

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS TANQUES DE 10000 GAL  
Y UNO DE 6000 GAL PARA ALMACENAMIENTO DE  
COMBUSTIBLE LÍQUIDO BAJO NORMAS UL 58 Y UL 1746 PARA  
LA ESTACIÓN DE SERVICIO GAS-PLUS”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO

LUIS OSWALDO JIMÉNEZ GRIJALVA  
CARLOS ERNESTO MALDONADO ÁVILA

DIRECTOR: ING. CARLOS NARANJO  
CODIRECTOR: ING. JUAN ALCÓSER

Sangolquí, 2008 – 05



## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS TANQUES DE 10000 GAL Y UNO DE 6000 GAL PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO BAJO NORMAS UL 58 Y UL 1746 PARA LA ESTACIÓN DE SERVICIO GAS-PLUS”, fue realizado en su totalidad por los Sres. Luis Oswaldo Jiménez Grijalva y Carlos Ernesto Maldonado Ávila, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

-----  
Ing. Carlos Naranjo  
DIRECTOR

-----  
Ing. Juan Alcóser  
CODIRECTOR

Sangolquí, 2008-05-14



## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS TANQUES DE 10000 GAL Y UNO DE 6000 GAL PARA ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO BAJO NORMAS UL 58 Y UL 1746 PARA LA ESTACIÓN DE SERVICIO GAS-PLUS”

ELABORADO POR:

-----  
Luis Oswaldo Jiménez Grijalva

-----  
Carlos Ernesto Maldonado Ávila

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Crnl. ING. JUAN DIAZ

COORDINADOR DE LA CARRERA

Sangolquí, 2008-05



## DEDICATORIA

Con gratitud a mis padres, Pilar y Oswaldo, quienes con su amor, dedicación y sacrificio han sido la fuente de inspiración para lograr cualquier objetivo en mi vida.

Con el cariño y estima de siempre a mis hermanos, Belén, Gabriela, Pilar, María Rosa, Juan, Alessio y Pool.

Con amor a Cristina.

Por último, a todos aquellos para quienes nuestro trabajo pueda serles de utilidad.

Luis Jiménez Grijalva

Dedico este logro en mi vida principalmente a mis padres William y Lourdes por su apoyo continuo y por la formación que supieron darme llena de valores, y a mis hermanos César, Xavier y Fernando por estar a mi lado en buenos y malos momentos y a Danielita por ser quien es.

Carlos Maldonado Ávila





## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y poner personas maravillosas en el camino.

A mi madre, por el amor y comprensión infinitos que solo una madre puede dar.

A mi padre, por el cariño, apoyo incondicional y la confianza que ha depositado en mí.

A mis hermanos y sobrinos, por hacerme participe de momentos inolvidables

A Cristina, por ser quien es y como es.

A Carlitos, por ofrecerme su sincera amistad.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, por facilitarme los recursos necesarios para cumplir con este importante objetivo.

A los Ingenieros Carlos Naranjo y Juan Alcóser, por compartir generosamente sus conocimientos e información, la calidad de su atención y en especial, por su verdadero “amor a la camiseta”.

A Javier y Fernando por abrirme generosamente las puertas de su hogar.

A la metalmecánica Cajo, por facilitarnos el proceso constructivo.

A los Fichas por regalarme parte de su vida.

Gracias a todos de corazón.

Luis Jiménez Grijalva



Existen personas que de una u otra manera han influenciado en mí para llegar a cumplir mis objetivos, por este motivo quiero agradecerles el apoyo brindado sin interés alguno:

- A Dios por darme la vida y una familia llena de bendiciones.
- A mis padres William y Lourdes por sus consejos para ayudarme a encaminar mi vida por un buen rumbo y por ser mis amigos más fieles.
- A mis hermanos César, Xavier y Fernando, por saber escucharme y entenderme, por ser mis amigos y consejeros cuando he tenido problemas.
- A mi sobrina Danielita por saber llenar de alegría la vida de la familia.
- A Lucho mi compañero de proyecto y amigo por su apoyo y amistad en todo momento.
- A Pilar y Oswaldo por abrirme las puertas de su casa durante todo el desarrollo del proyecto.
- Al director y codirector de tesis, Carlos Naranjo y Juan Alcóser, por saber guiarnos para lograr buenos resultados.
- A la Estación de Servicio GAS PLUS por su confianza puesta en nosotros.
- A mis amigos y compañeros por compartir momentos inolvidables durante toda la carrera, ellos han influenciado en mí en forma positiva.
- A la Escuela Politécnica del Ejército y su personal docente por la muy buena educación que he recibido en estos años.

