles) para un tanque, tabla equivalente a Table A.1b en API 650. ....	50

Figura 31. Espesores para las placas del cuerpo del tanque para medidas típicas de tanques, tabla equivalente a Table A.2b- Shell-Plate thickness (in) en API 650. ....	50
Figura 32. Espesor de las placas anulares del fondo del tanque, equivalente a la tabla 5.1b en la API 650. ....	54
Figura 34. Temperatura de precalentamiento, Tabla 7.1a API 650. ....	62
Figura 35. Juntas típicas verticales para tanques. F 5.1 API 650. ....	62
Figura 36. Soldaduras para juntas horizontales, F5.2 API 650. ....	63
Figura 37. Juntas típicas de fondo, F5.3a API 650. ....	64
Figura 38. Forma de traslape entre el fondo y cuerpo del tanque, F5.3b API 650. ....	64
Figura 39. Especificación de soldadura para el cuerpo del tanque. ....	65
Figura 40. Datos generales del tanque ingresados en el software TANK. ....	67
Figura 41. Datos generales del sismo ingresados en el software TANK. ....	67
Figura 42. Resultados obtenidos del diseño en TANK. ....	68

# 1. INTRODUCCIÓN

Las refinerías de gasolina en Ecuador no cumplían con normas ambientales internacionales que regulan emisiones contaminantes de combustibles, por lo que se realiza un plan de mejoramiento de combustibles que la Empresa Pública Petroecuador ejecuta desde el 15 de noviembre del 2011. Esta meta fue reducir, en una primera etapa el contenido de azufre de 2000 a 650 ppm de azufre en las gasolinas y en el Diésel Premium. Es por este motivo que se busca reemplazar la gasolina actual progresivamente por un combustible más amigable con el medio ambiente. Según el informe de los resultados que realiza el Municipio de Quito a través del Laboratorio de Hidrocarburos de la Facultad de Química de la Escuela Politécnica Nacional emitidos por ese centro de estudios superiores, del análisis de 100 muestras tomadas en 37 estaciones de servicio, se desprende que las características de octanaje de las gasolinas Extra y Súper, se mantienen sobre los 87 y 92 octanos respectivamente, así como el contenido de azufre se encuentra en un promedio de 462 partes por millón cuando la norma INEN establece 650 partes por millón lo cual indica que los métodos aplicados tuvieron éxito (Ministerio de Hidrocarburos, Boletín No. 048). Si el combustible es de mejor calidad se reducen las emisiones a la atmósfera, mejora la calidad del aire, se preserva la salud de la población y se mantienen los vehículos en buen estado mecánico, es por esto que el Estado invertirá alrededor de 200 millones de dólares anuales, en función de la demanda, para abastecer al país del diésel Premium, de las nuevas gasolinas Extra 87 y Súper 92 de mayor octanaje y menos contenido de azufre. En consecuencia, se decide implementar en el Ecuador sistemas de mezclado de gasolina con bioetanol, llamando a esta combustible gasolina ecopaís, la cual posee un porcentaje de 5% de etanol con 95% de gasolina.

Las reservas de combustibles fósiles limitadas y su severa contaminación del medio ambiente, junto con su carácter no renovable han conducido a una búsqueda

mundial hacia combustibles renovables y alternativos en motores de combustión interna. El bioetanol es un combustible renovable a base de biomasa que puede ser producido por fermentación alcohólica de los residuos agrícolas. Hidrocarburos como HC y CO disminuyen conforme la cantidad de bioetanol en combustibles es mezclada. Sin embargo, el alto calor latente del bioetanol puede causar problemas de arranque para motores en frío debido a su escasa evaporación. En climas calientes, por otra parte, el bioetanol sufre efectos adversos, como bloqueo de vapor. Además, también se sufre de tipos de incompatibilidad con algunos materiales del motor en el caso de un alto contenido de mezcla en gasolina. A pesar de esto, en comparación con los inconvenientes el bioetanol tiene muchas ventajas.

Diferentes países han mostrado interés en biocombustibles tales como el bioetanol o biobutanol. En los EE.UU., por ejemplo, 10% de mezcla bioetanol y gasolina se ofrece en miles de estaciones de servicio como combustible para automóviles (Alasfour, 1998a). Esto se debe a que hasta un 10% en volumen de mezcla de bioetanol en la gasolina puede ser utilizado en vehículos diseñados para funcionar con combustible de gasolina sin ninguna modificación.

En este documento se define el análisis de una planta de mezcla de gasolina y bioetanol en una refinería existente seguido con un rediseño basado en normas internacionales, documentación y análisis económico para la construcción de la misma.

## **1.2Objetivo**

Este proyecto tiene como objetivo principal el análisis y readecuación de una planta de mezclado de gasolina con bioetanol de tal manera que esta garantice la calidad



de la mezcla, siendo 95% de gasolina extra con 5% de bioetanol los porcentajes deseados y recomendando un proceso de diseño para futuras construcciones.

### **1.3Objetivos específicos**

- Realizar reingeniería y analizar la planta de mezclado de la refinería La Libertad, para este análisis se tratarán los siguientes aspectos:

Requerimientos de Diseño: temperatura y presión de trabajo y diseño, niveles de control y potencia utilizada.

Dimensiones de la planta

Características detalladas de funcionamiento

Características de seguridad

Requerimientos de Pruebas y Certificaciones

Requerimientos de Confiabilidad y Garantía

Vida Útil

Requerimientos de Mantenimiento

- Optimizar el proceso actual de la refinería buscando mejoras en los requerimientos especificados en el inciso anterior.
- Especificar los puntos críticos para el diseño de esta planta.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Gasolina Ecopaís**

El Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, en el marco del Cambio de la Matriz Productiva, fomenta la producción de la gasolina ECOPAÍS, un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol, proveniente de la caña de azúcar, y un 95% de gasolina base (MCPEC). ECOPAÍS tiene la misma cantidad de octanaje (87 octanos) y precio de la gasolina Extra.

### **2.2 Mezcla de combustibles**

En la producción de gasolina Extra de 87 octanos en el Ecuador se requiere mezclar un 76% de nafta de alto octano (NAO) con 24% de naftas de bajo octano (NBO). Para este proceso el NAO utilizado es importado.

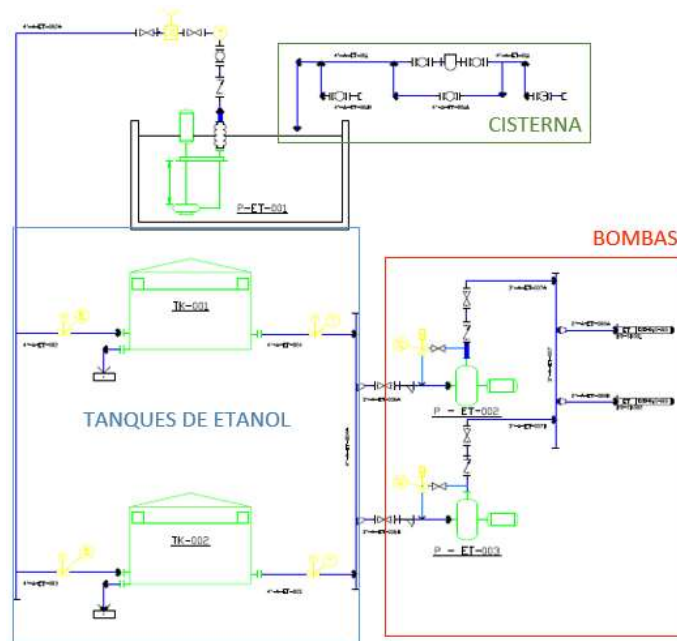
Por otra parte, para la producción de ECOPAÍS, con la misma cantidad de octanos que la gasolina extra, se requiere de 62% de NAO, 33% de NBO y 5% de bioetanol. Debido al alto octanaje del bioetanol que se incorpora a ECOPAÍS se genera una reducción del 14% de necesidad de NAO lo cual favorece a menos importaciones de este derivado y a su vez contribuye a la economía nacional.

### **2.3 Operación**

Para tener una mejor comprensión del análisis de la planta de mezclado de gasolina con etanol en la Refinería la Libertad, se presentan extractos de los P&IDs de esta planta en las figuras 1-3.

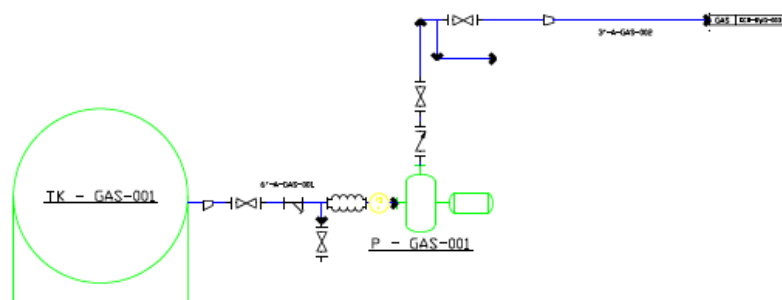
La primera parte, detallada en la figura 1, muestra la recepción de etanol por parte de la planta a los tanques de etanol que descargan este servicio en una cisterna de almacenamiento. Seguido, con una bomba vertical el fluido es transportado a dos tanques de techo flotante con domo geodésico donde el etanol será almacenado para su posterior

uso. Finalmente, a medida que se requiera de etanol, el mismo será transportado por dos bombas en paralelo que transportan este servicio hacia las respectivas islas de carga.



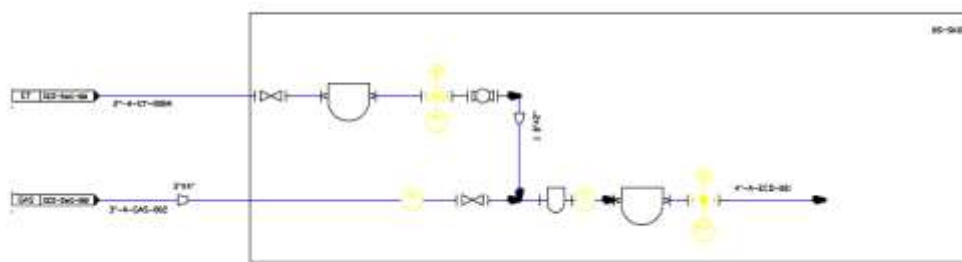
**Figura 1.** Transporte de etanol a las islas de carga.

El transporte de gasolina es explicado por la figura 2, en la cual se puede observar que para el almacenamiento de gasolina la planta utiliza un tanque esférico. Este tanque ya existía anteriormente en la refinería La Libertad, por lo que para una planta que mezcle gasolina con etanol, se requiere agregar una red de tubería que transporte la gasolina desde el tanque ya existente hasta su respectiva isla de carga. Con el fin de transportar la gasolina, se ocupa de una bomba horizontal que lleve el fluido hasta las islas de carga.



**Figura 2.** Transporte de gasolina extra a las islas de carga.

Finalmente, las islas de carga son las encargadas de realizar la mezcla de gasolina con etanol donde se conforma la gasolina Eco-país la cual será distribuida a los diferentes camiones de carga que necesiten de la misma. Este proceso de mezclado une ambas líneas, de gasolina y de etanol, donde con un juego de válvulas brinda una mezcla de 95% de gasolina con un 5% de etanol.



**Figura 3.** Islas de carga de mezclado de gasolina con etanol.

## 2.4 Tuberías

Las tuberías nos permiten transportar una gran variedad de fluidos, ya sean estos en estado líquido o gaseoso. Dentro de los parámetros más importantes a considerar para seleccionarlas tenemos el diámetro y la cédula de una tubería, ya que estas nos permiten clasificarlas según la resistencia mecánica que se está buscando. Los números de cédula vienen relacionados con la presión permisible de operación y el esfuerzo permisible del acero en la tubería. El rango de números de cédula va desde 10 a 160, siendo los más altos los que muestran un mayor espesor de pared.

El diseño de un sistema de tuberías trata de una adecuada selección de sus tuberías, bridas, válvulas, accesorios fijos, medidores, elementos de soporte, etc. Todo este diseño se basa en la buena elección de las condiciones de trabajo de acuerdo al medio y la función del proceso que se necesita.

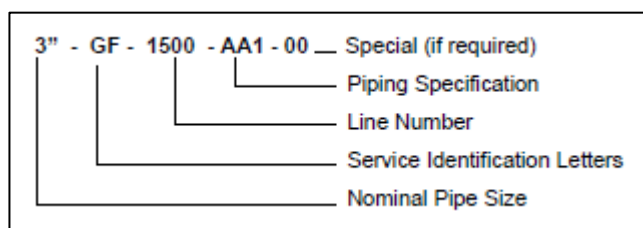
Como consideraciones fundamentales a tener en cuenta para el diseño de alguna planta se tiene:

- Establecer las condiciones de presión y temperatura
- Determinar las dimensiones de la tubería, como su diámetro y su cédula. Estas dimensiones dependerán del tipo de fluido que se utilizará (servicio) y de condiciones como el caudal, velocidad y presión del fluido.
- Selección del material de la tubería de acuerdo a la tolerancia de corrosión y resistencia mecánica que se busque.
- Desarrollar una configuración adecuada para la red de tuberías la cual busque reducir las pérdidas de presión.
- Estimar los soportes prudentes que resistan la carga de la tubería

Las normas utilizadas en este análisis de tubería son las normas ligadas del American Standar Institute y la American Society of Mechanical Enginners ANSI/ASME.

#### 2.4.1 Identificación de tubería y válvulas

Una conveniente identificación de una línea de tubería o válvula precisa tener en cuenta los siguientes parámetros, como se muestra en la figura que sigue:



**Figura 4.** Nomenclatura para tuberías.

Esta nomenclatura recomienda mencionar el diámetro nominal de la tubería, el tipo de fluido que se utilizará, el número de la línea, especificación de la tubería y un número adicional o código que se requiera poner. Las letras utilizadas para identificar las especificaciones se describen de acuerdo la siguiente tabla como se muestra en este ejemplo:

A		A		1			
RATING		MATERIAL		CS SPECS		SS SPECS	
A	150	A	CS	1	Without C.A.	1	304 SS
B	300	L	CS Low Temp.	2	1/8" C.A.	2	316 SS
C	600	S	SS	3	1/16" C.A.	3	Duplex
D	900	X	CS Int. Coated				
E	1500						
F	2500						

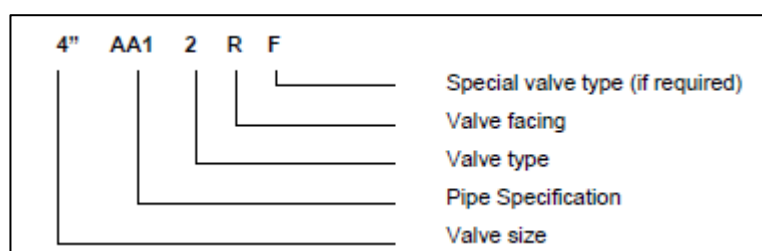
**Figura 5.** Especificaciones de tubería.

Una especificación consta de parámetros que definen la clase de la tubería, el material y la resistencia a la corrosión. Cada especificación está asociada con su respectivo servicio de acuerdo a la ASME B31.3, "PROCESS PIPING" la cual recomienda utilizar para cada fluido en una tubería su propia especificación. A continuación, se muestran las especificaciones recomendadas para cada tipo de servicio según la API Spec 5L.

SERVICE	ABBREVIATION	SPECIFICATION
Air Instrument	AI	HA1
Air Utility	AU	HA1
Blow Down (Low Temp to -50 °F)	BD1	AL1
Condensate	C	AA1, CA1
Drain Gravity	DRG	AA1
Drain Overflow	DO	AA1
Drain Pressure	DRP	AA1
Foam	F	AA1
Gas	G	AA1, BA1, CA1
Gas Diesel	GD	AA1
Gas Fuel	GF	AA1, BA1, CA1
Gas Fuel (Hot or Dry Service)	GF1	FA1
Gas Fuel (Wet or Condensing Service)	GF2	FS1
Gas Liquefied Propane	GLP	AA1
Gas Process	GP	AA1, AS1, AS2, BA1, BS1, BS2, CA1, CS1, CS2, DA1, DS1, DS3, EA1, ES1, ES3
Gasoline	GAS	AA1
Heat Media	HM	AA1
Lube Oil	LO	AA1
Oil Dry	OD	AA1
Oil Fuel Return	OFR	AA1
Oil Hot Return	OHR	AA1
Oil Hot Supply	OHS	AA1
Oil LACT	OL	AA1, CA1
Oil Produced	OP	AA1, AX1, BA1, BX1, CX1
Oil Reject	OR	AA1
Oil Wet	OW	AA1
Process Liquids (Chemical Injection)	PL	AS2, BS2, CS2
Steam	V	CA1
Water Fireline	WFL	AA1
Water Fresh	WF	HA1
Water Hot Return	WHR	AA1
Water Produced	WP	AA1, AX1, BA1, BX1, CX1, EA1, EX1
Water Raw	WR	AA1
Water Soft	WS	AA1
Water Utility	WU	HA1
Water Waste	WW	AA1

**Figura 6.** Servicios y especificaciones para tuberías.

De la misma manera que con tuberías, para nombrar válvulas se recomienda adoptar la siguiente nomenclatura:



**Figura 7.** Nomenclatura para válvulas.

Esta nomenclatura inicia describiendo su diámetro nominal, la especificación de la tubería, el tipo de válvula, el tipo de conexión y un carácter especial para información adicional. Estas recomendaciones se basan en las especificaciones para válvulas de líneas de tubería según la API Spec 6FA. Para definir los parámetros mencionados antes se deberá seguir las siguientes listas.

TYPE		FACING		SPECIAL VALVE TYPE If required	
1	Gate	F	Flat face	-	Standard
2	Ball	G	Grayloc	B	Double block and bleed
3	Plug	J	Ring joint	F	Full port
4	Globe	R	Raised face	FM	FM x FM
5	Check	S	Threaded (THD)	H	High temperature
6	Needle	U	Union	L	Lug
7	Butterfly	W	Butt weld	LT	Low temperature
8	Foot	X	Special	P	Piston
9	Gauge, Multiport	Y	SW x THD	S	Short pattern
0	Choke (900# - 1500#)	Z	Socket weld (SW)	SG	Slab Gate
				W	Wafer
				X	Special

**Figura 8.** Nomenclatura para válvulas.

Dado que existen varios tipos de conexiones entre la tubería y sus válvulas, las mismas deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

STANDARD BRANCH CONNECTION CHART  
[INCHES]

		BRANCH															
		24	20	18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1.5	1	.75	.5
R U N	24	T	RT	RT	RT	RT	RT	W	W	W	W	W	W	S	S	S	S
	20		T	RT	RT	RT	RT	W	W	W	W	W	W	S	S	S	S
	18			T	RT	RT	RT	W	W	W	W	W	W	S	S	S	S
	16				T	RT	RT	W	W	W	W	W	W	S	S	S	S
	14					T	RT	W	W	W	W	W	W	S	S	S	S
	12						T	RT	W	W	W	W	W	S	S	S	S
	10							T	RT	W	W	W	W	S	S	S	S
	8								T	RT	W	W	W	S	S	S	S
	6									T	RT	W	W	S	S	S	S
	4										T	RT	W	S	S	S	S
	3											T	RT	S	S	S	S
	2												T	T/S	S	S	S
	1.5													SWT	SW RT	SW RT	SW RT
	1														SWT	SW RT	SW RT
	.75															SWT	SW RT
	.5																SWT

Figura 9. Selección de conexiones de válvulas según el diámetro de tubería.

## 2.5 Tanques de almacenamiento

El correcto diseño de un tanque depende del tipo que queremos diseñar según su función, ubicación, tipo de fluida, temperatura y presión de trabajo y el volumen de almacenamiento. Estos factores permiten elegir el tanque adecuado con el que trabajar.

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su uso posterior y/o comercialización. Los tanques de almacenamiento, se clasifican en:

- 1.- Cilíndricos Horizontales.
- 2.- Cilíndricos Verticales de Fondo Plano.

