



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Diseño detallado de recipiente tipo tanque para cuantificar las pérdidas de diluyentes en procesos de tratamiento y transporte de crudo pesado y extra pesado que será utilizado en el laboratorio de fenómenos interfaciales, reología y crudos del ICP.

AUTORES

Francisco José Martínez Pinilla Código 91186266

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA
BUCARAMANGA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 02-12-2019**



Diseño detallado de recipiente tipo tanque para cuantificar las pérdidas de diluyentes en procesos de tratamiento y transporte de crudo pesado y extra pesado que será utilizado en el laboratorio de fenómenos interfaciales, reología y crudos del ICP.

AUTORES

Francisco José Martínez Pinilla código 91186266

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electromecánico**

DIRECTOR

MSC. Carlos Gerardo Cárdenas Arias

Grupo de investigación en Diseño y Materiales-DIMAT.

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA
BUCARAMANGA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 02-12-2019**

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por cada día que me regala, a mis padres José Martínez y Martha Susana Pinilla que siempre me brindan su apoyo y cariño, también a mi hermana y mi sobrino que me motivan siempre a mejorar, a los docentes de las Unidades Tecnológicas de Santander y al personal del Instituto Colombiano de Petróleo por brindarme su experiencia así como su conocimiento durante toda esta etapa de formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	10
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3. OBJETIVOS	11
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	12
2. MARCOS REFERENCIALES	14
2.1.1 MARCO LEGAL.....	14
2.1.2 MARCO NORMATIVO.....	15
2.1.3 MARCO AMBIENTAL	16
2.1.4 MARCO CONCEPTUAL	16
2.1.5 MARCO HISTÓRICO.....	18
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	21
4. RESULTADOS	22
4.1 CONSULTAR BASE BIBLIOGRÁFICA.....	22
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO.....	24
4.2.1 CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y ESPACIALES.....	24
4.3 ANÁLISIS DE DISEÑOS PRESENTADOS ETAPA 1.....	28
5. CONCLUSIONES	46
6. RECOMENDACIONES.....	48
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
8. ANEXOS.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1, Horno DIES.....	252
Figura 2, Esquema balanza gravimétrica Mettler Toledo. ..¡Error! Marcador no definido.3	
Figura 3, Esquema balanza gravimétrica Ohaus Pioneer. .¡Error! Marcador no definido.4	
Figura 4, Envase 1 con Tapa 1	296
Figura 5, Envase 2 con Tapa 2	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6, Tanque 1 L/D= 0.57	21
Figura 7, Tanque 2 L/D=0.35	21
Figura 8, Tapa 1 L/D=0.57	22
Figura 9, Tapa 1 L/D=0.35	22
Figura 10, Tapa 2 L/D=0.57	23
Figura 11, Tapa 2 L/D=0.35	23
Figura 12, Diagrama de fuerzas cuerpo sumergido	24
Figura 13, Tapa 3. Techo flotante L/D=0.57	26
Figura 14, Tapa 3. Techo flotante L/D =0.35	26
Figura 15, Ensamble tapa 1	27
Figura 16, Ensamble tapa 2	27
Figura 18, Tanque aluminio (L/D=0.57)	28
Figura 19, Tanque aluminio (L/D=0.57) lleno con 70 g de crudo	28
Figura 20, Tapa 1 (L/D=.57)	29
Figura 21, Conjunto tanque y tapa 1 (L/D=0.57)	29
Figura 22, Tapa 3 (L/D=0.57)	30
Figura 23, Conjunto tanque y tapa 3 (L/D=0.57)	30
Figura 24, Prueba flotabilidad tapa 3 (L/D=0.57) en nafta	31
Figura 25, Prueba flotabilidad tapa 3 (L/D=0.57) en crudo Chichimene	32
Figura 17, Prueba flotabilidad tapa 3 (L/D=0.57) en mezcla crudo Chichimene y nafta ...	32
Figura 17, Prueba flotabilidad tapa 3 (L/D=0.57) en patrón referencia N1000	33

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla 1. Espesores según norma</u>	¡Error! Marcador no definido.	1
<u>Tabla 2. Característica del horno DIES</u>		253
<u>Tabla 3. Características técnicas, balanza AT400</u>	¡Error! Marcador no definido.	4
<u>Tabla 4. Características técnicas, balanza PA224C</u>	¡Error! Marcador no definido.	5
<u>Tabla 5. Ventajas y desventajas del Tanque 1</u>		296
<u>Tabla 6. Ventajas y desventajas Tanque 2</u>	¡Error! Marcador no definido.	8

RESUMEN EJECUTIVO

Durante este trabajo en el laboratorio de Fenómenos interfaciales y evaluación de hidrocarburos se elabora un dispositivo de cuantificación de pérdidas por evaporación de los diluyentes empleados en transporte de crudo pesado y extrapesado.

En el documento se recopila información, tomando como punto de partida los elementos base que se tienen en el laboratorio FIEH y con los que se realizaron las pruebas básicas para establecer las pérdidas de mezclas en tanques de almacenamiento y transporte.

En principio se realizó una revisión bibliográfica del material disponible, incluyendo trabajos previos y recientes relacionados al tema, con el fin de entender lo mejor posible el proceso que debe ser simulado en el laboratorio mediante experimentos a pequeña escala. Es fundamental la identificación de la variable que será medida en la simulación y ajustar los posibles modelos para que dicha variable entregue la mayor información.

Con esta revisión se determinaron las condiciones básicas y parámetros fundamentales que limitan el procedimiento para la determinación de pérdidas por evaporatividad, ya que son estas condiciones las que debe seguir el diseño del dispositivo de almacenamiento.

PALABRAS CLAVE: pérdidas, evaporatividad, crudo pesado y extrapesado, diluyentes.

INTRODUCCIÓN

Debido a la alta viscosidad que presentan algunos crudos producidos en la industria de hidrocarburos es necesario diluirlos para hacer viable su transporte y comercialización; se hace mediante el uso de naftas, gasolinas, aromáticos entre otros, estos productos por sí solos y a bajas temperaturas desprenden fracciones livianas, fenómeno que aumenta con el incremento de la temperatura.

El procedimiento para cuantificar pérdidas por evaporatividad tiene como propósito favorecer la selección de diluyentes con menor afectación por evaporación o bien, cuantificar de manera aproximada las pérdidas que generará un tipo de diluyente cuando es mezclado con un crudo pesado.

Actualmente se cuenta con un procedimiento recomendado y desarrollado por ECOPETROL en el Laboratorio de Fenómenos Interfaciales y Evaluación de Hidrocarburos para determinar las pérdidas por evaporación con una precisión robusta, empleando dispositivos disponibles en el mismo laboratorio. Este procedimiento fue producto de la experimentación realizada en el laboratorio, mediante ensayo y error se identificaron variables y se establecieron protocolos de prueba, esto junto al conocimiento del equipo de profesionales realizando las pruebas permitió el desarrollo de la metodología.