Carlos Maldonado Ávila



## TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	v
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA .....	v
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
TABLA DE CONTENIDOS .....	xiii
LISTADO DE FIGURAS .....	xvii
LISTADO DE TABLAS .....	xxi
LISTADO DE ANEXOS .....	xxiii
NOMENCLATURA UTILIZADA .....	xxv
RESUMEN .....	xxix





















## **LISTADO DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Planos constructivos de los tanques para almacenamiento de combustible.

**ANEXO B:** Norma UL 58.

**ANEXO C:** Norma UL 1746.

**ANEXO D:** Tablas de aforo.

**ANEXO E:** Reglamento ambiental para operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador, Art. Tanques en estaciones de servicio.

**ANEXO F:** Modelado en software de elementos finitos de un tanque de 10000 gal y uno de 6000 gal.

**ANEXO G:** Planos de la implantación arquitectónica de la E/S Gas-Plus hechos por Petróleos y Servicios.

**ANEXO H:** Reportes de verificación.

**ANEXO I:** Reportes de pruebas hidrostáticas.

**ANEXO J:** Memoria de cálculo.





## NOMENCLATURA UTILIZADA

**UL:** Underwriters Laboratories.

**UL 58:** Steel Underground Tanks for Flammable and Combustible Liquids (Norma para tanques de acero subterráneos para almacenamiento de combustible líquido ).

**UL 1746:** External Corrosion Protection Systems for Steel Underground Storage Tanks ( Norma de sistemas de protección contra la corrosión externa para tanques subterráneos de acero ).

**UL 142:** Steel Aboveground Tanks for Flammable and Combustible Liquids ( Norma para tanques de acero en la superficie para almacenamiento de combustible líquido ).