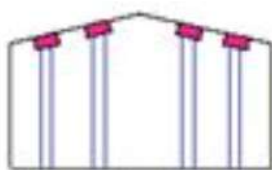
Para este caso nos enfocamos en los tanques cilíndricos verticales de fondo plano debido a que permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. La limitante de este tipo de tanques es que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente bajas. Estos tipos de tanques pueden ser: techo fijo, techo flotante o sin techo.



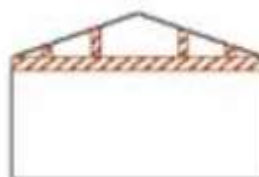
## 2.5.1 Tipos de tanques

### 2.5.1.1 *Tanque de techo fijo*

Estos tanques se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son; agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc. Debido a que al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso. Su clasificación es:



**Figura 10.** Techos Soportados.



**Figura 11.** Techo Auto soportados.

Existen otras opciones de techo tipo fijo como son los techos tipo domo geodésico, los cuales están fabricados de aluminio que resuelven algunos inconvenientes que generan los techos cónicos de acero. Estos techos son auto soportados por vigas estructurales I, con sus uniones siguiendo la superficie de una esfera, cubiertas con hojas de aluminio de bajo grosor. El domo geodésico almacena el producto libre del ingreso de agua, hielo o nieve y protege de la evaporación del producto almacenado. Entre algunas de sus ventajas están que no requiere de columnas internas, no está expuesto a la corrosión y su servicio es de larga vida, protege de la evaporación del producto almacenado, debido al efecto del viento sobre el domo, su peso es muy liviano ayudando al peso total del tanque sobre la cimentación, es más económico debido a su rápida fabricación y montaje en sitio, no requiere mantenimiento ni pintura, elimina los usos de sellos secundarios y pintura, su diseño está en base al API 650 Sección 3.1.5.9 e., y es compatible con todos los productos almacenados.

### **2.5.1.2 *Tanque de techo flotante***

Se emplean en almacenamiento de productos de alto contenido volátil o productos que tengan un bajo punto de inflamación tal como: alcohol, gasolina y combustibles en general. La funcionalidad del techo flotante recae en reducir la cantidad de aire que se encuentra en el espacio libre entre la superficie del fluido almacenado y el techo, esto reduce las pérdidas por evaporación.

### **2.5.1.3 *Tanque sin techo***

Utilizados para almacenar productos en los que no es de importancia que el producto este en contacto con el medio ambiente, es decir que este se evapore o se contamine.

## **2.6 Cisterna de almacenamiento**

Son lugares ubicados de manera subterránea que funcionan como depósitos o tanques que se construyen para almacenar principalmente agua. También pueden contener otros fluidos.

## **2.7 Bombas**

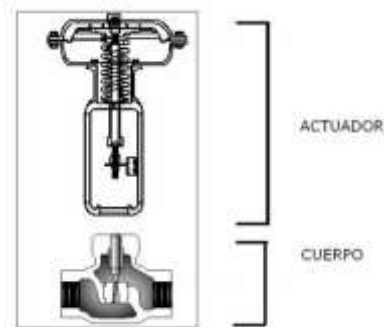
Las bombas son máquinas en las cuales se produce una transformación de la energía mecánica en energía hidráulica (velocidad y presión) comunicada al fluido que circula por ellas.

## **2.8 Válvulas**

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

En la actualidad el control automático de los procesos industriales de una válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación. Una válvula de control realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el caudal

de la variable medida comportándose como un orificio de pared continuamente variable, la siguiente figura indica la forma de una válvula de control.



**Figura 12.** Representación de válvula de control.

Existen diferentes tipos de válvulas tales como: válvula de bola, válvula de mariposa, válvula tipo plug, válvula esférica y válvula check principalmente.

Según la funcionalidad de la válvula estas pueden trabajar con:

- Control: Regular la presión o caudal.
- Cierre o sobre velocidad del fluido.
- Protección a sobrepresiones
- Prevenir el retorno del fluido
- Servicio de abrir/cerrar

## 2.9 Parámetros característicos

Dentro de lo más vital a revisar en una planta se tienen, sus bombas ya que con ellas se obtiene un correcto flujo de servicio el cual necesita alcanzar las presiones requeridas de operación para brindar un buen transporte al área de mezclado de la planta.

Los tanques de almacenamiento de etanol, debido a que este proceso es relativamente nuevo en el Ecuador, el adecuado de diseño de los mismos ayudará a incrementar su vida útil.

## **3. ANÁLISIS DE LA REFINERÍA**

### **3.1 Análisis físico**

Para una mejor comprensión de la planta se divide la planta en 3 secciones: área de recolección, almacenamiento y transporte de etanol, área de almacenamiento y transporte de gasolina extra y área de mezclado (Blending Skid).

El respectivo P&ID de cada área se encuentra adjunto en la sección de Apéndices. A continuación, se presenta una breve descripción de cada área.

#### **3.1.1 Área de recolección, almacenamiento y transporte de etanol**

Esta área es la encargada de la recolección de etanol de los tanques transportadores de este fluido hacia una cisterna de almacenamiento, seguido mediante una bomba se transporta el etanol hasta los respectivos tanques que lo almacenarán para futuros requerimientos. Para la realizar la mezcla de gasolina con etanol, la línea de salida a este proceso esta direccionada al blending skid para su uso.

#### **3.1.2 Área de almacenamiento y transporte de gasolina extra**

Esta sección comprende el transporte desde el tanque de gasolina extra hasta la entrada al blending skid pasando por una bomba.

#### **3.1.3 Área de mezclado.**

En esta área se unifican ambas líneas, de gasolina extra y etanol, donde a continuación se mediante un juego de válvulas se mezclan ambos fluidos.

### 3.2 Tubería

A continuación, se presenta la lista de materiales utilizados para cada línea de tubería en la planta.

**Tabla 1.** Lista de materiales y descripción de las líneas de tubería.

<b>Lista de Materiales</b>			
<b>Línea</b>	<b>Diam. [inches]</b>	<b>Cant. [m]</b>	<b>Descripción</b>
<b>4"-A-ET-001</b>	4	5,4	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>4"-A-ET-002A</b>	4	60,235	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>4"-A-ET-002</b>	4	3,8	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>4"-A-ET-003</b>	4	3	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>4"-A-ET-004</b>	4	2,5	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>4"-A-ET-005</b>	4	1,7	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>4"-A-ET-004A</b>	4	53,1	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>3"-A-ET-006A</b>	3	0,5	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>3"-A-ET-006B</b>	3	0,5	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>3"-A-ET-007A</b>	3	0,9	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>3"-A-ET-007B</b>	3	0,9	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>3"-A-ET-007</b>	3	32,1	TUBERIA, CEDULA 40, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>2"-A-ET-008B</b>	2	35,1	TUBERIA, CEDULA 80, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA
<b>2"-A-ET-008B</b>	2	35,3	TUBERIA, CEDULA 80, ASTM-A106 GR B O API-5L SIN COSTURA

Cada línea de tubería ha sido diseñada bajo las siguientes condiciones generales de presión y temperatura que se muestran en la tabla siguiente. Las condiciones de operación se refieren a la temperatura promedio a la cual se está trabajando, mientras que las condiciones de diseño hacen referencia a la presión con la que ha sido diseñado este proceso. Es necesario resaltar que tanto estas condiciones de operación y diseño están relacionadas con las bombas seleccionadas para su operación, siendo de esta forma la presión de diseño la presión máxima que las bombas respectivas para cada línea puedan operar.

**Tabla 2.** Condiciones generales de diseño.

<b>CONDICIONES GENERALES</b>							<b>Tolerancia a Corrosión</b>
<b>SERV.</b>	<b>ESP</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>		<b>PRESIÓN [Barg]</b>			
		<b>Operación</b>	<b>Diseño</b>	<b>Operación</b>	<b>Diseño</b>	<b>Hidrost.</b>	
<i>Líneas: 4"-A-ET-001,001A,001B</i>							1/8"
ET	A	30	60	1,013	3,447	5,171	
<i>Líneas: 4"-A-ET-002,002A,003</i>							
<i>Líneas: 4"-A-ET-002,002A,003</i>							1/8"
ET	A	30	60	4,137	6,205	9,307	
<i>Líneas: 4"-A-ET-004,004A,005</i>							
<i>Líneas: 4"-A-ET-004,004A,005</i>							1/8"
ET	A	30	60	0,345	0,517	0,775	
<i>Líneas: 3"-A-ET-006A,006B</i>							
<i>Líneas: 3"-A-ET-006A,006B</i>							1/8"
ET	A	30	60	0,345	0,517	0,775	
<i>Líneas: 3"-A-ET-007,007A,007B,008A,008B</i>							
<i>Líneas: 3"-A-ET-007,007A,007B,008A,008B</i>							1/8"
ET	A	30	60	4,826	7,239	10,85	
<i>Líneas: 3"-A-ET-007,007A,007B,008A,008B</i>							
<b>SERV.</b>	<b>ESP</b>	<b>TEMPERATURA [°C]</b>		<b>PRESIÓN [Barg]</b>			<b>Tolerancia a Corrosión</b>

		Operación	Diseño	Operación	Diseño	Hidrost.	1/8"
ET	A	30	60	4,826	7,239	10,85	
<i>Líneas: 3"-A-GAS-002,003</i>							<b>Tolerancia a Corrosión</b>
SERV.	ESP	TEMPERATURA [°C]		PRESIÓN [Barg]			
		Operación	Diseño	Operación	Diseño	Hidrost.	1/8"
GF	A	30	60	4,826	7,239	10,85	
<i>Líneas: 6"-A-GAS-001,003</i>							<b>Tolerancia a Corrosión</b>
SERV.	ESP	TEMPERATURA [°C]		PRESIÓN [Barg]			
		Operación	Diseño	Operación	Diseño	Hidrost.	1/8"
GF	A	30	60	4,826	7,239	10,85	

### 3.3 Bombas

Las bombas que se encuentran instaladas en la planta se detallan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Lista de bombas en operación.

Bombas	Líneas	Pump Size	Presión. Altura diferencial [m]	Caudal [US gpm]
Bomba vertical de sumidero	4"-A-ET-002A	4x3x12	35	600
Bomba horizontal	3"-A-ET-006A	3x1.5x9.75	40	100
	3"-A-ET-006B	3x1.5x9.75		
Bomba Horizontal	6"-A-GAS-001	6x4x19	65,53	700
	6"-A-GAS-003	6x4x19		

Una descripción más detallada de estas bombas se encuentra en el anexo A de este trabajo, donde se podrá ubicar sus respectivas curvas características junto con sus dimensiones. Las siguientes imágenes muestran cómo se encuentran ubicadas en la planta.



**Figura 13** Bomba vertical en la cisterna, bomba 4x3x12.



**Figura 14** Bombas horizontales de transporte de etanol, bomba 3x1,5x9,5.



**Figura 15.** Bombas horizontales de transporte de gasolina extra, bomba 6x4x19.



### 3.4 Fluidos

Dentro de los fluidos con los que se trabaja en esta planta se tiene:

- Gasolina extra
- Etanol

Las propiedades de ambos fluidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Propiedades de los fluidos utilizados en la planta.

	Temperatura [°C]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosidad [Centipoise]	Presión de vapor [kPa]	Estado
<b>Gasolina</b>	60	719	0,292	55,1	Líquido
<b>Etanol</b>	60	789	1,19	7,9	Líquido

### 3.5 Tanques

La planta de mezcla de gasolina con etanol cuenta con dos tanques para almacenar etanol y un tercero para almacenar gasolina extra. El tanque que se encarga del almacenamiento de etanol es un tanque vertical con techo flotante que cuenta con un domo geodésico. Por otra parte, el tanque orientado al almacenamiento de gasolina extra es un tanque esférico.



**Figura 16.** Tanques de etanol.



**Figura 17.** Tanque de gasolina extra.

## 4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES


### 4.1 Selección de tubería y accesorios

Para iniciar el proceso de diseño de tubería es necesario considerar los parámetros especificados en la Tabla 6 como base. Adicionalmente, como parte fundamental de un diseño siempre hay que tener en cuenta la filosofía de diseño que cada empresa tiene, es por esto que para este caso nos basaremos en un Piping-Class delineado por Petro-Amazonas, el cual nos permitirá estar direccionados de acuerdo a sus normativas de selección de materiales y trabajo. Un Piping-Class es un documento que integra todos los requerimientos que deben cumplir tuberías, accesorios, empacaduras, pernos y válvulas que conforman el sistema de tubería. Estas especificaciones de materiales están basadas en normas tales como: API, ANSI, ASME, ASTM, MSS, NAC, PIP.

#### 4.1.1 Selección de tubería

Como se pudo observar en la tabla 6, dentro de las consideraciones de presión se tiene la mayor presión a 10 barg con una temperatura máxima de 60 °C. Conociendo estos datos y con un enfoque en la presión la clase ANSI 150# CS, RF, la cual soporta hasta una presión máxima de 285 PSIG (19,65 barg) a una temperatura máxima de 100 °F

(37,78 °C), se muestra como la más adecuada para la seleccionarla como directriz para la selección de tuberías e instrumentación.

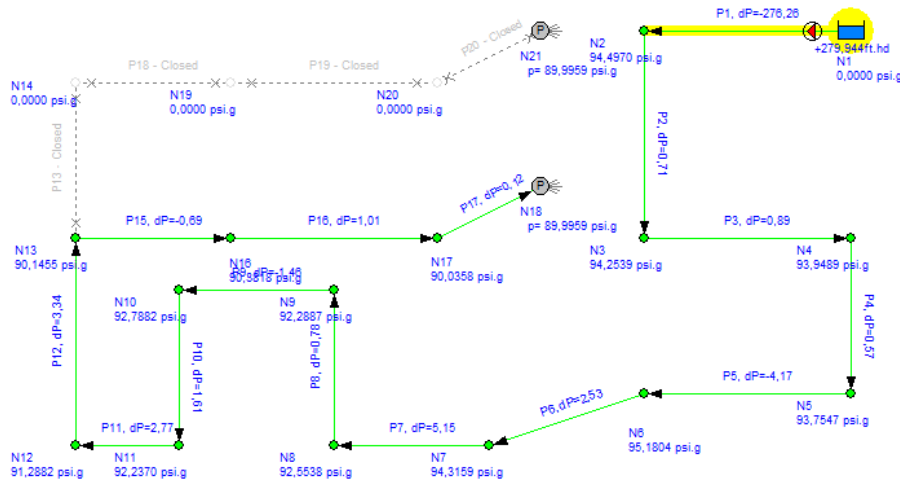
CLASS: ANSI 150# CS, RF		SERVICE: C, DO, DRG, DRP, F, G, GAS, GD, GF, GLP, GP, HM, LO, OD, OFR, OHR, OHS, OL, OP, OR, OW, WFL, WHR, WP, WR, WS, WW													
SIZE	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	6	8	10	12	16	20	24	
PIPE	SCH 160			SCH 80			STD								
	THD			BE, SMLS											
FLANGES	ASTM-A106 GR B			ASTM-A106 GR B, API-5L GR B											
	150# RF			Flange Bore to Match Pipe Wall											
FITTINGS	THD			150# RF/FF, WN											
	3000#			ASTM-A105											
BRANCH (OLETS)	THD			Wall Thickness to Match Pipe											
	ASTM-A105			BW, SMLS											
VALVES	3000#			ASTM-A234 GR WPB											
	THD			SCH 80			STD								
GATE	CA1-1S			AA1-1R											
BALL	CA1-2S			AA1-2R											
PLUG	N/A														
GLOBE	CA1-4S			AA1-4R											
CHECK	CA1-5S			AA1-5R											
NEEDLE	DA1-6S DA1-6SFM			N/A											
BUTTERFLY	N/A			AA1-7RL, AA1-7RW											
FOOT	N/A			AA1-8F											
GAUGE	DA1-9S			N/A											
BOLTING (Note 3)	Bolts: ASTM-A193 GR B7, Fluorocarbon Coated									Threaded and dimensions per ASME B16.5					
GASKETS 	Nuts: ASTM-A194 GR 2H, Fluorocarbon Coated Heavy Hex Nuts														
	150# RF, Thk 1/8", 316 SS Spiral Wound, filler material: Flexible Graphite (FG) with CS outer ring (Flexitallic Style CG, Lamons Style WR, Garlock Style RW - ONLY USA. Carrara Style SWC - ONLY ITALY)											PRESS./TEMP. RATINGS °F PSIG REF. ASME B16.5			
NOTES: 1. Maximum design conditions: 250 °F - 245 PSIG (Group 1.1) 2. Piping 1 1/2" or smaller subject to vibration or pulsation shall be SW or flanged 3. For Bolts dimensions, see ATTACHMENT G 4. For ANSI Pipe Schedules, see ATTACHMENT H											-20/100	285			
											200	260			
											250	245			

**Figura 18.** Especificación ANSI #150.

#### 4.1.2 Uso de Pipe Flow Expert en las redes de tuberías.

Con el fin mostrar como Pipe Flow Expert realiza sus cálculos, a continuación, se enseña una comparación de datos entre un cálculo de la altura de cabeza de presión de la bomba por este software y otro de manera analítica utilizando la ecuación de energía.

Para la primera parte se utiliza la siguiente red de tubería en Pipe Flow para compararla con un cálculo analítico. Estos cálculos buscan calcular la cabeza de presión una bomba bajo un caudal de 600 US gpm para satisfacer una presión de 89,99 psi.g la cuál es la presión de diseño especificada por la planta para el transporte de la cisterna a un tanque de etanol.



**Figura 19.** Línea de tubería calculada. Transporte de etanol hacia un tanque.

Pump Suction = -0,0042 bar.g  
 Pump Discharge = 7,5125 bar.g  
 Pump Head = 318,725 ft.hd  
 Pump NPSHa = 39,43 ft.hd

**Figura 20.** Resultados de la bomba obtenidos.

La cabeza de presión requerida para tener una presión de 89,99 psi.g a un caudal de 600 US gpm es de 318,725 ft (97,147 m). Por otra parte, se realiza el cálculo de la cabeza de la bomba utilizando la ecuación de la energía.

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_f + \sum h_m - h_p \quad (1)$$

Donde se conocen los siguientes datos, los mismos que se utilizaron para la simulación del análisis en el software. Los datos mostrados a continuación, son parte de la filosofía de diseño que otorga la planta.

$$Q = 600 \text{ US gpm}$$

$$v = 4,9868e-6 \text{ ft}^2/\text{s}$$

$$\epsilon = 0,00016$$

$$L = 200 \text{ ft}$$

$$P_2 = 89,9959 \text{ lbf/in}^2$$

Despejando la cabeza de la bomba de la ecuación (1) se obtiene que  $h_p$  es equivalente a la siguiente ecuación.

$$h_p = z_2 - z_1 + \frac{v^2}{2g} \left( \frac{fL}{d} + \sum K \right) + \frac{p_2}{\rho g} \quad (2)$$

Donde al reemplazar los datos y resolver la ecuación anterior se tiene una cabeza de bomba de:

$$h_p = 320,21 \text{ ft} = 97,6 \text{ m}$$

Finalmente se obtiene un porcentaje de error del 0,6% de un cálculo manual obtenido en relación con un cálculo en Pipe Flow Expert. En la red de transporte de fluido para este caso se ignora la división de tubería hacia otro tanque, a pesar de esto, la cabeza de presión requerida al realizar el cálculo en Pipe Flow Expert considerando esta división es de 96,19 m, como se indica en la tabla 9, que se presenta al momento de calcular la altura de cabeza de esta bomba bajo las condiciones de diseño.

#### 4.1.3 Cálculo de presión

Tomando en cuenta las presiones máximas de diseño, a continuación, se realiza un esquema de las líneas de tuberías presentes en las distintas partes que conforman la planta. Este cálculo de presión se basa en fijar el caudal nominal obtenido de las bombas seleccionadas en el diseño actual de la planta, y seguido ejecutar el mismo en el software Pipe Flow Expert. Este software nos permitirá observar las pérdidas de presión obtenidas en las líneas de tubería y la cabeza de presión necesaria que una bomba requiere para mantener dicho caudal nominal previamente especificado.