El desarrollo del diseño detallado del prototipo para cuantificación de pérdidas de diluyentes en mezclas de hidrocarburo con productos refinados (de crudos diluidos) , busca mejorar la precisión y funcionalidad de la metodología usada en laboratorio y de esta manera lograr la eficiencia en el proceso, practicidad en el momento de las pruebas así como mitigar los efectos de las deficiencias del material de construcción del prototipo, también disminuir la incertidumbre en los resultados que se obtengan por este método.

Este documento está organizado de la siguiente manera: primero se realiza una limitación y se define un alcance del diseño. Luego se presentan los antecedentes e información disponible del procedimiento y fenómeno. Más adelante, se organizan las condiciones de la prueba, los equipos necesarios y sus características ya que estos definen el diseño que se quiere lograr. Posteriormente se hace una valoración de los diseños conceptuales que se entregaron durante la primera etapa del trabajo realizado en la cohorte 1, con estudiantes de las UTS. Finalmente, con estas valoraciones se diseñó el nuevo dispositivo que cumpla con el objetivo de la práctica y ayude a desarrollar la exactitud de la metodología para cuantificar pérdidas por evaporación.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad colombiana se vive diferentes problemáticas en el sector energético, con complicaciones ambientales, económicas y hasta de la misma materia prima; como acontece con el petróleo, el cual para ser tratado deber ser mayor a los 23.0 API (crudo medio) y preferiblemente mayor a 31,1 API (crudo liviano), quedando los crudos pesados y extra pesados fuera de la facilidad de tratamiento y obteniendo deficiencias en el transporte, generando pérdidas económicas para el país y empresas petroleras.

Es importante reducir y controlar las pérdidas por evaporación en el transporte y almacenamiento de crudo debido a que no solo representan un costo económico sino además una fuente de gases tipo invernadero.

En esta práctica se emplearán conceptos de diseño de tanques hacia el equipo de cuantificación de pérdidas de diluyentes; se debe hacer una revisión del diseño conceptual con el que cuenta el ICP y que fue propuesto en la cohorte pasado con el fin de optimizar el mismo y de esta manera aportar soluciones eficaces a la problemática anteriormente planteada.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto propuesto busca mediante la aplicación de conceptos, metodología y proceso diseñar un equipo de cuantificación de pérdidas de diluyentes en la evaporatividad encontrados en procesos de tratamiento de transporte de crudo pesado y extra pesado, debido a que al realizar procesos de dilución o calentamiento se evapora los crudos habiendo gases nocivos y pérdidas del mismo material, pudiendo recobrar menos del 10% debido a los procedimientos complejos y de alto costo (Restrepo, 2012), en ciertas instancias hasta pérdidas económicas, por tal motivo la viabilidad del diseño de cuantificación es necesario como punto de mitigación a la merma de producto, con propósito de incrementar el aprovechamiento del crudo e incentivar el desarrollo al incremento de producción y transporte mayor al porcentual ya referenciado.

Debido a la problemática anteriormente presentada y a al convenio UTS-ICP, es de vital importancia la implementación de esta investigación en laboratorio con bases al mejoramiento económico, como también el desarrollo del interlocutor (practicante), en el apoyo de la solución de los problemas relacionado con el tratamiento y transporte del petróleo pesado y extrapesados, herramientas para el mejoramiento y formación para ambas instituciones. Conformándose de esta manera las prácticas en el ICP de una manera eficiente en el proceso de aprendizaje.

1.3. OBJETIVOS

Para desarrollar el documento que contenga el diseño detallado del dispositivo para cuantificación de pérdidas (Recipiente tipo tanque para evaluar evaporatividad) de diluyentes en procesos de transporte de crudo pesado y extrapesado se plantean los siguientes objetivos.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño detallado de recipiente tipo tanque para cuantificar las pérdidas de diluyentes en procesos de tratamiento y transporte de crudo pesado y crudo extrapesado mediante la revisión del diseño conceptual existente que será utilizado en el laboratorio de fenómenos interfaciales, reología y crudos del ICP.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Consultar la base bibliográfica disponible para comprender los procesos de tratamiento y transporte de crudo, así como el uso de diluyentes en estos procesos y la importancia de cuantificar las pérdidas de estos.
- Identificar las condiciones y reglamentación vigente para cuantificar las pérdidas de diluyentes en procesos de tratamiento y transporte de crudo pesado y extrapesado.

- Estructurar el diseño detallado del dispositivo que cuantifique las pérdidas (recipiente tipo tanque para evaluar evaporatividad) siguiendo normas y estándares vigentes que será utilizado en el laboratorio de fenómenos interfaciales, reología y crudo del ICP.
- Documentar el proceso que contenga los esquemas, recomendaciones y funcionamiento básico del dispositivo de cuantificación.
- Realizar pruebas analíticas que permitan mejorar el diseño y evaluar su viabilidad técnica.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Actualmente ECOPETROL cuenta con reservas de crudos pesados y extrapesados que requieren para su tratamiento y transporte ser mezclados con diluyentes como la nafta, siendo esta la razón por la cual genera pérdidas que deben ser cuantificadas para que se realice el balance de producción, requerido para el pago de regalías a las regiones productoras.

En el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), desde hace unos años creó una metodología y se realizó el diseño de un prototipo escala laboratorio que permitió cuantificar las pérdidas. Sin embargo, surgió la necesidad de diseñar un dispositivo mejorado a escala que cumpla con algunos de los parámetros de diseño de los tanques con los que cuentan actualmente las diferentes instalaciones de ECOPETROL y que asegure una mejor precisión del método.

Como base a la investigación, se revisó la parte teórica y práctica del laboratorio, que aportó diferentes aspectos a la investigación (parámetros y limitantes), para tener variedad de criterios en el análisis de la información que soportará el diseño. A continuación, se presenta a manera de resumen, la revisión de la información realizada.

- **“Manual de medición de hidrocarburos y combustibles del capítulo 19 de pérdidas por evaporación en tanques de almacenamiento”**

El documento aporta un glosario, condiciones generales, tipos de tanques con techo fijo o flotante, clasificación de las pérdidas, desarrollo para definición de variables o para el procedimiento de cálculos con los casos especiales como lo son los tanques horizontales, pérdidas para tanques de techo fijo y techos abovedados, pérdidas para tanques de techo flotante, registros y contingencias.