**DNH:** Dirección Nacional de Hidrocarburos.

**DINAPA:** Dirección Nacional de Protección Ambiental.

**FRP:** Fiberglass Reinforced Plastic ( Fibra de vidrio reforzada ).

**API:** American Petroleum Institute ( Instituto Americano del Petróleo).

**MECH:** Motores de encendido por chispa.

**MEC:** Motores de encendido por compresión.

**SOTE:** Sistema Oleoducto Transecuatoriano

**OCP:** Oleoducto de Crudos Pesados

**OTA:** Oleoducto Trasandino

**GLP:** Gas Licuado de Petróleo.

**NBS:** National Bureau of Standards ( Departamento Nacional de Estándares ).

**ASTM:** American Society for Testing and Materials ( Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ).

**STI:** Steel Tank Institute ( Instituto de tanques de acero ).

**SMAW:** Shielded Metal Arc Welding ( Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido ).

**GMAW:** Gas Metal Arc Welding ( Soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa ).

**Vnom:** Volumen nominal de tanque (gal).

**Iv:** Porcentaje de incremento volumétrico (%).

**V:** Volumen real del tanque (gal).

**Fc\_1:** Factor de conversión de gal a m3.

**V\_I:** Volumen real del tanque (m3).

**Di\_I:** diámetro interno del tanque (m).

**Lp:** Longitud de planchas de acero (mm).

**Ep:** Espesor de planchas de acero (mm).

**Fc2:** Factor de conversión de m a plg.

**Di:** Diámetro interno del tanque (plg).

**De\_I:** diámetro externo en el S.I. (m)

**De:** diámetro externo (plg).

**Fc3:** factor de conversión de gal a plg3.

**L:** longitud del tanque (plg).

**Fc4:** factor de conversión de plg a m.

**L\_I:** longitud del tanque (m).

**Np:** Número de planchas.

**Fp:** Fracción de plancha.

**Ap:** Ancho de planchas de acero (mm).

**rac:** densidad del acero ASTM A36 (kg/m3).

**rfrp:** densidad del recubrimiento de fibra de vidrio (kg/m3).

**m1:** masa del cuerpo del tanque (kg).

**Ep:** Espesor de planchas de acero (mm).

**m2:** Masa de las cabezas (kg).

**m3:** Masa del recubrimiento del cuerpo (kg).

**tf:** Espesor de la fibra de vidrio (plg).

**tf\_I:** Espesor de la fibra de vidrio (mm).

**m4:** Masa del recubrimiento de las cabezas (kg).

**mt:** masa total del tanque (kg).

**Es:** Módulo de elasticidad del acero A36 (psi).  
**Ef:** Módulo de elasticidad de la fibra de vidrio (psi).  
**W:** Espesor equivalente  
**yn:** Distancia al eje neutral (plg).  
**ts:** Espesor de las paredes del tanque (plg).  
**teq:** Espesor equivalente del acero (plg).  
**Ix:** Momento de inercia alrededor del eje neutral (plg<sup>4</sup>).  
**r:** radio del tanque (plg).  
**u:** Coeficiente de Poisson.  
**P:** Presión de falla con FRP (psi).  
**P1:** Presión hidrostática (psi).  
**r:** Densidad del agua dulce (libra/pie<sup>3</sup>).  
**FS:** Factor de seguridad.  
**t<sub>min</sub>:** Espesor mínimo (plg).  
**t<sub>min\_I</sub>:** Espesor mínimo (mm).  
**A<sub>f</sub>:** Superficie externa del tanque (m<sup>2</sup>).  
**ds:** Densidad superficial de la fibra de vidrio (kg/m<sup>2</sup>)  
**M<sub>f</sub>:** Masa de fibra de vidrio (kg).  
**M<sub>r</sub>:** Masa de resina de poliéster (kg).  
**M<sub>nc</sub>:** Masa de naftaleno de cobalto (kg).  
**M<sub>pma</sub>:** Masa de peróxido de metil etil acetona (kg).  
**a:** Distancia entre placas de acero (m).  
**A<sub>sr</sub>:** Área transversal de la soldadura (m<sup>2</sup>).  
**msr:** Densidad lineal de las soldaduras (Kg/m).  
**L<sub>sr</sub>:** Longitud total de cordones de soldadura (m).  
**M<sub>sr</sub>:** Masa de las soldaduras rectas (kg).  
**M<sub>st</sub>:** Masa de las soldaduras a traslape (kg).  
**M<sub>ec</sub>:** Masa de electrodos (kg).  
**T1:** Fuerza en la cadena (N).  
**T1<sub>x</sub>:** Fuerza en la cadena sobre el eje X.  
**T1<sub>y</sub>:** Fuerza en la cadena sobre el eje Y.

**$R_x$** : Reacción de fuerza en el lift lug en el eje X.  
 **$R_y$** : Reacción de fuerza en el lift lug en el eje Y.  
 **$M$** : Momento generado en la mitad del Lift Lug.  
 **$A$** : Área de la garganta de soldadura (mm<sup>2</sup>).  
 **$h$** : Cateto de soldadura (mm).  
 **$l$** : largo del lift lug (mm).  
 **$E_p$** : Ancho del lift lug (mm).  
 **$\tau_1$** : Esfuerzo cortante 1 generado por fuerza sobre el eje Y en el lift lug (MPa).  
 **$I_u$** : Segundo momento de inercia generado en el área unitaria (mm<sup>3</sup>).  
 **$I$** : Segundo momento de inercia de área de soldadura en el lift lug con respecto al eje que pasa por G, paralelo al eje Z (mm<sup>4</sup>).  
 **$\tau_2$** : Esfuerzo cortante generado por el momento alrededor del punto G (MPa).  
 **$\tau_{12}$** : Esfuerzo cortante total (MPa).  
 **$\tau_3$** : Esfuerzo cortante generado por la fuerza en el eje X (MPa).  
 **$\tau$** : Esfuerzo resultante total generado en la garganta de soldadura de un lift lug (MPa).  
 **$S_{Sy}$** : Límite de fluencia elástico a cortante para electrodo E6011 (MPa).  
 **$S_y$** : Límite de fluencia elástico a tensión para electrodo E6011 (MPa).  
 **$\tau_{yx}$** : Esfuerzo cortante en el plano yx (MPa).  
 **$\sigma_{y1}$** : Esfuerzo por tensión generado en el material base (MPa).  
 **$I$** : Momento de inercia del área en contacto entre el material base y la soldadura de los lift lugs (mm<sup>4</sup>).  
 **$\sigma_{y2}$** : Esfuerzo generado por el momento en el lift lug sobre el material base (MPa).  
 **$\sigma_y$** : Resultante del esfuerzo de tensión generado sobre el material base (MPa).  
 **$\sigma_1$** : Esfuerzo principal 1 (MPa).  
 **$\sigma_3$** : Esfuerzo principal 3 (MPa).  
 **$\sigma_{eq}$** : Esfuerzo equivalente (MPa).  
 **$\sigma$** : Esfuerzo por aplastamiento (MPa).