En cualquier sistema de tuberías, además de la pérdida de carga por fricción a lo largo de aquéllas, existen pérdidas menores debidas a:

1. Entrada o salida de tuberías
2. Ensanchamiento o contracción brusca

3. Curvas, codos, <<tes>> y otros accesorios.
4. Válvulas, abiertas o parcialmente cerradas.
5. Ensanchamiento o contracciones graduales.

El software PipeFlowExpert, permite al usuario calcular dichas pérdidas contemplando tanto las menores, como las de fricción o cambio de sección de tubería. El orden en el que se presentará los cálculos de presión será el siguiente, donde se encuentran citados sus respectivos P&IDs para una mejor comprensión:

1. Transporte de etanol desde la cisterna al tanque (ECO-DWG-001)
2. Transporte de etanol desde los tanques de etanol hasta el blending-skid (ECO-DWG- 001)
3. Transporte de gasolina extra desde su tanque hasta el blending-skid (ECO-DWG-002).

A continuación, se presentarán los cálculos en donde se ingresan las mismas dimensiones de tuberías en el software PipeFlowExpert, adicional a esto se ingresan todos los demás componentes como codos, válvulas y demás que se presenten en las mismas redes de tubería. Antes de correr el programa se necesita especificar el material de las tuberías, el cual ya está especificado en la tabla 5, y el fluido que se utilizará en las mismas.

The screenshot shows the 'Pipe: 1' configuration window in PipeFlowExpert. The parameters are as follows:

Parameter	Value	Unit	Include
Name	P1		<input checked="" type="checkbox"/>
Length	2065,000	mm	<input type="checkbox"/>
Internal Diameter	4,026	inch	<input checked="" type="checkbox"/>
Roughness	0,001811	inch	<input type="checkbox"/>
Material	Steel		<input type="checkbox"/>
Sch.	Sch. 40		<input type="checkbox"/>
Notes			<input type="checkbox"/>

Additional options visible include 'Nom: 4"', 'Diam?' (with a yellow box), and 'Material' (with a yellow box). A 'More...' button is located at the bottom right.

**Figura 21.** Ejemplo de parámetros de tubería.

Fittings on: P1, Steel (ANSI), 3" ,ID=3,068 inch							( Pipe Id: 1 )	
Symbol	Type	Metric	Imperial	Description	K value	Qty	Position	
	LB	80 mm	3"	Long Bend	0,2800	6	Start of Pipe	
	SwCh	80 mm	3"	Swing Check Valve	2,2000	1	Start of Pipe	
	Gate	80 mm	3"	Gate Valve	0,1400	1	Start of Pipe	
	LB	80 mm	3"	Long Bend	0,2800	6	End of Pipe	
	SwCh	80 mm	3"	Swing Check Valve	2,2000	1	End of Pipe	

Total K = 7,90

Save

Clear

Cancel

Figura 22. Ejemplo de selección de instrumentación.

Fluid properties:							
Name	Formula	Temperature °F	Pressure psi g	Density lb/ft³	Viscosity Centipoise	Vapour Press. psi (abs)	State
Ethyl alcohol (Ethanol)	C2 H6 O	68,000	0,000000	49,255661	1,190000	1,145798	Liquid

Cancel

Save

Fluid Properties Database:								Transfer Selected Fluid
Name	Formula	Temperature °F	Pressure psi g	Density lb/ft³	Viscosity Centipoise	Vapour Press. psi (abs)	State	
Aniline	C6 H7 N	68,000	0,000000	63,801376	4,565000	0,058015	Liquid	
Benzene	C6 H6	68,000	0,000000	54,874177	0,654000	1,464881	Liquid	
Benzyl alcohol	C7 H8 O	68,000	0,000000	65,172044	6,529000	0,001160	Liquid	
Bromine	Br	68,000	0,000000	193,526678	0,997000	3,383731	Liquid	
Butanoic acid	C4 H8 O2	68,000	0,000000	59,798370	1,554000	0,097175	Liquid	
Butyl acetate	C6 H12 O2	68,000	0,000000	55,021882	0,737000	0,266869	Liquid	
Butyl alcohol (1-butanol)	C4 H10 O	68,000	0,000000	50,631323	2,971000	0,089923	Liquid	
Butylbenzene	C10 H14	68,000	0,000000	53,686361	1,025000	0,198702	Liquid	
Carbon disulphide	C S2	68,000	0,000000	80,719353	0,366000	2,030528	Liquid	
Carbon tetrachloride	C Cl4	68,000	0,000000	101,882432	0,979000	1,740453	Liquid	
Castor oil	N/A	59,000	0,000000	60,555122	873,000000	N/A	Liquid	
Chloroform	C H Cl3	68,000	0,000000	93,017661	0,567000	3,074510	Liquid	
Coconut oil	N/A	68,000	0,000000	56,871872	80,000000	N/A	Liquid	
Corn oil	N/A	68,000	0,000000	57,558580	71,400000	N/A	Liquid	
Cottonseed oil	N/A	68,000	0,000000	58,058003	60,000000	0,099931	Liquid	
Cyclohexane	C6 H12	68,000	0,000000	48,608283	0,962000	1,526667	Liquid	
Decane	C10 H22	68,000	0,000000	45,598007	0,913000	0,024656	Liquid	
Dodecane	C12 H26	68,000	0,000000	46,786011	1,489000	0,005802	Liquid	

Metric Imperial

Liquids

Gases

Add New Fluid

Remove Fluid

Figura 23. Ejemplo de selección del fluido.

Una vez establecidos todos los parámetros en cada línea de tubería, se procede a armar las redes de tubería para realizar los cálculos de presión. Esto se muestra en las siguientes secciones.

#### 4.1.4 Transporte de etanol desde la cisterna al tanque.

Las siguientes figuras 19 y 20 muestran el diagrama de tubería que se considera previo al cálculo. Este diagrama de tubería es realizado en base a los planos isométricos de la planta. Es necesario resaltar que el diagrama no representa las longitudes reales de la planta, sino más bien solo representa un arreglo que permite observar de manera más arreglada la red de tuberías. Esto debido a que, al momento de graficar cada línea que representa una tubería, los datos que se ingresan de dimensiones, materiales y de más

propiedades no están relacionados con las longitudes que se dibujan en la pantalla, con el motivo de alivianar la pantalla de cálculo y tener un interfaz más amigable para el usuario.

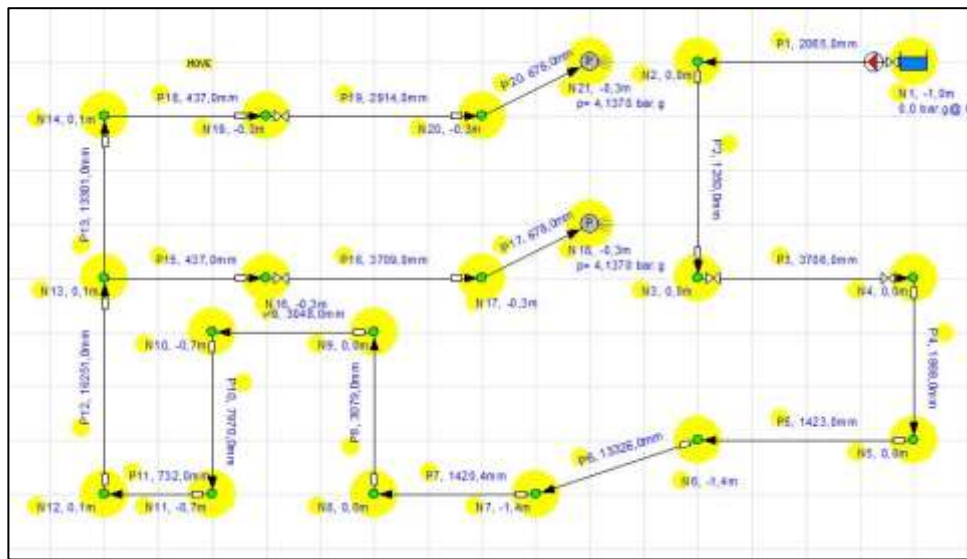


Figura 24. Diseño red de tubería Parte 4.1.4.

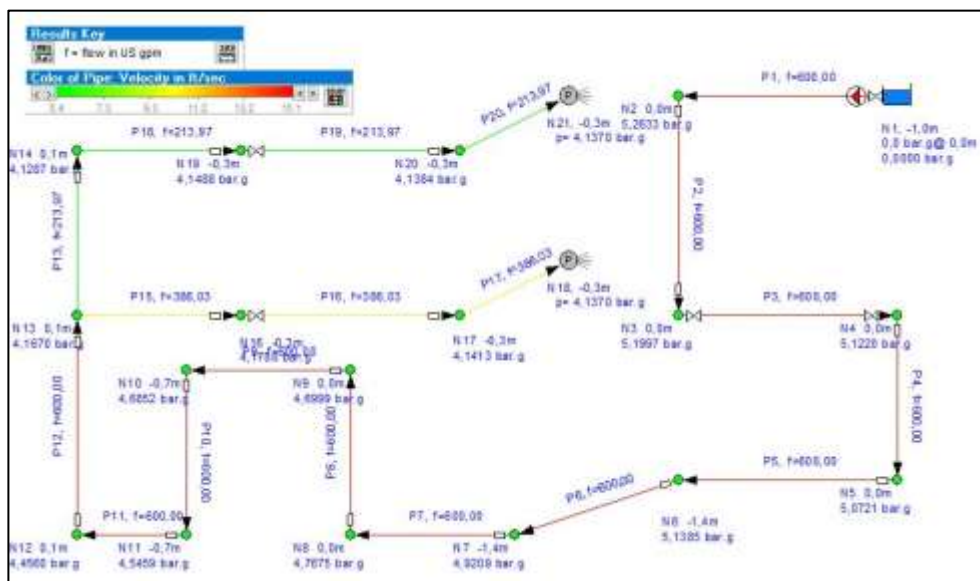


Figura 25. Cálculo red de tubería Parte 4.1.4.



**Tabla 5.** Resultados cálculo de presión Parte 4.1.4.

Pipe Name	Length	Mass Flow	Vol Flow	Velocity	Friction Loss	Pump Head(+)	Entry Pressure	Exit Pressure
	mm	lb/sec	US gpm	ft/sec	ft.hd	ft.hd	bar.g	bar.g
P17	678	42,363	386,03	9,729	0,18	227,914	4,1413	4,137
P20	678	23,481	213,97	5,393	0,06		4,1384	4,137

En los resultados de la tabla 5, la parte señalada con rojo muestra los valores de la tubería que abastece a los tanques de almacenamiento.

#### 4.1.5 Transporte de etanol desde los tanques de etanol hasta el blending-skid

Esta parte de los cálculos contempla el transporte de etanol desde los tanques hacia el área de mezcla. En esta parte según los planos isométricos de la planta real, los cuales se presentan al final en el anexo de este documento, existen dos bombas las cuales actúan en paralelo con el fin de aumentar el caudal que ofrecen las bombas.



Figura 26. Diseño red de tubería 4.1.5.

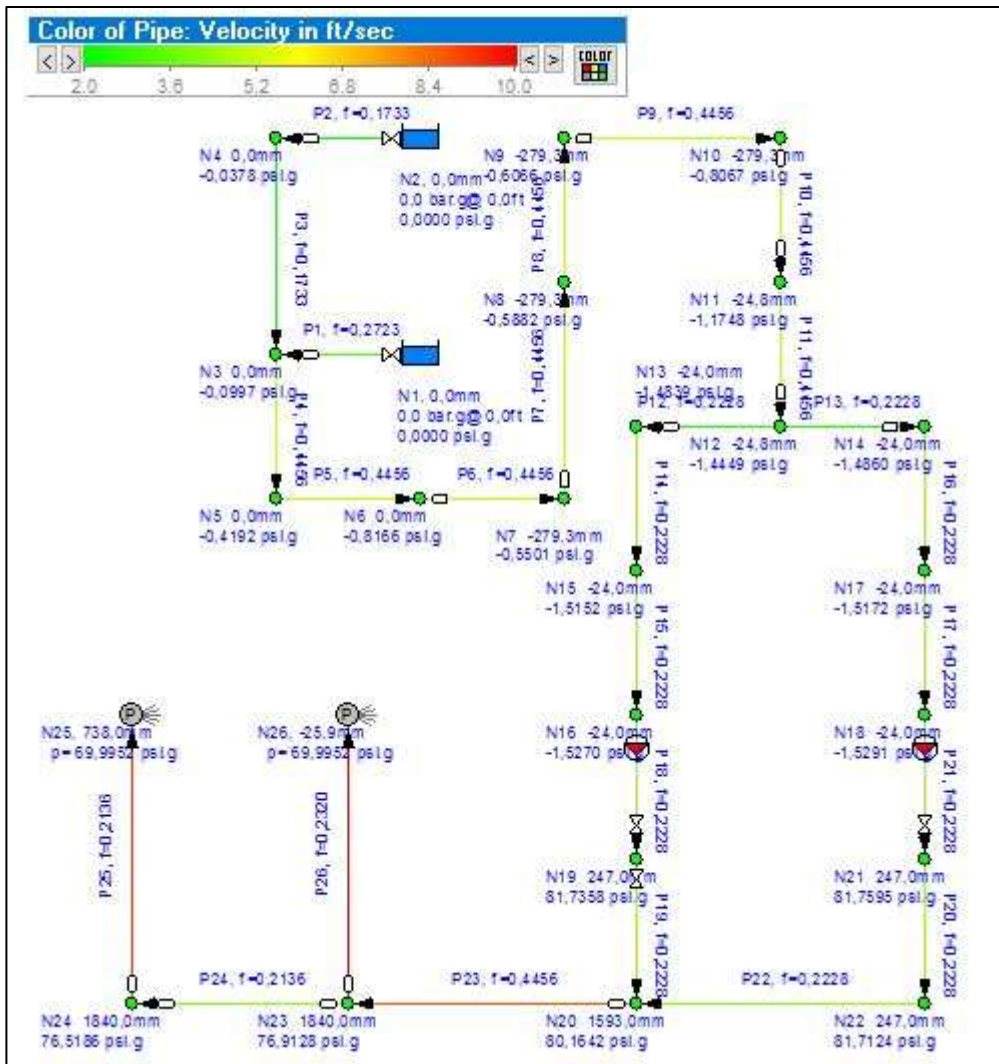


Figura 27. Cálculo red de tubería Parte 4.1.5.

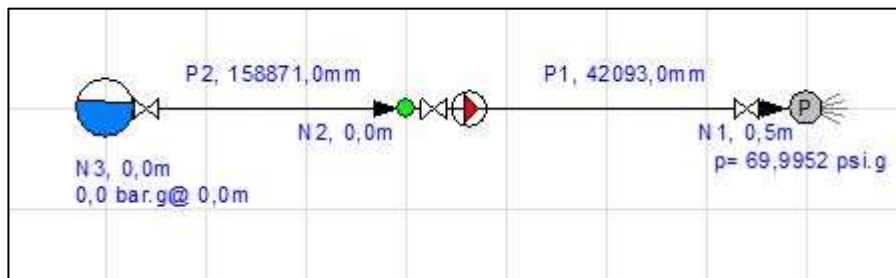
Tabla 6. Resultados cálculo de presión Parte 4.1.5.

Pipe Name	Length	Mass Flow	Vol Flow	Velocity	Friction Loss	Pump Head(+)	Entry Pressure	Exit Pressure
	mm	lb/sec	ft³/sec	ft/sec	ft.hd	ft.hd	psi.g	psi.g
P25-2"	35342	10,5201	0,2136	9,165	19,16	245,051	76,5186	69,9952
P26-2"	36423	11,4283	0,232	9,957	23,11		76,9128	69,9952

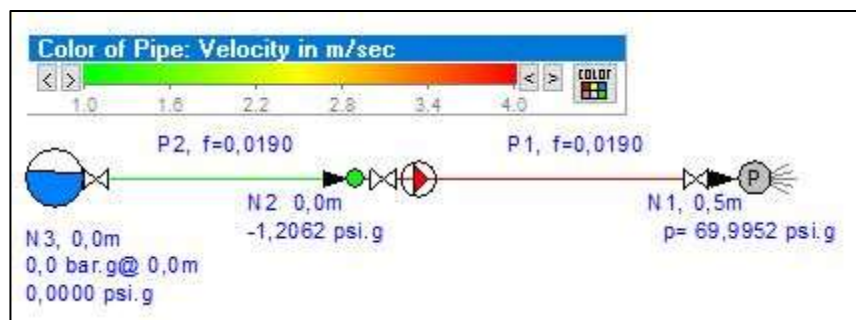
En los resultados de la tabla 6, la parte señalada con rojo muestra los valores de la tubería que abastece al blending skid.

#### 4.1.6 Transporte de gasolina extra desde su tanque hasta el blending-skid

Como se menciona antes, una línea de tubería en Pipe Flow Expert puede ser equivalente a varias líneas del mismo diámetro nominal con muchos accesorios. Por este motivo, para esta parte de los cálculos el diagrama que representa la red de tuberías de transporte de gasolina desde el tanque hacia el área de mezcla se ve simplificado ya que su organización lógica es la misma que la realidad.



**Figura 28.** Diseño red de tubería Parte 4.1.6.



**Figura 29.** Cálculo red de tubería Parte 4.1.6.

**Tabla 7.** Resultados cálculos Parte 4.1.6.

Pipe Name	Length	Mass Flow	Vol Flow	Velocity	Friction Loss	Pump Head(+)	Entry Pressure	Exit Pressure
	mm	kg/sec	m <sup>3</sup> /sec	m/sec	m.hd	m.hd	psi.g	psi.g
<b>P1-3"</b>	<b>42093</b>	<b>13,6617</b>	<b>0,019</b>	<b>3,984</b>	<b>7,827</b>	84,374	-1,2062	<b>69,9952</b>
P2-6"	158871	13,6617	0,019	1,019	0,906		0	-1,2062

En los resultados de la tabla 7, la parte señalada con rojo muestra los valores de la tubería que abastece al blending skid.

Las cabezas de presión de los cálculos muestran la cantidad de cabeza de la bomba que debe ser empleada en una la red de tubería para mantener una presión nominal necesaria de operación. Sin embargo, las cabezas de presión calculadas son mayores que las que ofrecen las actuales bombas ubicadas en la planta de mezclado, es decir, las bombas no logran mantener la presión de operación que la planta requiere. Es por este motivo que será necesario una selección de nuevas bombas que logren cumplir con los requerimientos necesarios de presión. En la tabla 12 se puede observar un resumen de esto.

**Tabla 8.** Alturas de cabeza requeridas para mantener la presión de operación.

<b>Bombas</b>	<b>Altura de cabeza [m]</b>	<b>Altura de cabeza calculada [m]</b>
Bomba vertical de sumidero (P-ET)	35	69,5
Bomba horizontal (P-ET)	40	74,7
Bomba horizontal (P-ET)	65,53	84,37

## 4.2 Selección de bombas

Dado que estos datos obtenidos, en la tabla 12, de altura de cabeza de presión no cumplen con los necesarios para las condiciones de presión de operación citados en la tabla 6, tampoco las bombas cumplirán para la presión de diseño especificada en esa misma tabla. Es por este motivo que para esta selección de bombas se utilizará la presión de diseño propuesta por la tabla 6, la misma que es mayor a la de operación. Esto con fines de poder encontrar una bomba que cumpla con la demanda especificada por parte de los requerimientos de la planta. En la tabla 14 se muestran los datos con los que se buscará una bomba que cumpla con estos requerimientos de diseño.

**Tabla 9.** Requerimientos para selección de nuevas bombas.

<b>Características</b>	<b>Presión de diseño [bar. g]</b>	<b>Altura de cabeza necesaria [m]</b>
Bomba vertical de sumidero (P-ET)	6,205	96,19
Bomba horizontal (P-ET)	7,239	102,77
*Bomba Horizontal (P-GAS)	7,239	37,77

A continuación, para realizar la respectiva selección de bombas tomando en cuenta los datos de la Tabla 14 se utiliza PUMP-FLO.com. Esta página ofrece un servicio de selección de bombas por reconocimiento de marca, tipo de bomba y aplicación en la cual se puede obtener cientos de catálogos de bombas en función a las especificaciones dadas. A continuación, se utilizarán tres diferentes marcas para encontrar la bomba adecuada, las marcas utilizadas son:

1. AnsiPro
2. Afton Pumps
3. Griswold

La mayoría de bombas de proceso en uso son centrífugas. La eficiencia de la bomba tiene un lugar prominente entre los factores que se deben considerar. En un esfuerzo por reducir el costo inicial, a menudo se seleccionan bombas que no representan el diseño más eficiente para el servicio dado.