- **Manual Único de medición de Ecopetrol**

El documento refiere una minuciosa clasificación de los tanques, el uso según su forma y producto, aspectos importantes sobre los tanques y observaciones sobre seguridad. Habla de procedimientos de medición detallados con respecto a la altura de referencia, marca, corte, agua libre con sus sedimentos y agua suspendida con sus sedimentos, acompañado estos procedimientos con el paso a paso y comentarios para realizar una medición eficiente y con los procedimientos de medición. El adecuado uso de las herramientas para medir, adicionalmente contiene información de muestreo, cálculos, reportes y ejemplos usados en la medición junto con ejemplos y al final tres anexos para ayudar a la comprensión de la información como lo es determinar la densidad °API, el sedimento de los crudos y procedimientos para determinar agua en productos del petróleo. (Instituto Colombiano de Petróleo, 1986). Se debe recalcar, que algunas variables fueron evaluadas y tenidas en cuenta para crear la metodología de pérdidas por evaporatividad en el laboratorio del FIR.

- **“Instructivo para determinar pérdidas por evaporación de crudos, mezclas de crudos y diluyentes.” Laboratorio de fenómenos interfaciales y evaluación de hidrocarburos.**

Este documento presenta una metodología para determinar pérdidas por evaporación de crudos, diluyentes y mezclas formuladas para transporte de crudos pesados, con un margen de precisión discreto, lo cual favorece la selección de diluyentes con menor afectación por evaporación o bien, cuantificar de manera aproximada las pérdidas que generará un tipo de diluyente cuando es mezclado con crudo pesado.

- **“API. MPMS. Capítulo 19.1 Pérdidas por evaporación en tanques de techo fijo” y “API. MPMS. Capítulo 19. Pérdidas por evaporación en tanques de techo flotante”**

En estos documentos se presentan consideraciones para estimar las pérdidas anuales por evaporación en varios tipos de tanque (techo fijo y flotante), dependiendo de las características del líquido almacenado, tamaño del tanque y material de fabricación, tipo de venteo, temperatura de almacenamiento, volúmenes manejados y datos del medio ambiente (la velocidad del viento, temperatura ambiente promedio y presión atmosférica) .

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1.1 MARCO LEGAL

Las leyes encargadas del manejo y transporte del petróleo se tienen:

- ☐ El ministerio de relaciones exteriores y ministerio de trabajo y seguridad social con la Ley 55 de 1993 con la recomendación 177 habla de la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo.
- ☐ El ministerio de justicia y el Ministerio del medio ambiente con la Ley 430 de 1998 dicta normas de prohibición referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- ☐ El ministerio de minas y energía con el Decreto 1521 del 4 de agosto de 1998 reglamento el almacenamiento, manejo, transporte y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo.
- ☐ El ministerio de trabajo y seguridad social con el decreto 1295 de 1994 determina la organización y la administración del sistema de riesgos profesionales.
- ☐ El decreto 3065 de 1984 toma medidas sobre la distribución de hidrocarburos y sus derivados.
- ☐ Decreto 0283 de 1990 reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y el transporte por carrotaques de petróleo crudo.
- ☐ La resolución 0001 de 1996, resolución 0001 de 1995, resolución 0031 de 1991, resolución 004 de 1996, resolución 003 de 1997 disponen el control de otras sustancias peligrosas.
- ☐ La ley 253 de 1995 aprueba el convenio sobre el control del transporte internacional de desechos peligrosos y su eliminación.
- ☐ Decreto 300 de 1993 el cual se establecen unas obligaciones para los distribuidores mayoristas, minoristas y transportadores de combustibles blancos derivados del petróleo
- ☐ En la constitución política en el artículo 360 habla sobre la explotación de recurso natural no renovable, pidiendo a favor del estado una contra prestación económica a título de regalía sin perjuicio de cual otro derecho o compensación que se pacte.

(Ministerio de transporte, 2002)

En el ámbito legal, al ser de modalidad de prácticas hay q tener en cuenta un poco de su reglamentación:

- ☐ La Práctica Estudiantil no es una vinculación laboral regulada por el código Sustantivo del Trabajo, ya que la persona participará en ella como un estudiante y no un trabajador, configurando un Convenio entre la Entidad Educativa y la Empresa que recibe al Practicante Estudiantil.

- ☐ El art. 7º del Decreto 933 de 2003, establece claramente que las prácticas educativas, los programas sociales o comunitarios, no constituyen un Contrato de Aprendizaje y son los siguientes: 1. Las actividades desarrolladas por los estudiantes universitarios a través de Convenios suscritos con las Instituciones de Educación Superior en calidad de Pasantías que sean prerequisite para la obtención del título correspondiente. 2. Las prácticas asistenciales y de servicio social obligatorio de las áreas de la salud y aquellas otras que determine el Ministerio de la Protección Social. 3. Las prácticas que sean parte del servicio social obligatorio, realizadas por los jóvenes que se encuentran cursando los dos (2) últimos grados de educación lectiva secundaria, en instituciones aprobadas por el Estado. (Conocido también como Alfabetización). 4) Las prácticas que se realicen en el marco de Programas o Proyectos de protección social adelantados por el Estado o por el sector privado, de conformidad con los criterios que establezca el Ministerio de la Protección Social. (MINEDUCACIÓN, 2015)

2.1.2 MARCO NORMATIVO

En la normatividad se localizan diferentes instalaciones encargadas de vigilar el cumplimiento con los lineamientos requeridos por el país y apoyados con la ley, entre ellos podemos encontrar: la CREG y los diferentes Ministerios regulatorios:

- ☐ La comisión regulatoria de energía y gas (CREG) en la resolución 074 de septiembre de 1996, la cual regula el servicio público domiciliario de gases licuados del petróleo.
- ☐ El ministerio de minas y energía con la resolución 800505 del 17 de marzo de 1997 se dicta el reglamento técnico al cual debe someterse el almacenamiento, manejo, comercialización mayorista y distribución de GLP.
- ☐ EL ministerio de desarrollo económico en la resolución 0006 del 22 de julio de 1997 establece la obligatoriedad de algunas normas técnicas del sector embalaje y envase.
- ☐ EL ministerio de desarrollo económico en el decreto 112 de 1996 crea procedimiento de evaluación de la conformidad y se dictan normas para armonizar la expedición de reglamentos técnicos.
- ☐ El decreto 321 de 1999 especifica el plan nacional de contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas.
- ☐ La resolución 40266 de 31 de marzo de 2017 establece la metodología a ser aplicada en la determinación de volúmenes máximos de combustibles líquidos excluidos de IVA y exentos de arancel e impuesto nacional a la gasolina.
- ☐ Resolución 822 de 1998 relacionada con las pautas para la gestión de residuos peligrosos y normas técnicas para los análisis de residuos peligrosos.
- ☐ EL decreto 400 de 1994 asigna unas funciones de control sobre el GLP al ministerio de transporte.

- ☐ Decreto 1452 de 1998 asigna 24 funciones a INGEOMINAS relacionadas con la caracterización de procesos de materiales nucleares y la protección radiológica y de seguridad de energética.
- ☐ Como normativa primordial, hay que cumplir con la norma ISO 4001 sobre la seguridad y salud en el trabajo.