## RESUMEN

La estación de servicio GAS-PLUS, ubicada en la parroquia Ascázubi del cantón Cayambe, propuso el presente proyecto sobre el diseño y construcción de tres tanques cilíndricos subterráneos para almacenamiento de combustible líquido con la finalidad de que una vez construidos, éstos formen parte del sistema de almacenamiento de combustible de sus instalaciones.

En base a estudios previos de la comercializadora Petróleos y Servicios, representante de la estación de servicio, se determinó que los tanques de almacenamiento debían tener las siguientes capacidades:

- Un tanque de 6.000 gal para almacenamiento de gasolina súper.
- Dos tanques de 10.000 gal, uno para almacenamiento de gasolina extra y uno para almacenamiento de diesel.

En el art.78 del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador se establece que los tanques subterráneos en estaciones de servicio deben ser fabricados bajo normas UL-58 y UL-1746, de esta forma el tanque base debe ser construido de acuerdo a UL-58 y posteriormente la protección contra corrosión es añadida de acuerdo a UL-1746.

Un estudio previo de las normas y de las necesidades de la estación de servicio permitió determinar que los tanques debían ser compuestos, fabricados con planchas de acero ASTM A-36 de 6mm de espesor, de cabezas planas, que el recubrimiento externo sería de fibra de vidrio con un espesor de 3mm, con juntas rectas de soldadura para el cuerpo, además cada tanque debería contar con un manhole, dos conexiones con un diámetro nominal de 2" y tres conexiones de 4", adicionalmente se acordó la realización de pruebas hidrostáticas para la verificación de la estanqueidad de cada uno de los tanques.

Durante la etapa de diseño se determinaron las dimensiones generales de los tanques, la masa total de cada uno, se verificó que los espesores de fibra de vidrio y de acero propuestos brinden la resistencia adecuada ante la presión de entierro, se establecieron además las cantidades de materiales necesarios para la fabricación de los tanques, los procedimientos de soldadura a emplear tanto en el cuerpo como en cabezas, las características geométricas y dimensionales de cada una de las conexiones, cabezas y el manhole, finalmente se desarrolló el diseño de los lift lugs y se elaboraron los planos constructivos correspondientes.

Para la fabricación se seleccionó de entre varias opciones a la Metal Mecánica Cajo y a través de visitas previas se establecieron los errores en los que se incurría, con la finalidad de que estos no se repitan durante la construcción de los tanques motivo del proyecto.

Adicionalmente se elaboraron los diagramas de proceso a seguir, incluyendo tiempos estimativos y se establecieron los requerimientos mínimos necesarios en cuanto a equipo, herramientas, personal, materiales e insumos. A su vez se planificó el proceso de inspección a seguir y se elaboraron las listas de chequeo correspondientes para cada etapa de inspección.

El proceso de inspección se inició con la llegada de la materia prima y continuó durante todo el proceso constructivo hasta su finalización, permitiendo llevar un control estricto de la construcción.

Las pruebas hidrostáticas en cada uno de los tanques se llevaron a cabo una vez que se finalizó la etapa de soldadura, la sobre presión establecida en UL-58 se obtuvo mediante la aplicación una columna de agua equivalente a 5 PSI, como resultado de las pruebas se obtuvo que ningún tanque presentó algún tipo de filtración o deformación en su estructura.

Finalmente se elaboró un análisis económico a fin de establecer los costos reales en los que se incurrió durante la realización del proyecto, de esta forma como resultado se obtuvo el monto real financiado por la estación de servicio.