A continuación, la selección de bombas se la realiza en base a la eficiencia que cada bomba posee.

#### 4.2.1 Selección de bomba, Transporte de etanol desde la cisterna al tanque.

Para la línea de transporte desde la cisterna hasta los tanques, los distribuidores AnsiPro y Griswold sugieren la misma bomba, siendo la 4x3-10 A70 la que mejor eficiencia tiene.

**Tabla 10.** Lista de bombas adecuadas para la Parte 4.1.4

BOMBA 1 (P-ET)			
Características	AnsiPro	AftonPumps	Griswold
Tamaño	4x3-10 A70	3x4 - 11H	4x3-10 A70
Type	AP96- ANSI	ILVS	811-ANSI
Velocidad [rpm]	3560	3550	3560
Head [m]	97,8	97,8	96,31
Eff [%]	73,3	69,7	73
BEP [%]	73,3	70,8	73
NPSHr [m]	4,64	5,2	4,78
Potencia [kW]	34,7	39,52	36,8
Motor [kW]	45	44,74	44,74

#### 4.2.2 Selección de bombas, Transporte de etanol desde los tanques de etanol hasta el blending-skid.

De la misma manera que en la sección 5.1.7.1 las bombas sugeridas por AnsiPro y Griswold presentan ser las mejores opciones, ya que esta selección se basa en una mejor eficiencia para ofrecida por las bombas.

**Tabla 11.** Lista de bombas adecuadas para la Parte 4.1.5.

BOMBA 2 (P-ET)			
Características	AnsiPro	AftonPumps	Griswold
Tamaño	2x1-10 A05	2x3 - 9H	2x1-10 A05
Type	AP96- ANSI	ILVS	811-ANSI
Velocidad [rpm]	3560	3550	3560
Head [m]	103	104,24	103
Eff [%]	47,3	46,8	47,3
BEP [%]	50,1	65,1	50,1
NPSHr [m]	1,81	1,23	1,81
Potencia [kW]	10,2	10,44	10,2
Motor [kW]	15	22,37	15

#### 4.2.3 Selección de bombas, Transporte de gasolina extra desde su tanque hasta el blending-skid

Siendo la mayor eficiencia la de un 63%, se sugiere tomar una bomba 2x1-10 A05

**Tabla 12.** Lista de bombas adecuadas para la Parte 4.1.6.

BOMBA 3 (P-GAS)			
Características	AnsiPro	AftonPumps	Griswold
Tamaño	2x1-10 A05	2x3 - 9H	2x1-10 A05
Type	AP96- ANSI	ILVS	811-ANSI
Velocidad [rpm]	3560	3550	3560
Head [m]	126	104,24	96,31
Eff [%]	63,2	46,8	73
BEP [%]	73,5	65,1	73
NPSHr [m]	3,09	1,23	4,78
Potencia [kW]	33,5	10,44	36,8
Motor [kW]	55	22,37	44,74



## 4.3 Diseño del tanque de almacenamiento

### 4.3.1 Selección de norma

Previo al diseño del tanque se debe elegir con que norma se debe trabajar en base al diseño del tanque que se implementará. Entre las principales normas que se utilizan para diseño de tanques se tiene la API 650, API 620 y ASME VIII, siendo las mismas utilizadas para tanques atmosféricos, tanques de almacenamiento criogénico y tanques que están sometidos a presiones internas respectivamente. Para la finalidad de este diseño, denotar los parámetros importantes de un tanque de techo flotante con domo geodésico se utiliza la API 650.

### 4.3.2 Dimensionamiento según la capacidad del tanque

Para el diseño de este tipo de tanques se debe tener muy en cuenta condiciones que son de mucha importancia para el diseño las cuales constan en el estándar API 650 tales como:

- Temperatura máxima de operación 93 °C o 200F. (API-650, 2013)
- Presión externa de diseño 0.25 kPa. (API-650, 2013)
- Presión interna máxima para tanques cerrados indicada en el apéndice F del estándar API 650, no mayor a 18 kPa.

De acuerdo al diámetro del tanque la norma especifica un espesor mínimo nominal

**Tabla 13.** Requerimientos mínimos para el espesor de una plancha, API 650.

Diámetro nominal del tanque		Espesor nominal de la plancha	
[m]	[ft]	[mm]	[in]
<15	<50	5	3/16
De 15 a <36	De 50 a <120	6	1/4
De 36 a <60	De 120 a <200	8	5/16
60	200	10	3/8

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11
Tank Diameter ft	Capacity per ft of Height barrels	Tank Height (ft) / Number of Courses in Completed Tank								
		12 / 2	18 / 3	24 / 4	30 / 5	36 / 6	42 / 7	48 / 8	54 / 9	60 / 10
10	14.0	170	250	335	420	505	—	—	—	—
15	31.5	380	565	755	945	1,130	—	—	—	—
20	56.0	670	1,010	1,340	1,680	2,010	2,350	2,690	—	—
25	87.4	1,050	1,570	2,100	2,620	3,150	3,670	4,200	4,720	5,250
30	126	1,510	2,270	3,020	3,780	4,530	5,290	6,040	6,800	7,550

**Figura 30.** Medidas típicas y correspondientes a las capacidades nominales (barriles) para un tanque, tabla equivalente a Table A.1b en API 650.

Para un tanque de mil barriles se obtienen los siguientes datos:

**Tabla 14.** Dimensiones elegidas para el tanque.

Dimensiones	Sugerida API 650	Selección
Diámetro [ft]	20	21
Altura [ft]	18	20
Número de anillos	3	3
Alto de plancha [ft]	8	8

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11	Column 12
Tank Diameter ft	Tank Height (ft) / Number of Courses in Completed Tank										Maximum Allowable Height for Diameter <sup>a</sup> ft
	6 / 1	12 / 2	18 / 3	24 / 4	30 / 5	36 / 6	42 / 7	48 / 8	54 / 9	60 / 10	
10	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	—	—	—	—	—
15	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	—	—	—	—	—
20	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	—	—	—
25	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	0.20	0.22	—
30	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	3/16	0.21	0.24	0.26	—

**Figura 31.** Espesores para las placas del cuerpo del tanque para medidas típicas de tanques, tabla equivalente a Table A.2b- Shell-Plate thickness (in) en API 650.

Bajo la norma API 650, y el Anexo C, se calcula la capacidad del tanque del almacenamiento mediante la siguiente expresión (API-650, 2013).

$$C = 0,14 * D^2 * H \quad (3)$$

De la ecuación (3) tenemos:

$$C = 1008 \text{ Barriles}$$

Un volumen calculado de 1008 barriles es correspondiente al volumen nominal del tanque de 1000 barriles. Esta sobremedida puede justificarse en caso de un derrame en condiciones de operación. Hay que tener en cuenta que las dimensiones de la API-650 son sugeridas, y que está en el criterio del diseñador variar estas medidas por lo que en este diseño se le aumenta el diámetro por 1 pie y la altura por 2 ft lo cual nos da como resultado:

$$C = 1234,8 \text{ Barriles}$$

El aumentar estas dimensiones permite que el diseño sea confiable y seguro, garantizando evitar sobrellenados del tanque.

En la tabla anterior se recomendó utilizar tres anillos. Para las medidas de las planchas, se utilizará medidas comerciales de altura y longitud nominal de 2440 mm y 1200 mm respectivamente.

**Tabla 14** Lista de materiales admisibles para el diseño del tanque y sus propiedades.

M. 1	A - 36		M. 2	A - 283		M. 3	A - 573 - 70	
Esfuerzo admisible para la condición de diseño (Sd)								
<b>Sd1</b>	<b>23200</b>	Psi	<b>Sd2</b>	<b>20000</b>	Psi	<b>Sd3</b>	<b>28000</b>	Psi
<b>Sd1</b>	1.634,50	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	<b>Sd2</b>	1.409,05	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	<b>Sd3</b>	1.972,67	[Kg/cm <sup>2</sup> ]
Esfuerzo admisible para la condición de prueba hidrostática (St)								
<b>St1</b>	<b>24900</b>	Psi	<b>St2</b>	<b>22500</b>	Psi	<b>St3</b>	<b>30000</b>	Psi
<b>St1</b>	1.754,27	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	<b>St2</b>	1.585,18	[Kg/cm <sup>2</sup> ]	<b>St3</b>	2.113,58	[Kg/cm <sup>2</sup> ]

El material que se selecciona para las placas es A-36, ya que es un acero muy conocido. Las propiedades de este tipo de acero se resumen en la Tabla 14. (API-650, 2013).

#### 4.3.3 Diseño del cuerpo del tanque por el método de punto fijo.

Este método se escogió debido a que es utilizado para tanques cuyo diámetro es menor a 60m (200ft). El método de punto fijo o de un pie, calcula el espesor en puntos

de diseño que se encuentran a un pie sobre el borde inferior de cada anillo que conforma el cuerpo del tanque.

#### 4.3.3.1 Cálculo de anillos.

Según el literal 5,6,3,2 de la norma API 650 se determina el espesor del primer anillo mediante las siguientes ecuaciones:

Por diseño:

$$t_d = \frac{2.6 * D * (H-1) * G}{s_d} + CA \quad (4)$$

Por prueba hidrostática:

$$t_t = \frac{2.6 * D * (H-1)}{s_t} \quad (5)$$

En el cálculo de anillos, se calcula el espesor de las planchas en base a una columna del fluido que se usa para el cálculo por diseño, mientras que para el cálculo por prueba hidrostática se supone una columna de agua. Una vez calculados estos datos la API 650 sugiere elegir el mayor valor que proporcionen estas ecuaciones.

Los datos para el cálculo de los anillos son los siguientes:

**Tabla 15.** Dimensiones calculadas para el tanque.

Diámetro nominal del tanque	D	<b>21,00 ft</b>	6.400,80 mm
Altura nominal	H'	<b>20,00 ft</b>	5.486,40 mm
Diseño máximo del nivel de líquido (For design Shell thickness)	Hd	<b>20,00 ft</b>	5.486,40 mm
Diseño máximo del nivel de líquido (For hydrostatic test shell thickness)	Hh	<b>20,00 ft</b>	5.486,40 mm
Capacidad geométrica	----	1.234,8 BLS	176,54 m3
Gravedad específica del líquido almacenado	G	<b>0,789</b>	----
Prueba hidrostática, gravedad específica	GH	<b>1,000</b>	----
Corrosión admisible	CA	<b>0,063</b>	1,5

Una vez calculados los espesores por diseño y prueba hidrostática según las ecuaciones (4) y (5) se procede a tomar el valor mínimo especificado por la tabla 13 más un factor corrosivo, siendo el valor que se toma de 6,35 mm. Esto ya que los valores de  $t_d$  y  $t_t$  de la tabla 16 no superan los requerimientos mínimos especificados por la API 650, detallados en la tabla 13 de este documento.

**Tabla 16.** Valores de los espesores admisibles para los anillos calculados.

ACERO A36 $S_d=23.000$ psi $S_t=24.900$ psi								
Anillo	Altura	Espesor calculado $t_d$		Espesor calculado $t_t$		Espesor seleccionado		Peso del anillo
	[ft]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[kg]
1	8	0,15	3,89	0,04	1,01	1/4	6,35	2448,000
2	8	0,13	3,52	0,022	0,58	1/4	6,35	2448,000
3	4	0,12	3,14	0,007	0,16	1/4	6,35	1220,000

#### 4.3.4 Diseño del fondo del tanque

En la tabla se muestra el espesor mínimo a considerar para las láminas del fondo del tanque. Se considera el esfuerzo de prueba hidrostática y el espesor del primer anillo. Estos espesores consideran que tipo de planchas se ubicarán sobre una base de hormigón uniforme previamente construido bajo los parámetros de diseño de la API 650.

Plate Thickness <sup>a</sup> of First Shell Course (in.)	Stress <sup>b</sup> in First Shell Course (lb/in. <sup>2</sup> )			
	≤ 27,000	≤ 30,000	≤ 32,000	≤ 36,000
$t \leq 0.75$	0.236	0.236	$\frac{9}{32}$	$\frac{11}{32}$
$0.75 < t \leq 1.00$	0.236	$\frac{9}{32}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$
$1.00 < t \leq 1.25$	0.236	$\frac{11}{32}$	$\frac{15}{32}$	$\frac{9}{16}$
$1.25 < t \leq 1.50$	$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{11}{16}$
$1.50 < t \leq 1.75$	$\frac{11}{32}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$

<sup>a</sup> Plate thickness refers to the corroded shell plate thickness for product design and nominal thickness for hydrostatic test design.

<sup>b</sup> The stress to be used is the maximum stress in the first shell course (greater of product or hydrostatic test stress). The stress may be determined using the required thickness divided by the thickness from "a" then multiplied by the applicable allowable stress:

Product Stress =  $(t_d - C.A / \text{corroded } t) (S_d)$

Hydrostatic Test Stress =  $(t_r / \text{nominal } t) (S_r)$

NOTE The thicknesses specified in the table, as well as the width specified in 5.5.2, are based on the foundation providing uniform support under the full width of the annular plate. Unless the foundation is properly compacted, particularly at the inside of a concrete ringwall, settlement will produce additional stresses in the annular plate.

**Figura 32.** Espesor de las placas anulares del fondo del tanque, equivalente a la tabla 5.1b en la API 650.

Tomando el valor de esfuerzo de prueba hidrostática del acero A-36 de la tabla 20 y que el espesor de diseño del primer anillo es de 0,25 pulgadas, se tiene que el espesor mínimo de diseño será de 0,236 pulgadas (5,99 milímetros) en base a la figura 32. Adicionalmente, para contrarrestar efectos corrosivos que presentes en el fondo del tanque, principalmente porque ahí se depositan los sólidos del producto almacenado, provocando un mayor desgaste de la zona, se utiliza para diseño un espesor de 6.35 mm para las placas del fondo.

Las dimensiones nominales de las láminas serán de 1200x2400x6.35mm, las cuales serán distribuidas simétricamente en base a ejes coordenados con respecto a la circunferencia del piso. Para esto se buscará utilizar la mínima cantidad de planchas para conformar el piso en su distribución.

De acuerdo a la parte 5.4.4 los fondos de los tanques deberán tener una pendiente mínima de 1:120 hacia el centro del tanque.

Otra consideración importante de la norma API 650, en el literal 5.4.2, dice que, para el fondo del tanque, es que se debe considerar formar una ceja de 50 mm (2 pulgadas) como mínimo desde el filo del fondo de tanque hacia afuera.

Esta ceja debe ser conformada alrededor del perímetro del tanque, la cual servirá posteriormente para perforar orificios que permitan colocar pernos de anclaje para la fijación del tanque en su respectiva base de hormigón.

**Tabla 17.. Dimensiones del diseño del fondo del tanque.**

<b>Dimensiones para las planchas de fondo según la API 650</b>			
<b>Part</b>	<b>Descripción</b>	<b>[in]</b>	<b>[mm]</b>
5.4.1	Espesor mínimo	1/4	6
5.4.1	Espesor por corrosión	1/8	3
-	Espesor para la plancha de fondo seleccionado	3/8	6.35
5.1.3-5	Ancho mínimo de traslape	1	25
5.4.1	Ancho mínimo de plancha	72	1800
5.4.2	Ancho proyectado fuera del cuerpo	2	50

#### 4.3.5 Parámetros a considerar para el techo de domo geodésico.

Los requerimientos que deben cumplir techos auto soportados tipo domo, están recomendados en la parte 5.10.6 de la API 650.

$$\text{Radio mínimo} = 0.8 * D \quad (6)$$

$$\text{Radio máximo} = 1.2 * D \quad (7)$$

$$\text{Espesor mínimo} = \frac{r_r}{2.4} \sqrt{\frac{T}{2.2}} + CA \quad (8)$$

$$\text{Espesor máximo} = \frac{r_r}{2.4} \sqrt{\frac{U}{2.2}} + CA \quad (9)$$

#### 4.3.6 Estabilidad de volteo por carga de viento

Para este caso se tiene una velocidad de 9 m/s (20mph), velocidad que debe ser multiplicada por dos para fines de diseño según lo cita la API650.

La presión ejercida por elEl detalle de las variables calculadas a continuación se presenta en el Anexo 1.

$$P = 0.00256 * Kz * Kzt * Kd * V^2 * I * G \quad (10)$$

$$P = 3.44 \text{ lb/ft}^2$$

$$W_f = \left(\frac{V}{120}\right)^2 \quad (11)$$

$$W_f = 0.11$$

$$P_w = W_f * P \quad (12)$$

$$P_w = 0.38 \text{ lb/ft}^2$$

Una vez calculada la presión ejercida por el viento, de la Ecuación 1, se calcula las presiones ejercidas en el cilindro y el techo tal como recomienda la parte 5.2.1. k) 1)

- Presión de viento en el cilindro:

$$P_{ws} = \left(\frac{18\text{lb}}{\text{ft}^2}\right) * \left(\frac{V}{120}\right)^2 \quad (13)$$

$$P_{ws} = 2 \text{ lb/ft}^2$$

- Presión de viento en el techo:

$$P_{wr} = \left(\frac{30\text{lb}}{\text{ft}^2}\right) * \left(\frac{V}{120}\right)^2 \quad (14)$$

$$P_{wr} = 3.33 \text{ lb/ft}^2$$

La presión mayor de diseño por viento, no tiene que pasar 1.6 veces la presión determinada  $P_i$  (presión interna de diseño), determinado en el ítem 5.2.1.c de la norma que para este caso es 2.5 lb/ft<sup>2</sup> (API-650, 2013).

$$P_{v2} < (1.6 * P_i) \quad (15)$$

$$3.33 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} < 4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

Con esto se comprueba que el diseño del tanque y las condiciones externas bajo las cuales estará operando son seguras bajo la garantía de la API 650.



A continuación, se busca comprobar si es necesario que el tanque sea mecánicamente anclado debido a condiciones de viento. Para esto el tanque debe cumplir tres criterios importantes que garantizan que no habrá un volteo por viento, estas condiciones son las siguientes:

$$0.6M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1.5} + M_{DLR} \quad (16)$$

$$M_w + F_p * M_{pi} < \left( \frac{M_{DL} + M_F}{2} \right) + M_{DLR} \quad (17)$$

$$M_{ws} + F_p * M_{pi} < \left( \frac{M_{DL}}{1.5} \right) + M_{DLR} \quad (18)$$

En el cálculo de las fuerzas que ejerce el viento en el tanque se debe tener en cuenta la siguiente notación:

As Área proyectada del cuerpo:  $420 \text{ ft}^2$

Ar Área proyectada del techo:  $32.39 \text{ ft}^2$

Donde para el cálculo del área proyectada del techo se toma como radio para domo 1.2 veces el diámetro del tanque, el cual es la medida máxima de radio para un domo según la API 650, de esta forma el diseño garantizará más seguridad.

**Tabla 18.** Variables calculadas para las condiciones de volteo.

Variable No	Ecuación	Valor [lb. ft]
1	$M_w = (F_r * L_r + F_s * L_s)$	10805.055
2	$M_{ws} = (F_s * L_s)$	8400
3	$M_{pi} = \left( \frac{1}{4} * \pi * D^2 * P_i \right) * \frac{1}{2} * D$	0
4	$M_{DL} = 0.5 * D * W_{DL}$	127 290.35
5	$M_{DLR} = 0.5 * D * W_{DLr}$	38 377.605
6	$M_F = (W_l * \pi * D) * \frac{D}{2}$	980054.99

Una vez realizado todos estos cálculos se procede a ver si es tanque cumple las condiciones de la parte 5.11 de la API 150 para tanques no anclados

**Tabla 19.** Requerimientos para tanques no anclados.

Condición	Ecuaciones	Estado
1	$0.6M_w + M_{pi} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$	Cumple
	6483,033 ft.lb < 123237,84 ft.lb	
2	$M_w + F_p * M_{pi} < \left(\frac{M_{DL} + M_F}{2}\right) + M_{DLR}$	Cumple
	10805,055 ft.lb < 592050,275 ft.lb	
3	$M_{ws} + F_p * M_{pi} < \left(\frac{M_{DL}}{1,5}\right) + M_{DLR}$	Cumple
	8400 ft.lb < 123237,84 ft.lb	

Con estas 3 condiciones cumplidas de volteo por viento, se puede afirmar que el tanque no necesita ser anclado mecánicamente para este caso.