(Ministerio de transporte, 2002)

2.1.3 MARCO AMBIENTAL

En el marco ambiental de hidrocarburos la parte legislativa es la que lo maneja, alguno de sus reglamentos ambientales es:

- ☐ La ley 430 de 1998 se dicta normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos.
- ☐ El decreto 1545 de 1998 se reglamenta los regímenes sanitarios de control de calidad y de vigilancia de los productos de aseo, higiene y limpieza domésticos, como otras disposiciones (INVIMA). Importante en el manejo de los hidrocarburos en el laboratorio.
- ☐ El Invima con el decreto 561 del 2009 en el capítulo 1, expone sobre el cuidado a la naturaleza
- ☐ Ley 1689 de 1996 habla sobre los principios relativos a la propiedad y a la concesión de hidrocarburos, de igual manera, habla del reglamento ambiental para el sector petrolero.

Finalmente, al estar ubicados en el área metropolitana de Bucaramanga, es importante tener en cuenta el reglamento sísmico, como lo es el decreto 919 de 1989 y el decreto 93 de 1998 el cual se adopta al plan nacional para la prevención y Atención de desastres. (IDEAM, 1998)

2.1.4 MARCO CONCEPTUAL.

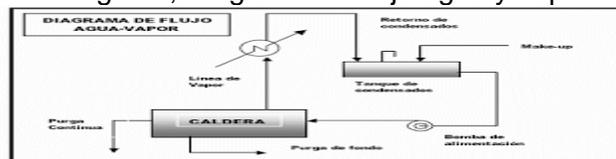
Es fundamental definir los conceptos presentes en el ámbito de los hidrocarburos, empezando con el petróleo, el cual viene de los cráteres subterráneos que hay en la tierra, se forma gracias a la descomposición de algas y compuestos orgánicos junto a la combinación de altas presiones y temperatura luego de muchos años. Estos compuestos no son solubles con el agua y se puede conocer fácilmente por su color negro sacados por medio de perforaciones al subsuelo donde están resguardados y transportados por tubos a los oleoductos.

Otros conceptos son los llamados lixiviados del petróleo, los cuales generalmente son los desechos después del refinamiento al petróleo, tratamientos para el aprovechamiento de

sus componentes, siendo estos compuesto de hidrogeno y carbono en su mayoría parafinas, con estos tratamientos y refinamientos es que se obtiene del petróleo el gas ,inerte, estos son utilizado como combustibles, el refinamiento también produce la nafta, un líquido cristalino como el Varsol, usado como combustible, el otro producto es la gasolina igualmente es líquida con mayor densidad que la nafta, varia de color según el país o refinería. Comúnmente usada como combustible automotriz y con un octanaje (capacidad de compresión) de 80 hasta casi 100 octanos, después se tiene el Diésel o ACPM siglas de Aceite combustible para motor, usados para maquinarias industriales y barcos, luego siguen los lubricantes, los más densos y viscosos de los productos del petróleo, se usan para facilitar movilidad y ayuda a partes articuladas, por último y más pesado producido en la ramas del hidrocarburo es el asfalto, muy denso de color negro y usado para la pavimentación de carretas y caminos.

Debido a la densidad de estos productos y sus diferentes propiedades es que se hace uso de diluyentes y se debe calentar el fluido para facilitar su transporte.

Imagen 1, Diagrama de flujo agua y vapor



Autores: continuoussteamijection. Blogspot

Todos los productos del refinamiento del petróleo tienen un poder calorífico, este poder es la capacidad de producir calor al quemarse, caso complicado con los crudos pesados o extra pesados pues estos al ser tan densos se denominan menores de 21 API ,su transporte es supremamente difícil de hacer por ducto a largos tramos por ello se aplican diferentes métodos para volverlo manejable como aplicarles calor, amónico o químicos diluyentes, estos métodos provienen de la calorimetría, encargada de la medición del calor y constantes térmicas. Al diluir los crudos se baja la densidad, la cual es la derivada de la masa sobre el volumen como tal la cantidad de peso que tiene en una área determinada, al incidir estos procesos de dilución se crean reacciones químicas produciendo gases, evaporatividad del crudo pesado y extra pesado como si convirtiéramos parte de este en gas, para su transporte es un gas no productivo y que podría ocasionar daños y pérdidas, Son estas consecuencias y perdidas las que son estudiadas y tratadas en el laboratorio del ICP (instituto Colombiano de petróleo) y es esta entidad la encargada de mejorar procesos, innovar y facilitar el tratamiento de hidrocarburos con el fin de reducir las pérdidas y consecuencias en esta parte del proceso industrial.

2.1.5 MARCO HISTÓRICO

La historia moderna de la perforación de pozos de petróleo y el uso del mismo comienza con la revolución industrial. Los trabajadores querían mejores maneras de iluminar sus hogares cuando regresaran de sus empleos en las fábricas, así mismo la maquinaria de vapor usada en la época necesitaba aceites de lubricación de buena calidad.

Para responder a la demanda de iluminación confiable, las compañías empezaron a fabricar lámparas de aceite que eran mucho mejores que las lámparas convencionales de vela, iluminaban mejor, más duraderas y no se apagaban fácilmente ante brisas pequeñas. El mejor aceite disponible en ese entonces era el aceite de ballena, era casi inodoro, ligero y se quemaba produciendo poco humo.

Mientras la mayoría de personas preferían dicho aceite, en la mitad del siglo XIX se hizo muy escaso y solo los más adinerados podían costearlo. Los balleneros en la región de nueva Inglaterra en Estados Unidos llevaron casi a la extinción a las ballenas, surgió la demanda por un aceite que reemplazara dicho producto.

Es un fenómeno mundial que el crudo se filtre a la superficie de acumulaciones poco profundas. El área alrededor de Bakú en Azerbaiyán ha sido un área conocida desde mucho tiempo atrás por tener filtraciones naturales de crudo y gas natural. El primer pozo moderno fue taladrado en Bakú en 1846, este pozo era de 69 pies de profundidad. Para el año de 1872 debido a la gran demanda de aceite para lámparas el área de Bakú tenía tantos pozos que se convirtió en la “Ciudad Negra”