#### 4.3.7 Cálculo de diseño por carga de sismo

Para el diseño sísmico del tanque se necesita considerar el Apéndice E de la API 650. Este apéndice indica dos análisis principales comprobar la estabilidad al vuelco y el esfuerzo máximo en la base cortante.

La componente impulsiva es aquella que experimenta una aceleración y desplazamiento en el tanque, siendo la parte del líquido la cual se mueve como si fuera un sólido. Por otra parte, se tiene la componente convectiva la cual está libre para formar olas o un chapoteo en su superficie. La componente conectiva tiene una frecuencia natural mucho más grande que la componente impulsiva. En este caso el tanque se considera como un elemento rígido solo para la parte de su cuerpo. El diseño sísmico se aplica solo al cuerpo del tanque.

Los datos geométricos del lugar para el diseño sísmico son los siguientes:

Aceleración sísmica pico en la tierra	Sp=0.25g
Factor de importancia	I=1,5
Clase de sitio	C
Grupo sísmico	I

Las siguientes ecuaciones nos permitirán calcular los coeficientes de aceleración en la base y de velocidad en la base,  $F_a$  y  $F_v$  respectivamente.

$$S_s = 2.5 S_p \quad (19)$$

$$S_1 = 1.25 S_p \quad (20)$$

Para el cálculo del momento del tanque se considera la siguiente ecuación, establecida por el apéndice E.6.1.5 de la API 650, donde el cálculo detallado de sus variables se encuentra en el Anexo 1 de este documento.

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2} \quad (21)$$

A continuación, se muestra las ecuaciones utilizadas para el desarrollo del cálculo de momento del tanque de volteo que actúa en la base del perímetro del cuerpo del tanque.

**Tabla 20** Variables calculadas para  $M_{rw}$

Variable No.	Ecuación	Valor
1	$A_i = 2.5 * Q * F_a * S_o \left( \frac{I}{R_{wi}} \right)$	0,32 %g
2	$W_i = \left[ 1.0 - \frac{0.218D}{H} \right] * W_p$	1 170 231,29N
3	$X_i = \left[ 0.5 - 0.094 \frac{D}{H} \right] H$	2 445,45 mm
4	$W_s = W_{c1} + W_{c2} + W_{c3}$	61177 kg
5	$X_s = H/2$	3048 mm
6	$W_r = W_{roof} * 9,81$	5121 N
7	$X_r = H + H_{domo}$	6790 mm
8	$A_c = 2.5 K Q F_a S_o \left( \frac{T_s}{T_c} \right) \left( \frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i$	0,20 %g
9	$W_c = 0.23 \left( \frac{D}{H} \right) \tanh \left( \frac{3.67 H}{D} \right) * W_p$	366 515,72 N
10	$X_c = \left[ 1.0 - \frac{\cosh \left( \frac{3.67H}{D} \right) - 1}{\frac{3.67H}{D} \sinh \left( \frac{3.67H}{D} \right)} \right] H$	4 452,75 mm

Finalmente, reemplazando estos valores se obtiene el siguiente valor que nos permitirá ver más adelante si el tanque requiere de un anclaje mecánico o no.

$$M_{rw} = 1\,302,12 \text{ KN.m}$$

#### 4.3.8 Diseño de la resistencia al volteo por sismo

- Peso del cuerpo del tanque y el techo soportado en el cuerpo

$$W_t = \frac{W_s}{\pi D} + W_{rs} = 2,98 \text{ N/mm} \quad (22)$$

- Fuerza de resistencia del anillo

$$W_a = 99 t_a \sqrt{S_y H G_e} \leq 201,1 H D G_e \quad (23)$$

$$8178,36 \text{ N.m} \leq 5\,514\,443\,843,33$$

- Diseño de anclaje

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [W_t * (1 - 0.4 A_v) + W_a - 0.4 W_{int}]} = 3,07 \quad (24)$$

Debido a que el valor de anclaje de J supera el valor de 1,54 citado en la Tabla E.6 de la API 650, el tanque necesita ser anclado mecánicamente.

Por otra parte, es necesario comprobar que el tanque sea estructuralmente estable y para esto se realiza el cálculo de compresión del cuerpo.

- Cálculo de compresión del cuerpo

Las tensiones máximas de compresión longitudinal del cuerpo en el fondo de la carcasa para los tanques mecánicamente anclados se determinarán mediante la fórmula:

$$\sigma_c = \left[ w_t (1 + 0.4 A_v) + \frac{1.273 M_{rw}}{D^2} \right] * \frac{1}{1000 * t_s} = 14,07 \text{ MPa} \quad (25)$$

Adicionalmente, para calcular el esfuerzo de compresión longitudinal del cuerpo se necesita identificar que ecuación utilizar dependiendo que caso cumple según la sección E.6.2.2.3 de la API 650. Para este caso se utiliza la ecuación (E.6.2.2.3-1a) de la API 650.

$$F_c = \frac{8.3 * t_s}{2.5 D} + 7.5 \sqrt{G H} = 65,13 \text{ MPa} \quad (26)$$

A continuación, se comprueba que el esfuerzo permisible en el cuerpo del tanque no supera el esfuerzo de fluencia del primer anillo.

$$F_c < 0.5 * F_{ty} \quad (27)$$

$$65,13 \frac{N}{mm^2} < 120,5 \frac{N}{mm^2}$$

Debido que la ecuación anterior se cumple, se puede decir que el tanque es estructuralmente estable.

#### 4.3.9 Tipo de soldadura en la construcción del tanque

El material (ASTM A36) con que se considera el diseño del tanque, su cuerpo y fondo, pertenece al grupo 1 de materiales de las especificaciones de la API 650. Para los materiales de este grupo se considera la Tabla 3.2 y Tabla 3.1 de la AWS D1.1, para seleccionar electrodos adecuados. En soldadura por arco manual, para materiales del grupo I se sugiere utilizar electrodos de las series E60XX y E70XX o equivalentes, adicionalmente las tablas 3.2 y 3.1 de la AWS D1.1 también muestran características eléctricas, de posición de soldadura y otras condiciones a considerar al momento de realizar las juntas para el tanque.

Entre otras consideraciones importantes que se deben considerar que ninguna soldadura debe hacerse cuando las superficies del material que van a ser soldadas están mojadas o en casos de fuertes vientos, a menos que exista el aislamiento adecuado para el trabajo. También, al momento de realizar las juntas, se tiene que las temperaturas de mínimas de precalentamiento están relacionadas con el grupo de material y el espesor de la plancha, por lo que se debe tomar en cuenta la siguiente figura.

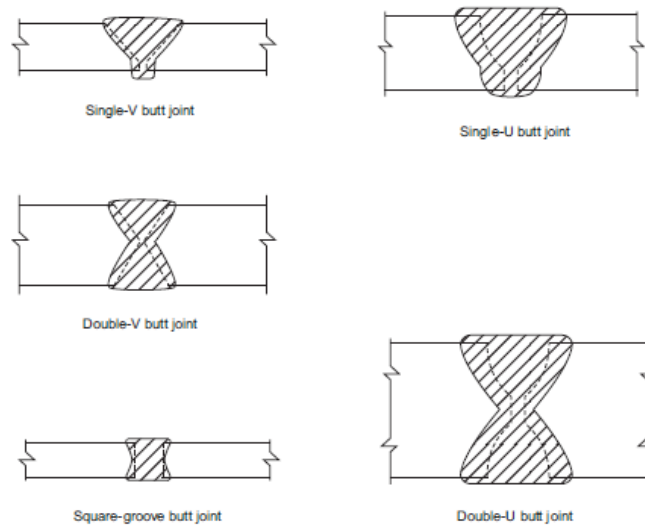
Material Group per Table 4-4a	Thickness (t) of Thicker Plate (mm)	Minimum Preheat Temperature
Groups I, II, III & IIIA	$t \leq 32$	0 °C
	$32 < t \leq 40$	10 °C
	$t > 40$	93 °C
Groups IV, IVA, V & VI	$t \leq 32$	10 °C
	$32 < t \leq 40$	40 °C
	$t > 40$	93 °C

**Figura 33.** Temperatura de precalentamiento, Tabla 7.1a API 650.

A continuación, se muestran los requerimientos de la API 650 para los distintos tipos de soldadura que se emplean en la construcción del tanque.

- Junta vertical para el cuerpo del tanque

Las juntas verticales deben ser juntas a tope con penetración completa y fusión completa obtenidas por soldadura doble u otros medios que tengan la misma calidad.

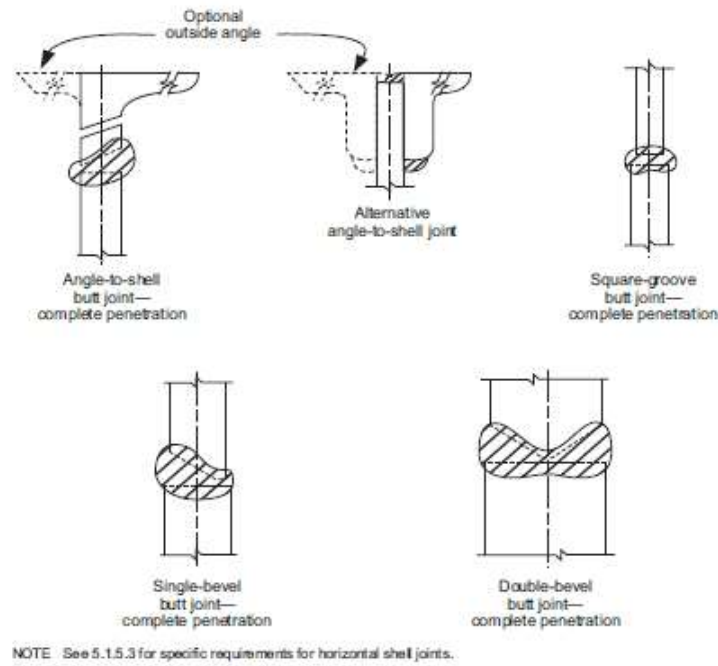


**Figura 34.** Juntas típicas verticales para tanques. F 5.1 API 650.

Las juntas verticales de cada anillo no deberán estar alineadas, pero pueden tener una distancia mínima entre ellas de 5 veces su espesor.

- Junta horizontal de soldadura para cuerpo

De igual forma que las juntas verticales, para este caso se debe considerar una junta horizontal a tope y de profundidad completa.



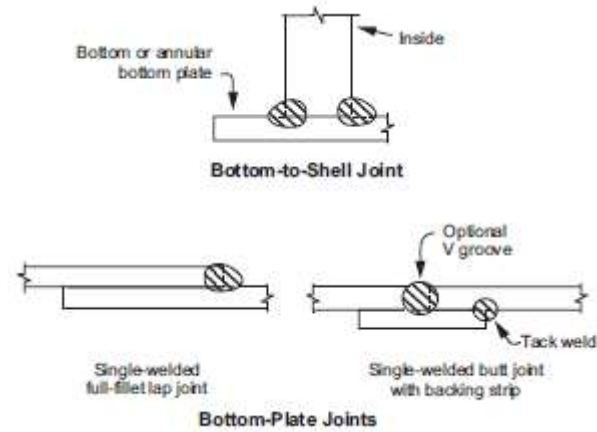
**Figura 35.** Soldaduras para juntas horizontales, F5.2 API 650.

- Juntas de soldadura de fondo.

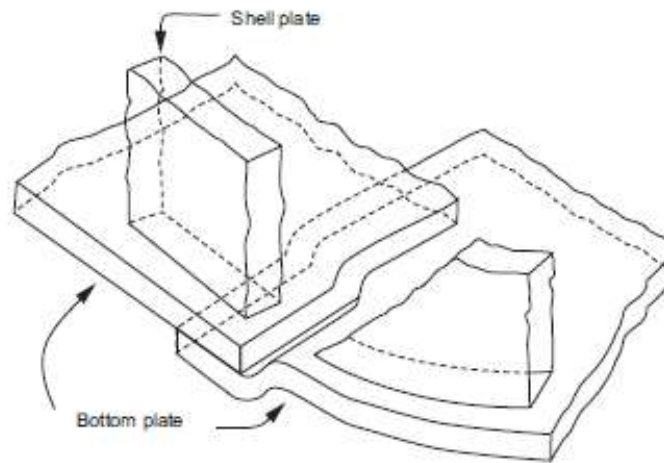
En juntas traslapadas las chapas deben ser rectangulares y se debe tener un traslape mínimo de 32 mm (1 ¼ pulg) para las juntas compuestas entre dos o tres placas, las que estarán a una distancia mínima de 305mm (1 pie) con respecto a cualquier otra junta y/o pared del tanque.

Para las placas de fondo se debe tener una placa de respaldo punteada con un espesor mínimo de 3.2mm (1/8 pulg).

Las chapas metálicas para el piso deben ser rectangulares y escuadradas. Para un traslape en que estén tres placas, esta no debe ser mayor 300 mm (12pulg) entre ellas. Una soldadura continua tipo filete es necesaria para placas de fondo en su lado filo.



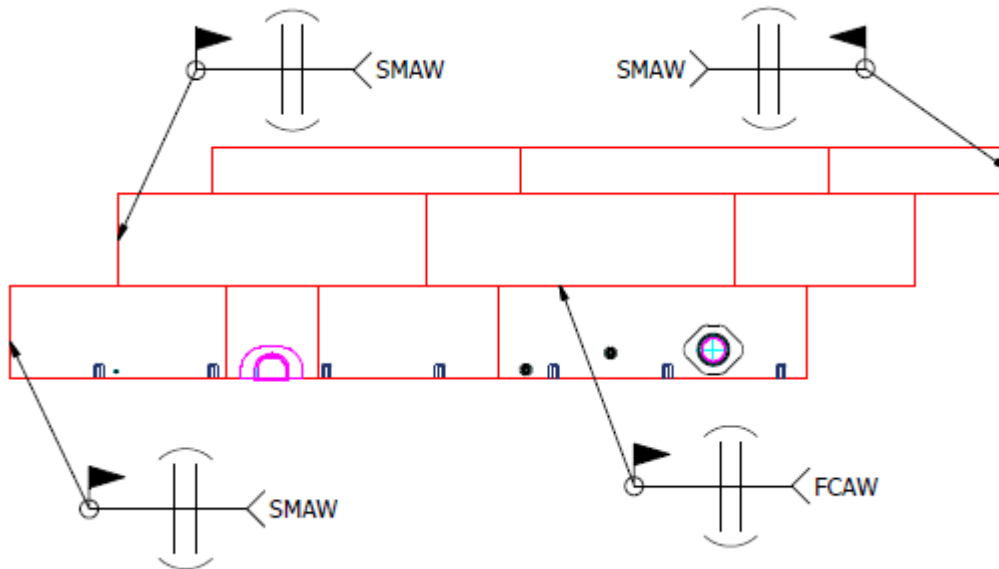
**Figura 36.** Juntas típicas de fondo, F5.3a API 650.



**Figura 37.** Forma de traslape entre el fondo y cuerpo del tanque, F5.3b API 650.

Una vez detallados los procesos sugeridos por la API 650 para soldadura en el cuerpo del tanque, se compara con los métodos utilizados en el tanque que se encuentra actualmente construido. La siguiente figura muestra el tipo de juntas que se utilizó para conformar el cuerpo del tanque.





**Figura 38.** Especificación de soldadura para el cuerpo del tanque.

Para las juntas verticales y horizontales se utiliza soldadura a tope con bordes planos con superficie convexa en sus extremos, la misma que es de penetración completa y fusión completa. Dado que la costa ecuatorial no alcanza temperaturas de  $0^{\circ}\text{C}$ , no se requiere un precalentamiento tal como indica la figura 34. De la misma manera el fondo del tanque cumple con las condiciones de la sección 5.1.5.4. de la API 650, utilizando juntas traslapadas entre ellas con un mínimo de 300 mm, y soldadura tipo FCAW. En conclusión, las juntas utilizadas en la construcción de los tanques de almacenamiento en la refinería son los adecuados bajo las sugerencias que la API 650 y la AWS D1.1 realizan.

#### **4.3.10 Validación de los datos mediante el software TANK**

TANK es un software que permite analizar los componentes de un tanque en base a normas como la API 650 y API 653. Para correr este análisis, es importante al inicio declarar datos básicos del tanque como sus dimensiones, espesores de las planchas, velocidad de viento, etc.

Una vez ejecutado el análisis, TANK responde con un informe en el cual menciona que parámetros están fuera de las sugerencias de la norma API 650, los cuales pueden ser advertencias o errores dependiendo de la gravedad del caso. TANK analiza los componentes que integran el tanque, el techo, el fondo y la integridad del mismo bajo condiciones de vientos y sismos.

El objetivo de realizar este análisis es validar que los resultados anteriores calculados y las recomendaciones obtenidas de las mismas fueron las correctas. De este modo, se garantiza un correcto diseño del tanque.

El análisis que se lleva a cabo en TANK contempla lo siguiente:

- Cálculo de espesores de los anillos
- Dimensiones de los anillos.
- Altura equivalente para el líquido almacenado
- Análisis de diseño por viento
- Análisis de diseño por sismo.

A continuación, se muestran los datos que se ingresaron al software antes de realizar el análisis.

General Tank Data	
API Design Code	650
Design Method	One Foot
Run Objective	Analyze
Design Temperature, (C)	70
Design Pressure at Top, (KPa)	0
Tank Nominal Diameter [D], (m.)	6.41
Tank Shell Height [HTK], (m.)	6.096
Design Liquid Level [H], (m.)	6.096
Bottom Plate Thickness [Tb], (mm.)	0
Liquid Specific Gravity [G]	0.789
Weight of Attachments/Structures, (N.)	0
Distance Down to Top Wind Girder, (m.)	0
Joint Efficiency (App A or 653) [E]	1.0000
Wind Velocity, (M./sec.)	18
Pressure Ratio [Fp]	0.4000
Default Shell Course Material	A-36
Number of Shell Courses	3
Insulation Thickness, (mm.)	0
Insulation Density, (kg./cu.cm.)	0
Plate Length, (m.)	3.6576
Course Offset, (m.)	1.8288
Include Annular Base Plate Details	<input checked="" type="checkbox"/>
Include Wind Moment in Appendix F.4.2 Calculations	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 39.** Datos generales del tanque ingresados en el software TANK.

Seismic Data	
Minimum Yield Strength of Bottom Plate, (KPa)	250000
Minimum Yield Strength of Weld Material, (KPa)	250000
Seismic Use Group	1
Friction Factor	0.3
Importance Factor	1
Initial Anchorage Type	Mechanical (bolts)
Earthquake Type	Site Specific
Site Class	C
Spectral Acceleration Adjustment Coefficient (K)	1.5
Scaling Factor (Q)	1
Transitional Period (TL)	8
Mapped Max Earthquake Short Period (Ss)	0
Mapped Max Earthquake 1-sec. Period (S1)	0
Mapped Max Earthquake 0-sec. Period (S0)	0
Peak Ground Acceleration for Non-ASCE (Sp)	0.25
Design Acceleration Parameter at Short Periods for ASCE Methods (Sds)	0.75
Spectral Acceleration Parameter at Zero Period [site-specific] (Sa 0*)	0
Spectral Acceleration Parameter at Any Period [site-specific] (Sa*)	0.2

**Figura 40.** Datos generales del sismo ingresados en el software TANK.

Una vez listos los datos se ejecuta el análisis en TANK, seguido el programa despliega su reporte, el cual incluyen un análisis completo del diseño del tanque. Debido a que el análisis acoge una gran cantidad de datos y parámetros calculados en la siguiente figura se presenta un resumen de las partes más importantes a considerar.

<u>1.-SHELL COURSE THICKNESS DATA - One Foot Method</u>						
Thickness Values for Three Cases					MIN TEMP	
COURSE	DESIGN	TEST	USER		(deg C )	Status
	(mm. )	(mm. )	(mm. )			
1	6.0000	6.0000	6.3500		-11.7	PASS
2	5.0000	5.0000	6.3500		-11.7	PASS
3	5.0000	5.0000	6.3500		-11.7	PASS
<u>2.- Fluid Heights for Three Cases</u>						
COURSE	DESIGN	TEST	REQUIRED			
	(m. )	(m. )	(m. )			
1	41.283	35.005	6.0960			
2	41.283	35.005	3.6576			
3	41.283	35.005	1.2192			
Maximum allowed fluid height of entire tank for:						
	Design Thickness Case			(m. )		41.283
	Test Thickness Case			(m. )		35.005
	Required fluid height			(m. )		6.0960
<u>3.- WIND OVERTURNING STABILITY CHECK</u>						
	Corroded Shell Weight + %Roof - Uplift			(N. )		60006.
	wa			(N./cm. )		55.242
	Mw - moment due to wind (hor+ver) press			(N.m. )		11556.
	Mws - moment due to wind (hor) press			(N.m. )		11556.
	Mpi - moment due to internal pressure			(N.m. )		0.00000
	Mf - moment due to tank liquid			(N.m. )		0.35654E+06
	Mdl - moment due to shell & roof			(N.m. )		0.19232E+06
<b>Anchors not needed for Sect. 5.11</b>						
<u>4.- ROOF EVALUATIONS - Appendix F</u>						
	Uplift force due to internal pressure			(N. ):		0.00000
	Total weight resisting uplift			(N. ):		73975.
<u>5.- ANCHOR BOLT RESULTS - Section 5.12</u>						
Case		Number	Bolt	Bolt Stress		
		of Bolts	Diameter	(KPa )		
			(mm. )			
Design Pressure	:	8	31.750	0.		
Test Pressure	:	8	31.750	0.		
Failure Pressure	:	8	31.750	0.		
Wind Loading	:	8	31.750	0.		
Seismic OPE	:	8	31.750	18742.		
Design Press + Wind Load	:	8	31.750	0.		
Design Press + Seismic OPE	:	8	31.750	0.		
Frangibility Pressure	:	8	31.750	0.		
Final Anchor Bolt Spacing				(m. )	2.52	
<i>Anchor bolts are required.</i>						

**Figura 41.** Resultados obtenidos del diseño en TANK.

Finalmente, como se presenta en la figura 41 en la parte 1 del reporte se afirma que los valores seleccionados de 6.35mm para los anillos de los tanques son los adecuados y soportan las cargas del servicio almacenado. Además, se puede observar que los valores admisibles para los anillos del tanque pueden disminuirse hasta 6mm para el primer anillo y 5 mm para el segundo y tercero. Por otra parte, en el fragmento 2 del resumen, las medidas con las que se calculan los espesores son equivalentes a soportar una altura de fluido hasta de 41,28 metros, siendo requerida solo una altura de 6,1 m que es la que ocupa el nivel nominal de etanol en el tanque.

Con respecto al volcamiento por viento y chequeo de estabilidad en la parte 3 del reporte generado se puede observar que con los parámetros dispuestos el tanque no presenta problemas, por lo que según viento y estabilidad estructural el tanque no necesita ser anclado, tal como se calculó en la parte 5.5.5 de este documento.

Por otro lado, el reporte indica que en un cálculo de pernos de anclaje un motivo principal para requerir de un anclaje mecánico son las cifras con respecto a volcamiento por sismo las que afectan la integridad del tanque. Es por este motivo, que en compensación de esto el programa sugiere tener un anclaje mecánico con 8 pernos alrededor del perímetro del tanque separados por una distancia de 2.52 metros entre ellos.

Como comparación final, se tiene que el tanque que se diseña en este documento en relación al que está ya construido en planta presenta medidas relativamente más pequeñas de altura, diámetro y espesores de planchas para el cuerpo, las cuales han sido generadas bajo la norma API 650. Esto indica que, el tanque actual que se encuentra en planta también cumple los parámetros de diseño especificados en la API 650, puesto que estas medidas no son muy diferentes una de la otra y que las medidas adoptadas en el diseño son las mínimas para un tanque de 1000 BLS de almacenamiento nominal. Un breve resumen de esto se muestra a continuación.

**Tabla 21.** Comparación entre tanque en planta y diseño bajo la API 650.

Características		PLANTA	DISEÑO
Diámetro Nominal [mm]		6578	6401
Altura Nominal [mm]		6100	6096
Capacidad [BBL]		1000	1000
Presión de diseño		ATM	ATM
Material		A36	A36
SHELL COURSE	1	6,35	6
	2	6,35	5
	3	6,35	5

## 5. CONCLUSIONES

Por parte de la selección de tuberías no se presenta ningún inconveniente ya que, en base a la lista de materiales existente en el anexo, la descripción de cada línea de tubería cumple con las recomendaciones dadas por la especificación ANSI #150, la cual es la adecuada ya que las presiones de diseño, las que son las mayores, están por debajo del límite establecido por esta clase.

Por otro lado, se tiene que, con el análisis de pérdidas de presión, la altura de cabeza de presión de las actuales bombas se ve afectada, es por esto que esta medida de presión aumenta y se necesita un cambio en las bombas para poder satisfacer la presión de diseño especificada por la planta.

Por parte del análisis del tanque, los resultados obtenidos por el programa Tank aseguran un cálculo más minucioso en comparación con los cálculos obtenidos teóricamente. Esto se debe a que el software también brinda el cálculo de momento por viento, fuerza de corte en la base, estabilidad por viento, carga muerta y otros. Gracias a la NEC se tiene datos más precisos debido a que se tiene las velocidades de viento y aceleraciones máximas en roca esperada para sismos lo que favorece a las suposiciones del cálculo.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que al momento de correr el software no se ha ingresado cargas de nieve, esto debido a que en el Ecuador no se presenta el caso. Sin embargo, estas cargas pueden relacionarse a caída de ceniza por actividades volcánicas o granizo si se presentara el caso. A pesar de esto API 650 aclara que hay cargas por gravedad las cuales ya incluyen las mencionadas previamente.

En general los resultados obtenidos en el diseño se muestran congruentes con los obtenidos en la verificación utilizando el programa, esto ya que coincidieron en distintos aspectos como en el requerimiento de un anclaje mecánico para el tanque.

Este análisis está orientado para futuras construcciones dentro del país dado que se adapta a las temperaturas de la costa ecuatoriana. Además, los planos generados pueden ser adaptables a nuevas dimensiones por lo que servirá para futuras generaciones que busquen realizar el diseño y dibujo de este tipo de tanques. De la misma forma el procedimiento está muy detallado para poder utilizarlo en próximos proyectos.

Finalmente se concluye que este proyecto contribuye a una mejor práctica y experiencia en: Fluidos, dibujo mecánico, diseño mecánico, procesamiento de materiales y mecánica de materiales.



## 6. RECOMENDACIONES

- Al momento de diseñar en TANK, llenar todos los campos necesarios dentro del software Tank es de vital importancia, campos como: volumen, temperatura, propiedades del líquido a almacenar y condiciones ambientales del lugar donde el tanque estará ubicado ayudarán a un diseño más confiable de este.
- Al momento de dibujar la planta utilizar el código de dibujo técnico, mecánico CPE INEN 003.
- Ser organizado al momento del diseño de la planta y P&IDs, generar los códigos sugeridos por el software para identificar todos los elementos y al final generar la lista de componentes. Esto contribuirá a un correcto inventario de materiales para el análisis económico posterior.
- Utilizar software CFD para comprobar lugares críticos en las líneas de tuberías de la planta a analizar.
- Presentar opciones viables para el diseño de la planta, es decir no necesariamente utilizar los materiales más costosos. Esto debido a que no siempre se cuenta con un presupuesto deseado para la construcción.
- Tener en cuenta factores corrosivos para el diseño y relacionarlos con la corrosión admisible, ya que muchos de los tanques de almacenamiento que se encuentran en refinerías del Ecuador se encuentran en lugares húmedos como el oriente o como en la costa, que presenta un ambiente muy salino.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alasfour, F.N., (1998). *Nox emission from a spark ignition engine using 30% isobutanol/gasoline blend: Part 1e preheating inlet air*. Appl. Therm. Eng. 18, 245e256.
- API-650. (2013). *Storage, Welded Tanks for Oil*. Washington, D.C. : Twelfth edition, 2013.
- Avallone, E., Baumeister T. (1995). *Manual del ingeniero mecánico*. D.F. México. McGrawHill
- AWS D1.1/D1.1 M: (2015). *Structural Welding Code -Steel*. 23rd Edition.
- Boletín No. 048. *Confirman calidad de combustibles que distribuye EP Petroecuador al país*. Ministerio de Hidrocarburos del Ecuador. Recuperado desde: <http://www.hidrocarburos.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/>
- Callister, Jr., Rethwisch G. (2014). *Materials Science and Engineering an introduction 9 edition*. Utah, U.S.A: Wiley.
- Crane. (2001). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*.D.F. México: McGrawHill
- Elfasakhany, A., (2016). *Engine performance evaluation and pollutant emissions analysis using ternary bio-ethanol-isobutanol-gasoline blends in gasolina engines*: ELSEVIER
- Félez, J., Martínez, L. (2008). *Ingeniería gráfica y diseño*. Madrid, España: Editorial síntesis.
- White, M. (2011). *Fluid Mechanics seventh edition*. NY, U.S.A: McGrawHill
- NEC. 2014. Norma ecuatoriana de la construcción. ECUADOR : s.n., 2014.

## ANEXO A: CÁLCULOS TANQUE.

A continuación, se muestran los cálculos detallados de la tabla 18 utilizados para cumplir los criterios de las ecuaciones (16), (17) y (18).

### Variable No 1.

- Presión de viento en el cilindro  $P_{ws} = \left(\frac{18lb}{ft^2}\right) * \left(\frac{V}{120}\right)^2$
- Presión de viento en el cilindro  $P_{wr} = \left(\frac{30lb}{ft^2}\right) * \left(\frac{V}{120}\right)^2$
- Fuerza de viento en el cilindro  $F_s = P_{ws} * A_s = 840 lb$
- Fuerza de viento en el techo  $F_r = P_{wr} * A_r = 107,85 lb$

$$M_w = (F_r * L_r + F_s * L_s) = 10805.055 ft. lb$$

### Variable No 2.

$$M_{ws} = (F_s * L_s) = 8400 lb. ft$$

### Variable No 3.

Dado que es un tanque atmosférico, el mismo no presenta presión interna adicional a la del propio líquido.

$$M_{pi} = \left(\frac{1}{4} * \pi * D^2 * P_i\right) * \frac{1}{2} * D = 0$$

### Variable 4

$M_{DL}$  Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del cuerpo.

$$W_{DL} = 12122,89 lb$$

$$M_{DL} = 0.5 * D * W_{DL} = 127 290.35 ft. lb$$

### Variable No 5.

$M_{DLR}$  Momento sobre la junta fondo cuerpo por peso del techo y cualquier estructura agregada.

$$W_{DLR} = 3655.01 lb$$

$$M_{DLR} = 0.5 * D * W_{DLR} = 38\,377.605 \text{ ft. lb}$$

**Variable No 6.**

$W_l$       Peso del líquido por anillo (lbf/ft)

$$W_l = 4.67 * tb * \sqrt{F_{by} * H}$$

$$W_l = 4.67 * 0.375 \text{ in} * \sqrt{36259.6 \text{ psi} * 18 \text{ ft}} = 1414.79 \text{ lb/ft}$$

$M_f$       Momento sobre la junta fondo-cuerpo debido al peso del líquido almacenado

$$M_F = (W_l * \pi * D) * \frac{D}{2} = 980054.99 \text{ lb. ft}$$

Los siguientes cálculos son los detallados para la Tabla 20, los cuales satisfacen la Ecuación (21).

**Variable No 1.**

El valor del factor de importancia I se lo obtiene de la Tabla E.5 de la API 650, de la misma manera el factor de modificación de respuesta  $R_{wi}$  que se lo extrae de la tabla E.4. Por otra parte, para el factor  $F_a$  se utiliza la Tabla E.2 y además se toma un Q de 1, según la norma API 650.

$$A_i = 2.5 * Q * F_a * S_o \left( \frac{I}{R_{wi}} \right)$$

$$A_i = 2.5 * 1\%g * 1.2 * 0.25 \left( \frac{1.5}{3.5} \right) = 0.32 \%g$$

**Variable No 2.**

$W_p$  indica el peso del fluido contenido en el tanque, asimilando que ocupa un nivel H, el cual es su altura nominal.

$$W_i = \left[ 1.0 - \frac{0.218D}{H} \right] * W_p = 1\,170\,231.29 \text{ N}$$

**Variable No 3.**

$$X_i = \left[ 0.5 - 0.094 \frac{D}{H} \right] H = 2\,445,45 \text{ mm}$$

**Variable No 4.**

- Peso de los tres anillos del tanque:  $W_s = W_{c1} + W_{c2} + W_{c3} = 61177 \text{ kg}$

**Variable No 5.**

$$X_s = \frac{H}{2} = 3048 \text{ mm}$$

**Variable No 6.**

El dato del peso del techo es un dato obtenido del peso real del techo que se encuentra en el tanque instalado.

$$W_r = W_{roof} * 9,81 = 5121 \text{ N}$$

**Variable No 7.**

$X_r$  hace referencia hasta la altura desde el fondo del tanque hasta el centro de gravedad del techo.

$$X_r = H + H_{domo} = 6790 \text{ mm}$$

**Variable No 8.**

$$A_c = 2.5 K Q F a S o \left( \frac{T_s}{T_c} \right) \left( \frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i = 0,20\%g$$

**Variable No 9.**

$$W_c = 0.23 \left( \frac{D}{H} \right) \tanh \left( \frac{3.67 H}{D} \right) * W_p = 366\,515,72 \text{ N}$$

**Variable No 10.**

$$X_c = \left[ 1.0 - \frac{\cosh \left( \frac{3.67 H}{D} \right) - 1}{\frac{3.67 H}{D} \sinh \left( \frac{3.67 H}{D} \right)} \right] H = 4\,452,75 \text{ mm}$$

## ANEXO B: INFORME TANK.

### Determine required thickness per the selected Method:

Shell Course Thickness per the One Foot Method:

#### **Required Thickness for Course # 1**

Required thickness based on the 1ft method per 5.6.3.2, Operating [td]:

$$\begin{aligned}
 &= 2.6D( H - 1 )G/Sd \\
 &= 2.6 * 21.030 ( 20.00 - 1 )0.789/23200.0 \\
 &= 0.035 \text{ in. } [0.897 \text{ mm.}]
 \end{aligned}$$

Minimum thickness per 5.6.1.1 : = 0.236 in. [6.000 mm.]

Final Selected Thickness including corrosion and other allowances:

$$= 0.23622 \text{ in. } [6.00000 \text{ mm.}]$$

Required thickness per 5.6.3.2, Hydrotest [tt]:

$$\begin{aligned}
 &= 2.6D( H - 1 )/St \\
 &= 2.6 * 21.030 ( 20.00 - 1 )/24900.0 \\
 &= 0.04172 \text{ in. } [1.05975 \text{ mm.}]
 \end{aligned}$$

Minimum thickness per 5.6.1.1 : = 0.236 in. [6.000 mm.]

Final Selected Thickness including other Code allowances:

$$= 0.23622 \text{ in. } [6.00000 \text{ mm.}]$$

#### **Required Thickness for Course # 2**

Required thickness based on the 1ft method per 5.6.3.2, Operating [td]:

$$\begin{aligned}
 &= 2.6D( H - 1 )G/Sd \\
 &= 2.6 * 21.030 ( 12.00 - 1 )0.789/23200.0 \\
 &= 0.020 \text{ in. } [0.520 \text{ mm.}]
 \end{aligned}$$

Minimum thickness per 5.6.1.1 : = 0.197 in. [5.000 mm.]

Final Selected Thickness including corrosion and other allowances:

$$= 0.19685 \text{ in. } [5.00000 \text{ mm.}]$$

Required thickness per 5.6.3.2, Hydrotest [tt]:

$$\begin{aligned}
 &= 2.6D( H - 1 )/St \\
 &= 2.6 * 21.030 ( 12.00 - 1 )/24900.0 \\
 &= 0.02416 \text{ in. } [0.61354 \text{ mm.}]
 \end{aligned}$$

Minimum thickness per 5.6.1.1 : = 0.197 in. [5.000 mm.]

Final Selected Thickness including other Code allowances:

$$= 0.19685 \text{ in. } [5.00000 \text{ mm.}]$$

#### **Required Thickness for Course # 3**

Required thickness based on the 1ft method per 5.6.3.2, Operating [td]:

$$\begin{aligned}
 &= 2.6D( H - 1 )G/Sd \\
 &= 2.6 * 21.030 ( 4.00 - 1 )0.789/23200.0 \\
 &= 0.006 \text{ in. } [0.142 \text{ mm.}]
 \end{aligned}$$

Minimum thickness per 5.6.1.1 : = 0.197 in. [5.000 mm.]

Final Selected Thickness including corrosion and other allowances:

$$= 0.19685 \text{ in. } [5.00000 \text{ mm.}]$$

Required thickness per 5.6.3.2, Hydrotest [tt]:

$$\begin{aligned}
 &= 2.6D( H - 1 )/St \\
 &= 2.6 * 21.030 ( 4.00 - 1 )/24900.0 \\
 &= 0.00659 \text{ in. } [0.16733 \text{ mm.}]
 \end{aligned}$$

Minimum thickness per 5.6.1.1 : = 0.197 in. [5.000 mm.]