Imagen 1, pozos de petróleo en Balakhani-Bakú finales siglo XIX



Autores: “A primer of oilwell drilling” Séptima edición

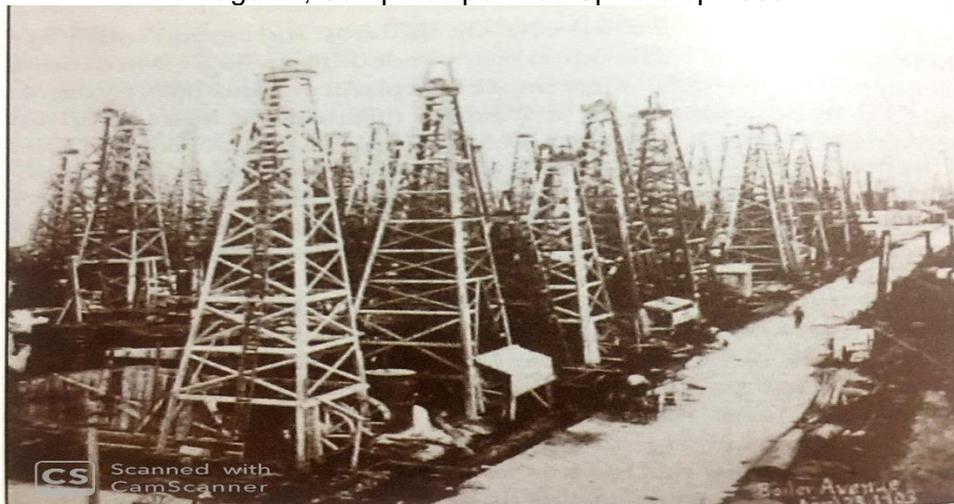
La búsqueda por una mejor fuente de lubricantes y otra fuente para proporcionar iluminación fue importante también en estados unidos, en 1854 George Bissel un

abogado de Nueva York recibió una muestra de un líquido inusual de un profesor de química de la universidad de Dartmouth en el estado de New Hampshire, Bissel y el profesor de química estaban interesados en encontrar un sustituto al aceite de ballena y el profesor quería la opinión de Bissel respecto a la muestra concerniente a su valor como lubricante y aceite para lámparas.

Dicha muestra había sido tomada cerca de un arroyo en medio de un bosque en la granja Hibbard en el condado de Venango al noroeste de Pennsylvania, el arroyo llevaba en su flujo un líquido oscuro casi sin olor que en ocasiones se prendía en fuego, cuando esta sustancia se usaba como lubricante en la maquinaria de la época funcionaba. Como dicha sustancia se encontró en un arroyo que corría cerca de una formación rocosa las personas comenzaron a llamar a la sustancia aceite de roca eventualmente el arroyo cambio de nombre y se llamó "Oil creek".

Luego de examinar la muestra Bissel concluyo que la sustancia podía ser refinada, también que podía usarse como aceite de lámparas y era tan seguro y limpio como los otros aceites disponibles en el momento además también se dio cuenta que dicho aceite podía ser comercializado como lubricante para la surgente industria que seguía desarrollándose a grandes pasos, así fue como Bissel y algunos otros formaron la compañía aceite Seneca en New Haven, Connecticut.

Imagen 2, Campo de petróleo Spindletop 1903



Autores: "A primer of oilwell drilling" Séptima edición

Imagen 3, Extracción petróleo



Autores: The New York Times

En Colombia en 1905 se expidió el decreto N 34 por el cual se confería al Ejecutivo autorización para otorgar privilegios en la construcción de canales, explotación del lecho de los ríos y canteras, depósitos de asfalto y aceites minerales. El gobierno otorgó a Roberto de Mares una concesión para explotación de yacimientos de petróleo en las áreas de Carare y Opón. También en 1905, el gobierno concedió permiso para explotar fuentes de petróleo en el actual departamento de Norte de Santander a Virgilio Barco, una de estas dos concesiones se convertiría luego en lo que conocemos como el campo Cira-Infantas que luego de muchos traspasos quedo en manos de la Tropical Oil Compañy finalmente luego de numerosas disputas legales dicha concesión volvería a manos del estado en 1951 para que fuera manejada por la compañía petrolera estatal creada en 1948 para dicho propósito es así como luego de más de 50 años Ecopetrol es el eje de la industria en nuestro país

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Etapa 1 Consultar base bibliográfica.

- Revisar documentos.
- Solicitar y buscar procedimientos o manuales que contengan información relacionado con el procedimiento de cuantificación de pérdidas.

Etapa 2 Identificar condiciones.

- Establecer parámetros de diseño.
- Identificación del proceso fundamental.
- Definir exigencias del modelo.
- Valorar los diseños propuestos en la cohorte anterior. Ventajas y desventajas.
 - Revisión de diseños conceptuales junto al equipo de profesionales de Ecopetrol.
 - Precisar características de nuevo diseños.

Etapa 3 Organizar diseño detallado.

- Realizar diagramas con ayuda de herramienta computacional de diseño.
- Realizar cálculos necesarios para ajuste de los modelos.
- Realizar planos con medidas definidas y geometrías claras que permitan la construcción.

Etapa 4 Pruebas analíticas.

- Emplear la metodología actual para calcular PPE usando el recipiente presente en el laboratorio.
 - Registrar los resultados y observaciones para aumentar la sensibilidad con la prueba y aportar mejoras al diseño.

4. RESULTADOS

4.1 CONSULTAR BASE BIBLIOGRÁFICA.

4.1.1 Norma API

- La Norma API MPMS con título de “Marco Normativo en la Producción de Petróleo”, en él se encontró las clasificaciones de los tanques, los tipos usados en la industria, cálculos pertinentes para hallar sus pérdidas por sus diferentes puntos de escape, los diseños a tener en cuenta, procesos de flujo y medición manual de la metodología y proceso eficaz hidrocarburos y masas, entre otros factores a tener en cuenta en el proceso. Del instructivo anteriormente mencionado se tiene en cuenta las pérdidas, donde ocurre estas incidencias y las razones por las cuales hay que realizar las mediciones. (API, 2005)
- Por otro lado, se incursionó en la Norma API 650 y 653 de título “Diseño y construcción de tanques soldados”, dando en su contenido códigos de diseño, materiales precisos para emplear en los tanques, materiales, temperaturas y presiones pertinentes, como los espesores mínimos dependiendo del diámetro del tanque, todo en cuestión de cálculos para tener en cuenta del modelado del escalado, por otro lado, las consideraciones prácticas que aporta la norma para tener en cuenta los procesos reales considerados en los reservorios de crudo. De la Norma API 650 “tanques de acero soldados para petróleo” el cual ayuda en el proceso que instruye a tener en cuenta los parámetros de temperatura, el diámetro, el tipo de material que se maneja cuando los tanques son de espesores pequeños, la cantidad de contenido, como el nivel que tendrá el tanque, el área en cual se dispondría para el tanque, el de su base aportando al estructuramiento del diseño. Además, con su amplia información se concluye una relación de L/D presentada en la mayoría de los tanques de mezclas, siendo $4/7=0,57$ factor a ser identificativo para el modelamiento del estructurado. (Restrepo G. 2007), sin embargo, en la estructura de Ecopetrol
- El estándar API 650 se cumple para (Carhuancho Hinostroza Ronald, 2010):
 - Tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos.
 - Tanques construidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc.
 - Tanques diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F).
 - Tanques que no se usen para servicios de refrigeración.
- Los tipos de techos de acuerdo a la norma API 650 (API, 2005) (Restrepo G., 2007):

Techo fijo: (no inflamables), usados generalmente para agua, diésel, asfalto, crudos, etc. Estos pueden ser: soportados y auto soportados.