Final Selected Thickness including other Code allowances:

$$= 0.19685 \text{ in. } [5.00000 \text{ mm.}]$$

**Wind Load Calculations:**

Wind velocity factor 5.2.1 [Vfact]:

$$= ( \text{Wind Velocity} / 120 )^2$$

$$= ( 40.3/120 )^2$$

$$= 0.113$$

Vertical projected wind area of tank [VArea]:

$$= \text{Tank Height} * \text{Tank Diameter}$$

$$= 20.00 * 21.03$$

$$= 420.604 \text{ ft}^2 \quad [39.075 \text{ m}^2]$$

Velocity pressure per 5.9.7.1 [p]:

$$= 0.00256 * K_z * K_{zt} * k_d * V^2 * I * G + 5.0$$

$$= 0.00256 * 1.040 * 1.000 * 0.950 * 40.265^2 * 1.000 * 0.850 + 5.0$$

$$= 8.486 \text{ psf} \quad [406.288 \text{ N/M}^2]$$

Wind moment on shell [Moment]:

$$= \text{Wind Pressure} * \text{Wind Area} * \text{Tank Height}/2$$

$$= 8.486 * 420.6 * 20.00/2$$

$$= 0.35690\text{E}+05 \text{ ft.lb.} \quad [0.48388\text{E}+05 \text{ N.m.}]$$

Moment about shell-to-bottom joint [MDL]:

$$= ( \text{Shell Weight} + \text{Attachement Weight} + \text{Framing Weight} * \% ) D/2$$

$$= ( 11472.3 + 0.0 + 0.0 * 0.00 ) 21.0/2$$

$$= 120632.6 \text{ ft.lb} \quad [163548.9 \text{ N.m.}]$$

Resisting Weight Of Fluid [WL]:

$$= \min( 4.67 * t_b * \sqrt{ F_{by} * H }, 0.90 * H * D )$$

$$= \min( 4.67 * 0.2362 * \sqrt{ 36260.3 * 20.00 }, 0.90 * 20.0 * 21.03 )$$

$$= \min( 939.4, 378.5 )$$

$$= 378.5 \text{ lbf/ft} \quad [5.5 \text{ N./mm.}]$$

Moment from Fluid Weight [MF]:

$$= WL * ( \text{PI} * D ) * ( D / 2 )$$

$$= 378.5 * ( 3.1416 * 21.03 ) * ( 21.03/2 )$$

$$= 262979.3 \text{ ft.lb} \quad [356536.8 \text{ N.m.}]$$

Moment from Design Internal Pressure [MPI]:

$$= \text{Design Pressure} * \text{pi}( \text{Diameter in inches} / 2 )^2 * ( D / 2 )$$

$$= 0.0 * 3.1416 ( 252.36 * 2 )^2 * ( 21.03/2 )$$

$$= 0.0 \text{ ft.lb} \quad [0.0 \text{ N.m.}]$$

Moment about shell-to-bottom joint [MWS]:

$$= 18. * V_{\text{fact}} ( D + \text{Insulation} ) * H^2 / 2$$

$$= 18. * 0.1126 ( 21.0 + 0.0 ) * 20.0^2/2$$

$$= 8523.8 \text{ ft.lb} \quad [11556.3 \text{ N.m.}]$$

Moment about shell-to-bottom joint [MW]:

$$= \text{MWS} + \text{Wind Uplift} * V_{\text{Area}} * D / 2$$

$$= 8523.8 + 0.0000 * 50019.4 * 21.0/2$$

$$= 8523.8 \text{ ft.lb} \quad [11556.3 \text{ N.m.}]$$

*Note: Wind Uplift value of 0.023 reset to 1.6 \* Design Pressure per 5.2.1.K.*

Moment about shell-to-bottom joint [MDLR]:

$$= ( \text{Roof Weight} ) D/2$$

$$= ( 3140.6 ) 21.0/2$$

$$= 33023.2 \text{ ft.lb} \quad [44771.5 \text{ N.m.}]$$

**Appendix E Seismic Analysis Calculations:**

Accel. based site coeff. (at 0.2 sec period) from Table E-1 [Fa]:

$$= 1.150$$

Velocity based site coeff. (at 1.0 sec period) from Table E-2 [Fv]:

$$= 1.487$$

Period Parameter per E.2.2 [Ts]:

$$= ( F_v * S_1 ) / F_a * S_s$$

$$= ( 1.487 * 0.312 ) / 1.150 * 0.625$$

$$= 0.647$$

Sloshing Period Coefficient per E.4.5.2-c [Ks]:

$$= 0.578 / \sqrt{ \text{hyperbolic tangent}(3.68 * HL / D ) }$$

$$= 0.578 / \sqrt{ \text{hyperbolic tangent}(3.68 * 20.000/21.030 ) }$$

$$= 0.579$$

**Convective Sloshing Period per E.4.5.2-b [Tc]:**

$$\begin{aligned}
 &= K_s \sqrt{D} \\
 &= 0.579 * \sqrt{21.030} \\
 &= 2.653 \text{ sec.}
 \end{aligned}$$

**Impulsive Spectral Acceleration for SS Spectra per E.4.6.2-2 [Ai]:**

$$\begin{aligned}
 &= Q(I / R_{wi}) * S_a \\
 &= 1.000 (1.000/4.000) * 0.200 \\
 &= 0.050
 \end{aligned}$$

**Convective Spectral Accel. for SS Spectra [Ac]:**

$$\begin{aligned}
 &= \min(Q * K * (I / R_{wc}) * S_a, A_i) \\
 &= \min(1.000 * 1.500 * (1.000/2.000) * 0.200, 0.050) \\
 &= 0.050
 \end{aligned}$$

**Convective Weight per E.6.1.1-3 [Wc]:**

$$\begin{aligned}
 &= 0.230 (D/H) * W_p * \tanh(3.67 (H/D)) \\
 &= 0.230 (21.03/20.00) * 341455.625 * \tanh(3.67 (20.00/21.03)) \\
 &= 82426.617 \text{ lb. [366633.594 N.]}
 \end{aligned}$$

**Impulsive Weight per E.6.1.1-2 [Wi]:**

$$\begin{aligned}
 &= W_p * (1.0 - 0.218 (D/H)) \\
 &= 341455.625 * (1.0 - 0.218 (21.030/20.000)) \\
 &= 263184.094 \text{ lb. [1170642.875 N.]}
 \end{aligned}$$

**Convective Liquid Base Shear per E.6.1-3 [Vc]:**

$$\begin{aligned}
 &= A_c * W_c \\
 &= 0.050000 * 82426.617 \\
 &= 4121.331 \text{ lb. [18331.680 N.]}
 \end{aligned}$$

**Impulsive Liquid Base Shear per E.6.1-2 [Vi]:**

$$\begin{aligned}
 &= A_i (W_s + W_r + W_f + W_i) \\
 &= 0.050 (11472.332 + 3140.551 + 1270.693 + 263184.094) \\
 &= 13953.384 \text{ lb. [62064.652 N.]}
 \end{aligned}$$

**Total Design Base Shear per E.6.1-1 [V]:**

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{V_c^2 + V_i^2} \\
 &= \sqrt{4121.331^2 + 13953.384^2} \\
 &= 14549.306 \text{ lb. [64715.312 N.]}
 \end{aligned}$$

**Ringwall Convective Moment Arm per E.6.1.2.1-3 [Xc]:**

$$\begin{aligned}
 &= (1.0 - (\cosh(3.67 (H / D)) - 1.0) / (3.67 (H / D) * \sinh(3.67 (H / D)))) * H \\
 &= (1.0 - (\cosh(3.67 (20.000/21.030)) - 1.0) / (3.67 (20.000 / 21.030) * \sinh(3.67 (20.000 / 21.030)))) * 20.000 \\
 &= 14.609 \text{ ft. [4.453 m.]}
 \end{aligned}$$

**Ringwall Impulsive Moment Arm per E.6.1.2.1-2 [Xi]:**

$$\begin{aligned}
 &= H * (0.5 - 0.094 (D / H)) \\
 &= 20.000 * (0.5 - 0.094 (21.030/20.000)) \\
 &= 8.023 \text{ ft. [2.445 m.]}
 \end{aligned}$$

**Slab Convective Moment Arm per E.6.1.2.2-3 [Xcs]:**

$$\begin{aligned}
 &= (1.0 - (\cosh(3.67 (H / D)) - 1.937) / (3.67 (H / D) * \sinh(3.67 (H / D)))) * H \\
 &= (1.0 - (\cosh(3.67 (20.000/21.030)) - 1.937) / (3.67 (20.000 / 21.030) * \sinh(3.67 (20.000 / 21.030)))) * 20.000 \\
 &= 14.937 \text{ ft. [4.553 m.]}
 \end{aligned}$$

**Slab Impulsive Moment Arm per E.6.1.2.2-2 [Xis]:**

$$\begin{aligned}
 &= H * (0.500 + (0.0600 * D / H)) \\
 &= 20.000 * (0.500 + (0.0600 * 21.030/20.000)) \\
 &= 11.262 \text{ ft. [3.433 m.]}
 \end{aligned}$$

**Ringwall Overturning Moment per E.6.1.5-1 [Mrw]:**

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(A_i (W_i * X_i + W_s * X_s + W_r * X_r))^2 + (A_c * W_c * X_c)^2} \\
 &= \sqrt{(0.050 (263184.094 * 8.023 + 11472.332 * 9.556 + 3140.551 * 20.000))^2 + (0.050 * 82426.617 * 14.609)^2} \\
 &= 129099.492 \text{ ft.lb. [175027.922 N.m.]}
 \end{aligned}$$

**Slab Overturning Moment per E.6.1.5-2 [Ms]:**

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(A_i (W_i * X_{is} + W_s * X_s + W_r * X_r))^2}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& + (Ac * Wc * Xcs)^2 \\
& = \sqrt{(0.050 (263184.094 * 11.262 + 11472.332 * 9.556 \\
& \quad + 3140.551 * 20.000))^2 \\
& \quad + (0.050 * 82426.617 * 14.609)^2} \\
& = 168467.9 \text{ ft.lb.} \quad [228402.1 \text{ N.m.}]
\end{aligned}$$

Vertical Acceleration Parameter per E.6.1.3 [Av]:

$$\begin{aligned}
& = 0.47 * SDS \\
& = 0.47 * 0.750 \\
& = 0.352500
\end{aligned}$$

Effective Specific Gravity per E.2.2 [Ge]:

$$\begin{aligned}
& = (1 - (0.4 * Av)) * G \\
& = (1 - (0.4 * 0.352)) * 0.789 \\
& = 0.678
\end{aligned}$$

Resisting Annulus Force per E.6.2.1.1-1b [wa]:

$$\begin{aligned}
& = \min( (7.9 * ta * \sqrt{Fy * H * Ge}) \\
& \quad , (1.28 * H * D * Ge) ) \\
& = \min( (7.9 * 0.236 * \sqrt{36260.262 * 20.000 * 0.678}) \\
& \quad , (1.28 * 20.000 * 21.030 * 0.678) ) \\
& = \min( 1308.309, 364.883 ) \\
& = 364.883 \text{ lb.} \quad [1622.998 \text{ N.}]
\end{aligned}$$

Tank + Roof Weight at Shell Base per E.6.2.1.1.1-2 [wt]:

$$\begin{aligned}
& = (Wrs / (D * pi)) + (WS / (D * pi)) \\
& = (0.000 / (21.030 * 3.142)) + (11472.332 / (21.030 * 3.142)) \\
& = 173.644 \text{ lb./ft.} \quad [772.367 \text{ N./mm.}]
\end{aligned}$$

The Anchorage Ratio per E.6.2.1.1.1-1 [J]:

$$\begin{aligned}
& = Mrw / (D^2 (wt * (1 - (0.4 * Av)) + wa)) \\
& = 129099.492 / (21.030^2 (173.644 * (1.0 - (0.4 * 0.352)) + 364.883)) \\
& = 0.567858
\end{aligned}$$

Minimum Anchorage Resistance per E.6.2.1.2-1 [wAB]:

$$\begin{aligned}
& = 1.273 * Mrw / (D * D) - (Wt (1.0 - (0.4 * Av))) \\
& = 1.273 * 129099.492 / (21.03 * 21.03) - (173.644 (1.0 - (0.4 * 0.352))) \\
& = 222.433 \text{ lb.} \quad [989.380 \text{ N.}]
\end{aligned}$$

Wab Increased by Uplift due to Internal Pressure per E.6.2.1.2:

$$\begin{aligned}
& = wAB + (Uplift / (PI * D)) \\
& = 222.433 + (0.000 / (3.142 * 21.030)) \\
& = 222.433 \text{ lb.} \quad [989.380 \text{ N.}]
\end{aligned}$$

Number of Anchor Bolts Required [N]:

$$\begin{aligned}
& = \max(\text{int}((PI * D / 10) + .999), 6) \\
& = \max(\text{int}((3.142 * 21.030 / 10) + .999), 6) \\
& = 7 \text{ bolts}
\end{aligned}$$

Final value after using rounding multiple:

$$\begin{aligned}
& = N + (Nmul - \text{mod}(N, NMUL)) \\
& = 8 + (4 - \text{mod}(8, 4)) \\
& = 8 \text{ bolts}
\end{aligned}$$

Anchor Seismic Design Load per E.6.2.1.2-2 [PAB]:

$$\begin{aligned}
& = wAB * PI * D / nA \\
& = 222.433 * 3.142 * 21.030 / 0 \\
& = 1836.967 \text{ lb.} \quad [8170.828 \text{ N.}]
\end{aligned}$$

Shell Compressive Stress per E.6.2.2.1-1b [Sc]:

$$\begin{aligned}
& = (wt (1.0 + 0.4 * Av) + (1.273 * Mrw / (D^2))) \\
& \quad / (12.0 * ts) \\
& = (173.644 (1.0 + 0.4 * 0.352) + (1.273 * 129099.492 / (21.030^2))) \\
& \quad / (12.0 * 0.236) \\
& = 200.984 \text{ psi} \quad [1385.707 \text{ KPa}]
\end{aligned}$$

Shell Allowable Stress per E.2.2.3-2b [Sa/Fc]:

$$\begin{aligned}
& = \min((1.0E6 * ts / (2.5 * D)) \\
& \quad + (600 * \sqrt{G * H}), (Fty / 2)) \\
& = \min((1.0E6 * 0.236 / (2.5 * 21.030)) \\
& \quad + (600 * \sqrt{0.789 * 20.000}), (36000.000 / 2)) \\
& = 6876.423 \text{ psi} \quad [47410.184 \text{ KPa}]
\end{aligned}$$

### **Seismic Hoop combined Stress Calculation for Shell Course: 3**

Impulsive Hoop Membrane Force per E.6.1.4-2b [Ni]:

$$= (2.77 * Ai * G * D^2)$$

$$\begin{aligned}
 & * ((Y / D * 0.75) - (0.5 (Y / D * 0.75)^2)) \\
 = & (2.77 * 0.050 * 0.789 * 21.030^2) \\
 & * ((4.000/21.030 * 0.75) - (0.5 (4.000/21.030 * 0.75)^2)) \\
 = & 10.702 \text{ lb. } [47.604 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Convective Hoop Membrane Force per E.6.1.4-4b [Nc]:

$$\begin{aligned}
 = & \cosh ( 3.68 ( H - Y ) / D ) \\
 & / \cosh ( 3.68 * H / D ) \\
 & * 0.98 * A_c * G * D^2 \\
 = & \cosh ( 3.68 ( 20.000 - 4.000 ) / 21.030 ) \\
 & / \cosh ( 3.68 * 20.000 / 21.030 ) \\
 & * 0.98 * 0.050 * 0.789 * 21.030^2 \\
 = & 8.515 \text{ lb. } [37.875 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Product Hydrostatic Membrane Force [Nh]:

$$\begin{aligned}
 = & 0.0361 * G * Y * 12.0 * D * 12.0 / 2.0 \\
 = & 0.0361 * 0.789 * 4.000 * 12.0 * 21.030 * 12.0 / 2.0 \\
 = & 172.512 \text{ lb. } [767.334 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Total Combined Hoop Stress per E.6.1.4-6:

$$\begin{aligned}
 = & (\text{sqrt}( N_i^2 + N_c^2 + (A_V * N_h / 2.5)^2 ) + N_h) / Th_k \\
 = & (\text{sqrt}(10.702^2 + 8.515^2 + (0.352 * 172.512 / 2.5)^2) + 172.512) / 0.197 \\
 = & 1018.122 \text{ psi } [7019.541 \text{ KPa}]
 \end{aligned}$$

### **Seismic Hoop Allowable for Shell Course: 3**

Allowable Hoop Stress per E.6.2.4:

$$\begin{aligned}
 = & \min( [0.9 * \min( F_y, F_{yweld} ) * j_e], ShellAll * 1.33) \\
 = & \min( [0.9 * \min( 36000, 36260 ) * 1.00 ], 23200 * 1.33) \\
 = & 30856.0 \text{ psi } [212739.8 \text{ KPa}]
 \end{aligned}$$

### **Seismic Hoop combined Stress Calculation for Shell Course: 2**

Impulsive Hoop Membrane Force per E.6.1.4-2b [Ni]:

$$\begin{aligned}
 = & (2.77 * A_i * G * D^2) \\
 & * ((Y / D * 0.75) - (0.5 (Y / D * 0.75)^2)) \\
 = & (2.77 * 0.050 * 0.789 * 21.030^2) \\
 & * ((12.000/21.030 * 0.75) - (0.5 (12.000/21.030 * 0.75)^2)) \\
 = & 22.782 \text{ lb. } [101.336 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Convective Hoop Membrane Force per E.6.1.4-4b [Nc]:

$$\begin{aligned}
 = & \cosh ( 3.68 ( H - Y ) / D ) \\
 & / \cosh ( 3.68 * H / D ) \\
 & * 0.98 * A_c * G * D^2 \\
 = & \cosh ( 3.68 ( 20.000 - 12.000 ) / 21.030 ) \\
 & / \cosh ( 3.68 * 20.000 / 21.030 ) \\
 & * 0.98 * 0.050 * 0.789 * 21.030^2 \\
 = & 2.220 \text{ lb. } [9.872 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Product Hydrostatic Membrane Force [Nh]:

$$\begin{aligned}
 = & 0.0361 * G * Y * 12.0 * D * 12.0 / 2.0 \\
 = & 0.0361 * 0.789 * 12.000 * 12.0 * 21.030 * 12.0 / 2.0 \\
 = & 517.536 \text{ lb. } [2302.002 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Total Combined Hoop Stress per E.6.1.4-6:

$$\begin{aligned}
 = & (\text{sqrt}( N_i^2 + N_c^2 + (A_V * N_h / 2.5)^2 ) + N_h) / Th_k \\
 = & (\text{sqrt}(22.782^2 + 2.220^2 + (0.352 * 517.536 / 2.5)^2) + 517.536) / 0.197 \\
 = & 3017.596 \text{ psi } [20805.121 \text{ KPa}]
 \end{aligned}$$

### **Seismic Hoop Allowable for Shell Course: 2**

Allowable Hoop Stress per E.6.2.4:

$$\begin{aligned}
 = & \min( [0.9 * \min( F_y, F_{yweld} ) * j_e], ShellAll * 1.33) \\
 = & \min( [0.9 * \min( 36000, 36260 ) * 1.00 ], 23200 * 1.33) \\
 = & 30856.0 \text{ psi } [212739.8 \text{ KPa}]
 \end{aligned}$$

### **Seismic Hoop combined Stress Calculation for Shell Course: 1**

Impulsive Hoop Membrane Force per E.6.1.4-3b [Ni]:

$$\begin{aligned}
 = & 1.39 * A_i * G * D^2 \\
 = & 1.39 * 0.050 * 0.789 * 21.030^2 \\
 = & 24.252 \text{ lb. } [107.873 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

Convective Hoop Membrane Force per E.6.1.4-4b [Nc]:

$$\begin{aligned}
 = & \cosh ( 3.68 ( H - Y ) / D ) \\
 & / \cosh ( 3.68 * H / D ) \\
 & * 0.98 * A_c * G * D^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \cosh ( 3.68 ( 20.000 - 20.000 ) / 21.030 ) \\
 &\quad / \cosh ( 3.68 * 20.000 / 21.030 ) \\
 &\quad * 0.98 * 0.050 * 0.789 * 21.030^2 \\
 &= 1.032 \text{ lb. } [4.590 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

**Product Hydrostatic Membrane Force [Nh]:**

$$\begin{aligned}
 &= 0.0361 * G * Y * 12.0 * D * 12.0 / 2.0 \\
 &= 0.0361 * 0.789 * 20.000 * 12.0 * 21.030 * 12.0 / 2.0 \\
 &= 862.561 \text{ lb. } [3836.671 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

**Total Combined Hoop Stress per E.6.1.4-6:**

$$\begin{aligned}
 &= (\text{sqrt}( Ni^2 + Nc^2 + (AV * Nh / 2.5)^2 ) + Nh) / Thk \\
 &= (\text{sqrt}(24.252^2 + 1.032^2 + (0.352 * 862.561 / 2.5)^2) + 862.561) / 0.236 \\
 &= 4176.525 \text{ psi } [28795.469 \text{ KPa}]
 \end{aligned}$$

**Seismic Hoop Allowable for Shell Course: 1****Allowable Hoop Stress per E.6.2.4:**

$$\begin{aligned}
 &= \min( [0.9 * \min( Fy, Fyweld ) * je], ShellAll * 1.33) \\
 &= \min( [0.9 * \min( 36000, 36260 ) * 1.00 ], 23200 * 1.33) \\
 &= 30856.0 \text{ psi } [212739.8 \text{ KPa}]
 \end{aligned}$$

**Height of Sloshing Wave per E.7.2:**

$$\begin{aligned}
 &= 0.42 * D * 2.5 * R * Q * Fa * S0 \\
 &\quad * I * Ts / Tc \\
 &= 0.42 * 21.030 * 2.5 * 1.500 * 1.000 * 1.150 * 0.250 \\
 &\quad * 1.000 * 0.647 / 2.653 \\
 &= 2.321 \text{ ft. } [0.708 \text{ m.}]
 \end{aligned}$$