Techo flotante: (Elementos volátiles), usados generalmente para alcoholes, gasolinas y combustibles en general.

- Para tener en cuenta los materiales usados en según la norma API 650: (Carhuancho Hinostroza Ronald, 2010)
Grado A: son aceros estructurales de bajo grado para espesores 12,7 mm (1/2 pulg)
Grado B: son aceros estructurales de medio grado para espesores 25,4 mm (1 pulg)
Grado C: aceros estructurales de alto grado para espesores de 38 mm (1 ½ pulg)
Grado EH36: aceros estructurales para grandes presiones de 44,5mm (1 1/3 pulg)
- Para definir los espesores según la norma fue necesario realizar un compendio de las mismas. (API, 2005)

Tabla 1. Espesores según norma

	API 650	API 620	ANSI
D < 15,2 M	4,76 mm	4,76 mm	4,76 mm
Espesor de techo mínimo	4,76 mm	Ns	Ns
D < 10,6 M	50,8 mm x 50,8 mm x 4,76 mm	Ns	63,8 mm X 63,8 mm x 6,35 mm

Fuente: API, 2007

- Las consideraciones mínimas usadas en el diseño son las condiciones de operación y de diseño; (Volumen, temperatura, peso específico del líquido, corrosión permisible, velocidad del viento, coeficientes sísmicos de la zona, etc. (Carhuancho Hinostroza Ronald, 2010).

4.1.2 MANUAL DE MEDICIÓN DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES CAPITULO 19 - PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

En este documento se describe el procedimiento utilizado para determinar pérdidas de masa por evaporación de crudos, mezclas de crudos y diluyentes a una temperatura dada. Esta determinación es una aproximación a escala de lo que ocurre en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos.

Debido a la alta viscosidad que tienen algunos crudos que son producidos en la industria de los Hidrocarburos, es necesario diluirlos para hacer viable su transporte y comercialización. Esta operación es llevada a cabo en los campos de producción y estaciones de transporte con diluyentes muy livianos; Naftas, gasolinas, aromáticos, entre otros. Por sí mismos, estos diluyentes a muy bajas temperaturas pierden

fracciones livianas, condición que se vuelve más crítica en la medida que la temperatura es mayor.

Al ser mezclados estos diluyentes con crudos pesados que provienen de pozos y/o facilidades de superficie, generalmente a altas temperaturas ($> 60^{\circ}\text{C}$), se generan pérdidas de las fracciones livianas por evaporación, que generan no solo riesgos por explosión sino, contaminación y pérdidas en los balances económicos.

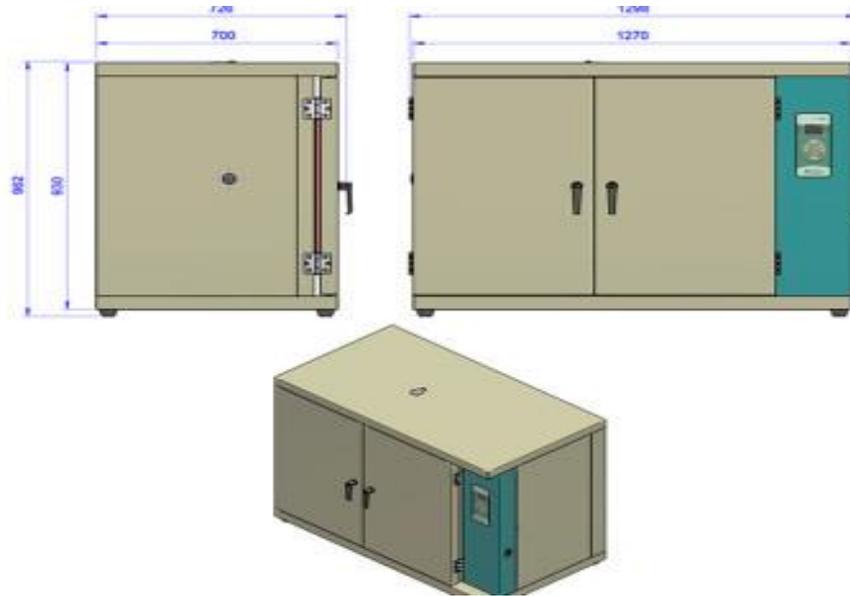
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO

4.2.1 Condiciones geométricas y espaciales.

En la identificación de condiciones geométricas y espaciales; en el proceso de diseño es necesario tener en cuenta los elementos auxiliares usados para la prueba de evaporatividad, estos son el Horno y la Balanza gravimétrica. La Balanza es el elemento que limita las dimensiones del tanque dada su base de 7 x 7 cm y altura de 25 centímetros (el horno tiene espacio suficiente). Es necesario conservar estas medidas ya que el método requiere una alta precisión por ser un método gravimétrico (reporte con 4 decimales). El horno simulara condiciones de temperatura ambiental requeridas por el cliente o presente en los lugares donde se encuentren los tanques de almacenamiento.

- **Horno de marca DIES** (Diseños eléctricos especiales), el cual maneja una diferencia de potencial de 220V, una resistencia térmica que permite variaciones de temperatura de 30 a 120 grados Celsius permisibles para el calentamiento agua, crudos pesados y extrapesados.

Figura 1, Horno DIES



Fuente: (DIES, 2015)

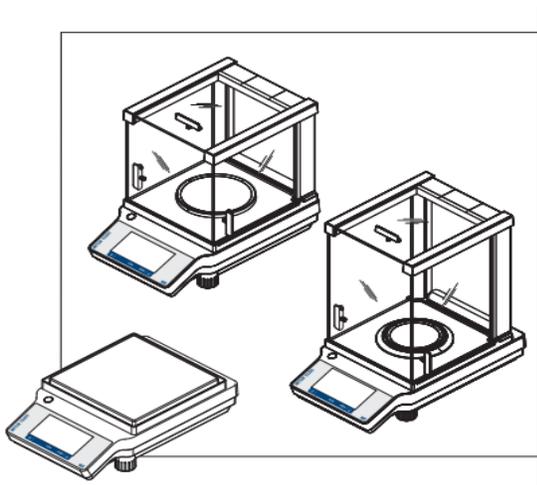
Tabla 2, Característica del horno DIES

CARACTERÍSTICAS	
<ul style="list-style-type: none"> ▷ Rango de temperatura Ambiente +10 °C ~ 200 °C ▷ Tipo de control: Diseño propietario microprocesado con indicación digital LCD 16X2 caracteres, fácil programación por teclado de la temperatura deseada, la temperatura real, y el temporizador. ▷ Resolución del control: +/- 1 °C para convección forzada. +/- 2 °C para convección natural ▷ Resolución de la medida: +/- 0.1 °C ▷ Sensor: PT100 	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Algoritmo de control: PID con autosintonía salida PWM ▷ Bandejas: Intercambiables en acero inoxidable 304 ▷ Materiales: Interior en acero inoxidable tipo 304. Exterior en lámina de acero con acabado en pintura epóxica de aplicación electrostática. ▷ Convección: Forzada por motorecirculador centrífugo y natural.