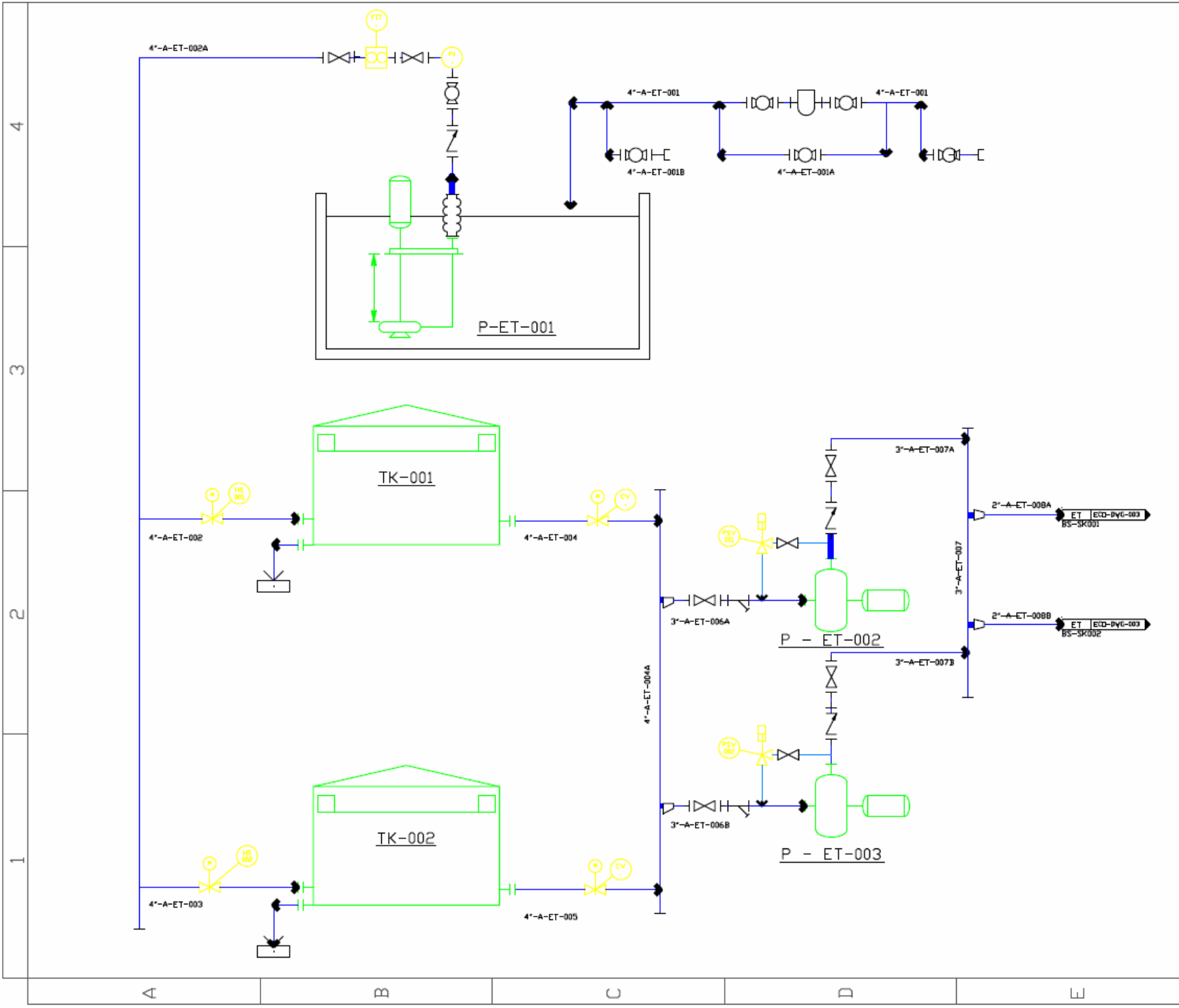
**Required Freeboard per Table E-7:**

$$\begin{aligned}
 &= 0.7 * \text{wave height} \\
 &= 0.7 * 2.321 \\
 &= 1.625 \text{ ft. } [0.495 \text{ m.}]
 \end{aligned}$$

**Shear Resistance Force per E.7.6-1 [Vs]:**

$$\begin{aligned}
 &= MU ( WS + WR + WF + Wfluid ) * ( 1.0 - 0.4 * AV ) \\
 &= 0.300 (11472.332 + 3140.551 + 1270.693 + 341455.625) * (1.0 - 0.4 * 0.352 ) \\
 &= 92086.312 \text{ lb. } [409599.906 \text{ N.}]
 \end{aligned}$$

## **ANEXO C: PLANOS DISEÑO DEL TANQUE.**



4  
 3  
 2  
 1

A B C D E

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO		PLANTA DE MEZCLADO DE GASOLINA ECOPAIS	
		Escala N/A	
Nombre Guevara D.		P&ID DE LA PLANTA DE MEZCLADO DE GASOLINA ECOPAIS	
Fecha 1/04/17	Dib. Guevara D.	DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN SISTEMA DE COMBUSTIBLE ETANOL ECO-DWG-001	
Rev. 26/04/17	Escudero D.		
Apr.			
PROYECTO DE TITULACIÓN			
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre



4

3

2

1

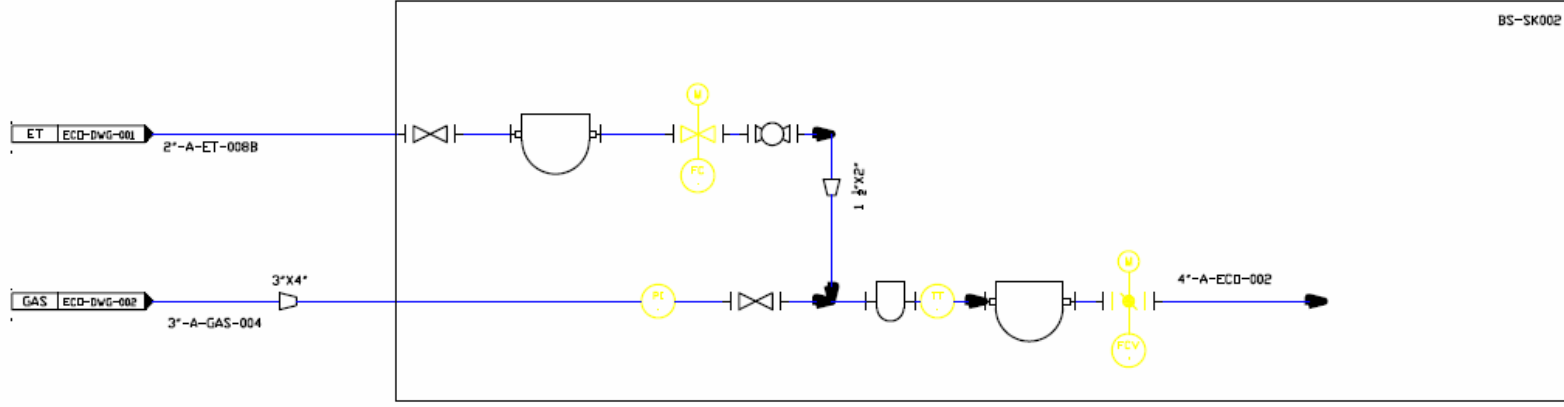
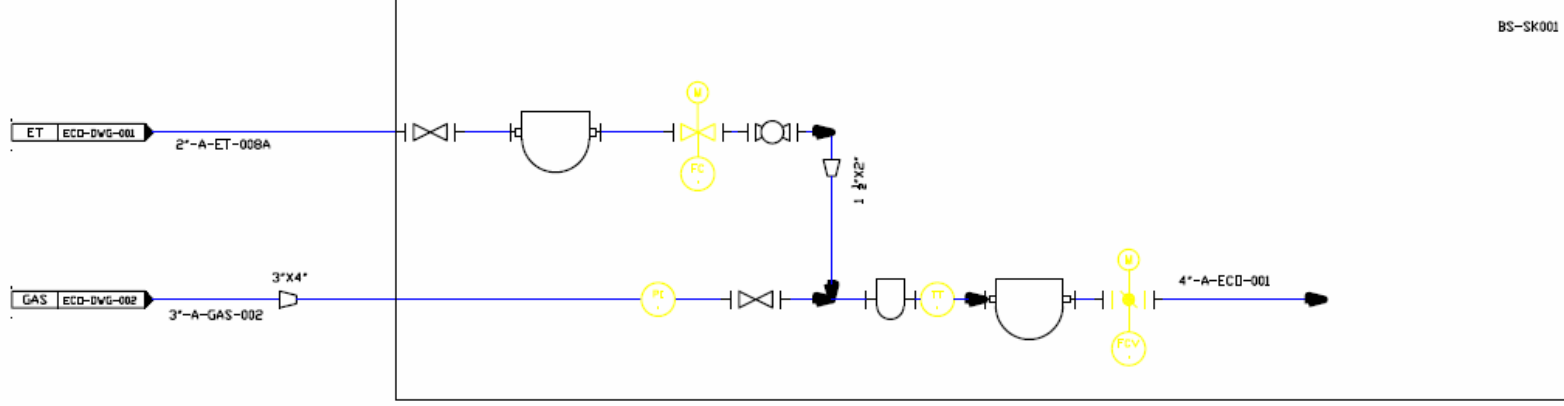
A

B

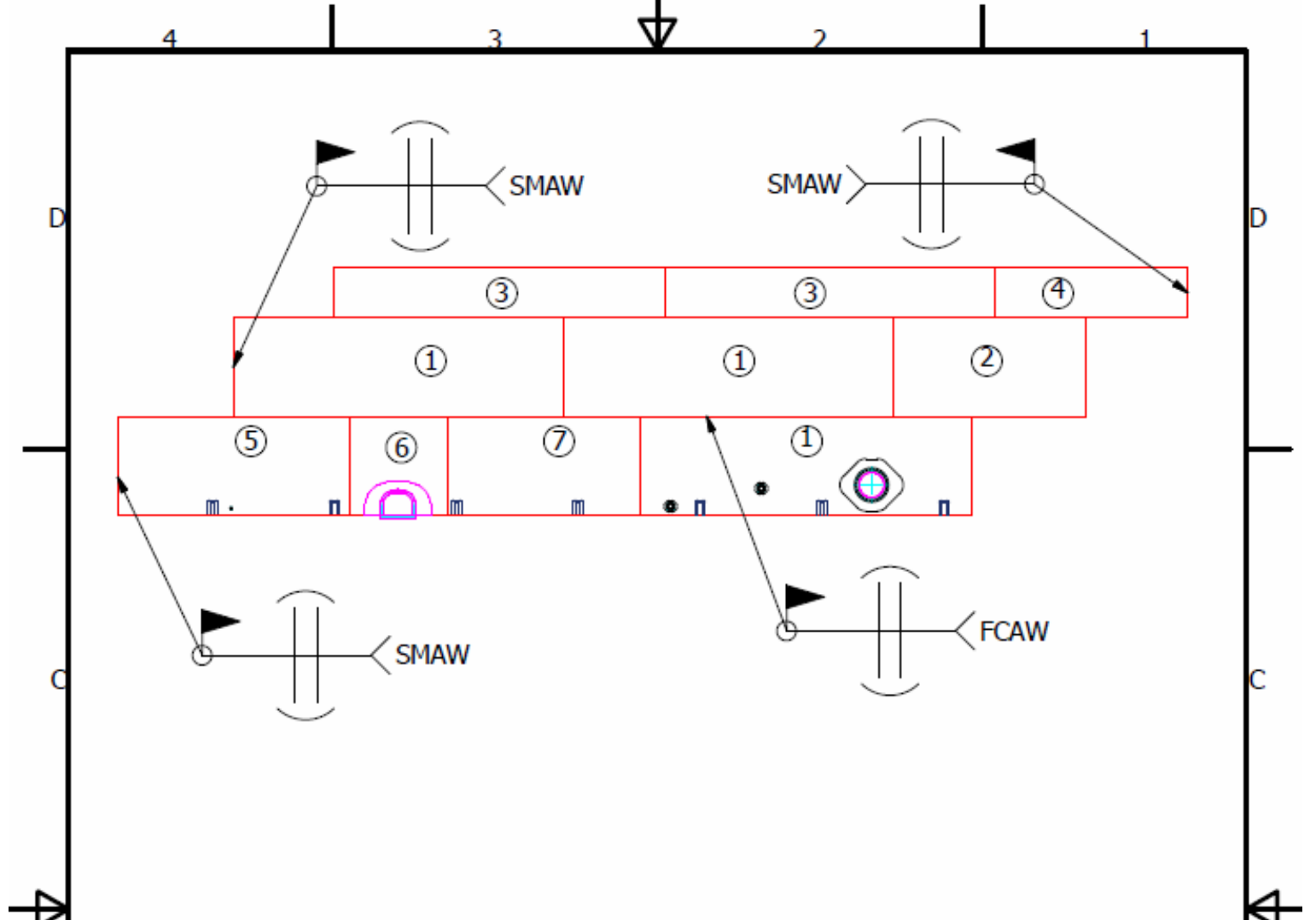
C

D

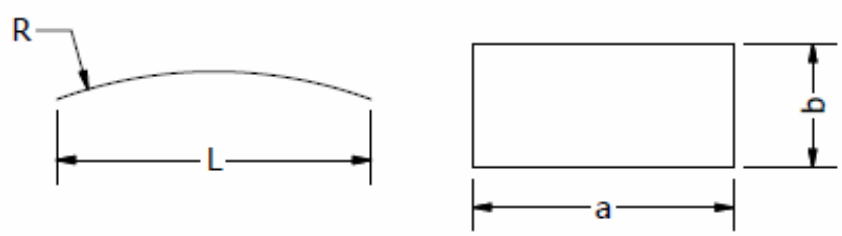
E



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO		PLANTA DE MEZCLADO DE GASOLINA ECOPAIS	
Nombre	Guevara D.	P&ID DE LA PLANTA DE MEZCLADO DE GASOLINA ECOPAIS	
Fecha	1/04/17	Escala N/A	
Dib.	Escudero D.	DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN ISLAS DE CARGA (BLENDING SKIDS)	
Rev.		ECO-DWG-003	
Apro.		Hoja 1de1	
PROYECTO DE TITULACIÓN			
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre



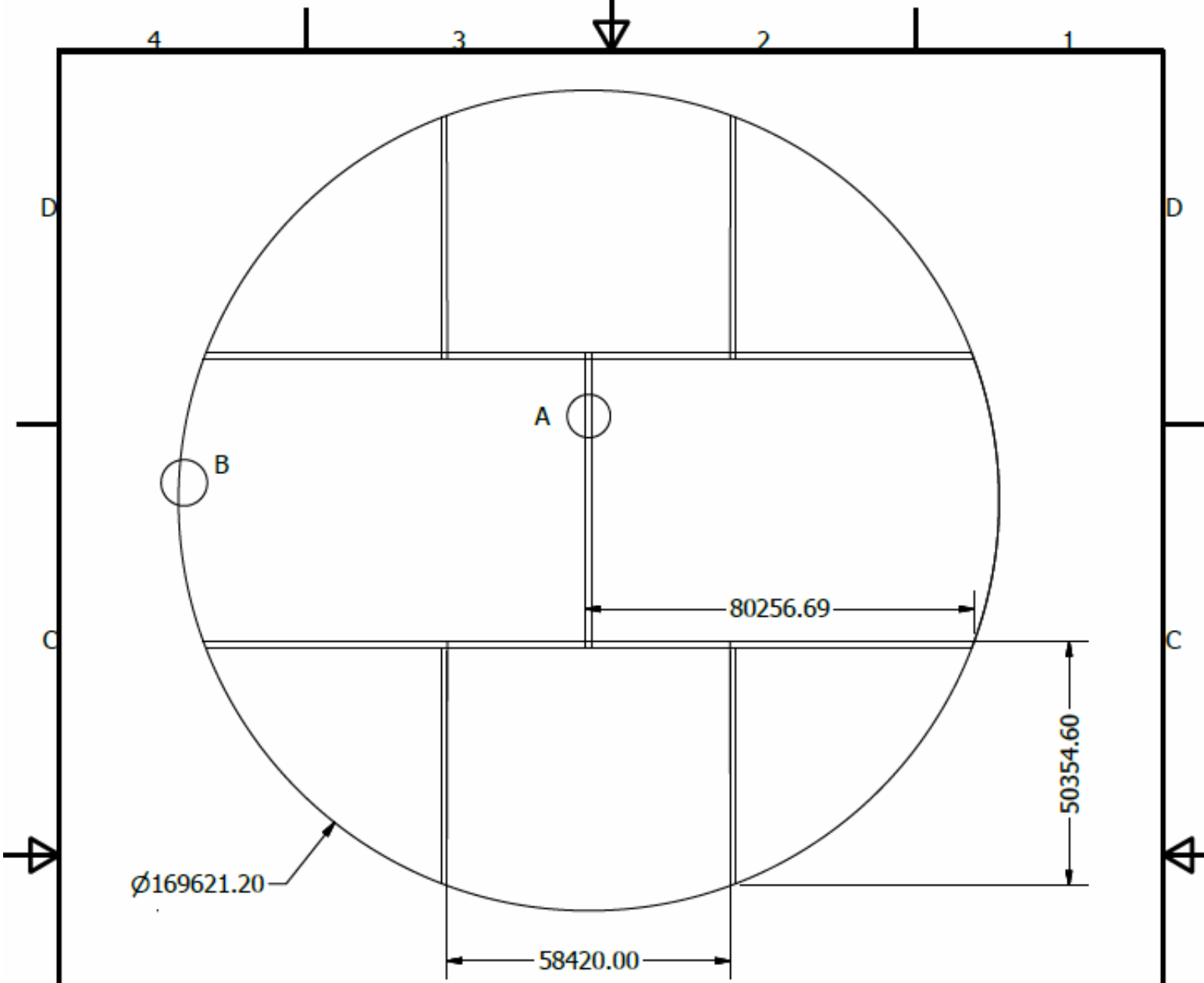
DETALLE DEL CUERPO DEL TANQUE



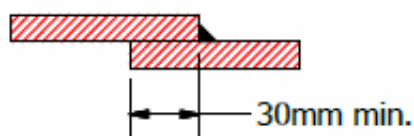
Cod.	a[mm]	b[mm]	L[mm]	R[mm]	t[mm]	Cant.
1	8000	2400	6168,70	3289	6,35	3
2	4659	2400	4279,13	3289	6,35	1
3	8000	1200	6168,7	3289	6,35	2
4	4659	1200	4279,13	3289	6,35	1
5	5600	2400	4947,66	3289	6,35	1
6	2400	2400	2347,11	3289	6,35	1
7	4665,8	2400	4284,3	3289	6,35	1

				USFQ		<b>Cuerpo del tanque</b>	
				Fecha Dib. 10/05/17 Guevara D. Rev. 23/05/17 Escudero D. Apro.		Tanque de almacenamiento etanol 1000 Bls	
				Proyecto de titulación		Escala 1:150	
				Diseño tanque ACTUALIZADO AL 22/05/17		Hoja 1 de 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

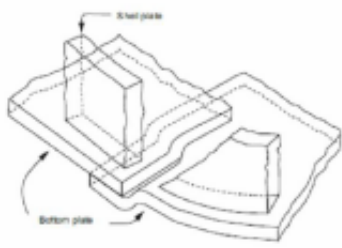




**Detalle A**



**Detalle B**



				USFQ		<b>Fondo del tanque</b>										
				<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>Nombre</td> </tr> <tr> <td>Dib. 10/05/17</td> <td>Guevara D.</td> </tr> <tr> <td>Rev. 23/05/17</td> <td>Escudero D.</td> </tr> <tr> <td>Apro.</td> <td></td> </tr> </table>		Fecha	Nombre	Dib. 10/05/17	Guevara D.	Rev. 23/05/17	Escudero D.	Apro.		Tanque de almacenamiento etanol 1000 Bls		Escala <b>1:150</b>
Fecha	Nombre															
Dib. 10/05/17	Guevara D.															
Rev. 23/05/17	Escudero D.															
Apro.																
<table border="1"> <tr> <td>Edición</td> <td>Modificación</td> <td>Fecha</td> <td>Nombre</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	4				<b>Proyecto de titulación</b>		<b>Diseño tanque</b> ACTUALIZADO AL 22/05/17		Hoja 1 de 1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre													
4																