Fuente: (DIES, 2015)

- La Balanza gravimétrica, marca Mettler Toledo AT 400, el cual su peso máximo soportado es de 409 gramos, permite cuatro (4) cifras significativas y con elemento de puertas corredizas para evitar flujos de aire que puede variar la medida. Input 440, output 14,6 a 0,64 Amperios.

- Figura 2, Esquema balanza gravimétrica Mettler Toledo.



Fuente: (Mettler Toledo, 2000)

Tabla 3, Características técnicas, balanza AT400

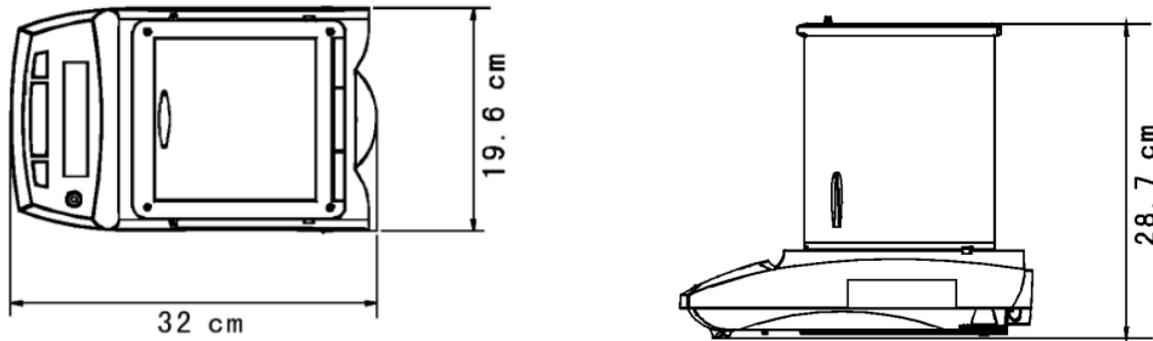
Modelo	AT21 Comparator	AT20	AT201	AT261 DeltaRange 60g DeltaRange 200g		AT200	AT400	AT460 DeltaRange 80g DeltaRange 400g	
Precisión de indicación	1 µg	2 µg	0,01 mg	0,01 mg	0,1 mg	0,1 mg	0,1 mg	0,1 mg	1 mg
Campo de pesada	22 g	22 g	205 g	62 g	205 g	205 g	405 g	62 g	405 g
Zona de tarado (sustractiva)	0...22 g	0...22 g	0...205 g	0...205 g	0...205 g	0...205 g	0...405 g	0...405 g	0...405 g
Reproducibilidad (s) 0...20 g	2 µg	3 µg							
Reproducibilidad (s) 0...50 g			0,015 mg	0,015 mg		0,04 mg	0,05 mg	0,05 mg	
Reproducibilidad (s) 50...100 g			0,02 mg	0,02mg	0,03 mg	0,05 mg	0,07 mg	0,07 mg	0,1 mg
Reproducibilidad (s) 100...200 g			0,03 mg	0,03mg	0,05 mg	0,07 mg	0,09 mg	0,09 mg	0,2 mg
Reproducibilidad (s) 200...400 g							0,15 mg	0,15 mg	0,3 mg
Linealidad	± 8µg	± 8µg	± 0,12mg	± 0,03mg	± 0,15mg	± 0,15mg	± 0,5mg	± 0,1mg	± 0,8mg
Lienalidad referida a 5 g	± 5 µg	± 5 µg	± 0,02 mg	± 0,02 mg					
Tiempo de estabilización (típico) variable con adaptador de vibración	14,18,24 s	10,14,24 s	10,14,20 s	8,12,18 s	3,5,7 s	3,5,7 s	4,6,10 s	4,6,8 s	3,5,7 s
Pesas de calibración incorporadas	2x10 g	2x10 g	2x100 g	2x100 g	2x100 g	2x100 g	2x100 g	2x100 g	2x100 g
Calibración FACT	Medido hasta ±0,1 mg (±0,01 mg AT20/21) a densidad del aire 1200 mg/l para masa aparente con densidad 8,0 g/cm ³ . Autocalibración totalmente automática a motor con dos pesas incorporadas (posible activación adicional a mano). Posibilidad de test para el control de la calibración.								
Calibración con pesa externa	20 g	20 g	200 g	200 g		200 g	400 g	400 g	
Indicador con METTLER DeltaTrac	LCD (cristal líquido)				VFD (fluorescencia de vacío)				
Cambio de indicador	0,2...0,4 s variable								
Deriva de sensibilidad (5...40°C)	Desviación máxima con autocalibración automática FACT ±0,00015%. (con autocalibración automática desconectada) 1ppm/°C								
Linealización	Autoinealización automática de la curva de pesada (simultáneamente con calibración FACT a motor).								
Interface de datos	CL y RS232C bidireccional, incorporado en serie, todas las líneas separadas galvánicamente.								
Corta-aíres de vidrio	Sin vástagos; se abre automáticamente a motor o por pulsación.								
Corta-aíres interno AT	Estándar					Accesorios			
Fuente de alim. (espec. del país)	Tensión: 115 V ó 230 V, fluctuaciones de tensión permisibles: +15...-20%. Frecuencia: 50...60 Hz; potencia absorbida 15,5 W max.								
Condiciones ambientales permis.	Temperatura: 5...40°C; humedad relativa del aire: 25...85% (sin condensación). Altura sobre el nivel del mar: -500...+6000 m.								
Platillo orificio para pesar por debajo de balanza.	ø 28mm	ø 32mm	80x80 mm; acero inoxidable						
Dimensiones	Altura libre sobre platillo 239 mm, Caja de balanza 433x241x289 mm (AxFxA), Fuente de alimentación 140x115x53 (AxFxA)								
Peso	Balanza 9,3 kg, Fuente de alimentación 1,2kg								

Fuente: (Mettler Toledo, 2000)

- La Balanza gravimétrica, marca OHAUS PIONEER PA224C, el cual su peso máximo soportado es de 220 gramos, permite cuatro (4) cifras significativas cuenta

también con puertas corredizas para evitar flujos de aire que puede variar la medida.

Figura 3, Esquema balanza gravimétrica OHAUS PIONEER



Fuente: (OHAUS, 2016)

Tabla 4, Características técnicas, balanza OHAUS PIONEER

Modelo de EXCAL	PA84	PA124	PA224	PA163	PA323	PA523
Modelo Incal	PA84C	PA124C	PA224C	PA163C	PA323C	PA523C
Capacidad (g)	85	120	220	162	320	520
Legibilidad d	0.1mg			1mg		
Capacidad de repetición (Std Dev)	0.1mg			1mg		
Linealidad	0.2mg		0.3mg	2mg		
Rango de Tara	To capacity by subtraction					
Tiempo de estabilización	3 seconds					
Cal peso-Span	50,80g	50,100g	100,200g	100,150g	200g,300g	200,500g
Cal peso linealidad	20/60g	50/100g	100/200g	100/150g	150/300g	200/500g
Tamaño de la cacerola	3.54 in / 9 cm diameter			4.72 in / 12 cm diameter		
Peso neto	10.1 lb / 4.6kg (11.2lb/5.2kg for Incal Model)					

Fuente: (OHAUS, 2016)

4.2.2 Parámetros y consideraciones adicionales

Adicionalmente para el diseño del dispositivo se deben tener en cuenta: accesorios y terminaciones, temperatura, peso y material que a continuación se especifican.

La presión y fuerza hidrostática para el diseño del dispositivo no se consideró como exigencia debido a que los fluidos a almacenar no son en grandes cantidades y no presentan efectos considerables en el momento del diseño.

La presión de vapor que ejercen los líquidos almacenados es la variable que más influye

sobre el diseño de la tapa, ya que está es la que representa el fenómeno de pérdidas. Se debe tener en cuenta los espacios (Alturas de fluido) del dispositivo permitan el flujo natural de los vapores.

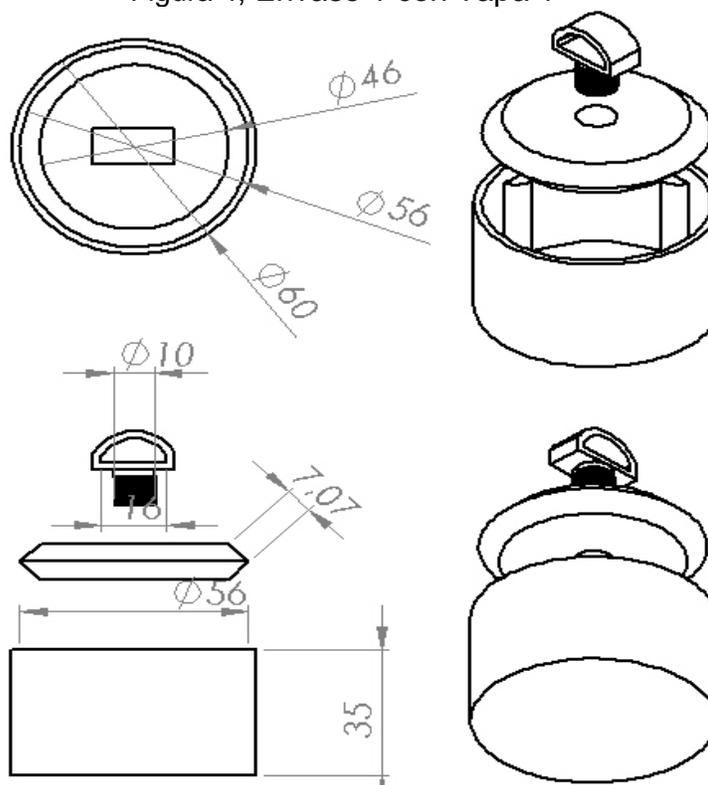
- **Accesorios y terminaciones:** los factores de pérdidas en los tanques según la literatura ocurren por los venteos, escotillas de muestras, válvulas de presión, escotillas de mantenimiento y bordes de los tanques según su configuración o producto a reservar. Estas pérdidas según la información oscilan entre un 10% y un 16% en los tanques reales. (Restrepo E. G., 2012)
- **Temperatura:** en los procesos de mezclas se manejan diferentes niveles, se definió con el personal del laboratorio un rango entre 60 y 80 grados Celsius, que son las temperaturas operacionales máximas, especificación a ser considerada debido a que el material a usarse debe soportar dichas temperaturas sin deformarse o fundirse. Dichas temperaturas fueron seleccionadas teniendo en cuenta que en transporte el promedio de temperatura en los diferentes oleoductos del país es de 70 grados Celsius (Manual de transportador oleoductos de Ecopetrol) Por otra parte, a esta temperatura los crudos livianos llegan a su nivel de emanación siendo factor para tener en cuenta.
- **Peso:** el diseño estará limitado por la balanza Mettler anteriormente mencionada, dado que el proceso cuenta solo con la misma y requiere una alta presión en la medición, esta es la de mayor capacidad de las dos disponibles en el laboratorio, con 405 gramos máximos para su medida. Conservando todas las cifras decimales que este ofrece. Se debe tener en cuenta el peso de la muestra requerida por la metodología, el cual debe ser restado de la capacidad de la balanza para determinar el peso del recipiente.
- **Material:** el material debe comportarse y representar los materiales empleados en la construcción de los tanques a escala real, el índice de transferencia de calor y manera en que están fabricados los tanques deben ser tenidos en cuenta.

4.3 ANÁLISIS DE DISEÑOS PRESENTADOS ETAPA 1

De acuerdo con los criterios técnicos del personal de ECP y los líderes de la actividad de las UTS, las consideraciones técnicas para la geometría y las características identificadas en el momento de modelar los envases, bocetos y tapas, se seleccionaron los diseños más acordes a la simulación y experimentación que se requiere imitar con los tanques reales de mezclas e hidrocarburos. Los planos que a continuación se presentan son los tanques seleccionados con unidades en milímetros (mm) en la primera etapa “Diseño Básico”

- Modelo 1:** como se evidencia en la figura 4 el Tanque 1 cuenta con las medidas más aproximadas a la relación L/D de diseño encontrado en la literatura. Además de contar con la configuración de techo flotante que es usada para tanques de mezclas de hidrocarburos livianos; el tanque es de acero y posee una tapa estilo moneda perforada en su centro, donde lleva un tornillo para el sellado. Adicionalmente a esto, la tapa tiene un borde de goma que imita el efecto de sellado localizado y evita mayores pérdidas en el tanque como sucede en la realidad.

Figura 4, Envase 1 con Tapa 1



Fuente: informe final de la cohorte 1, Autor Cristian Vargas

Tabla 5, Ventajas y desventajas del tanque 1

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones cercanas a la relación de escalado L/D. Cumple con los parámetros espaciales no mayores a 7x7x23. Cuenta con una membrana de 	<ul style="list-style-type: none"> La tapa cuenta con un sellado hermético que puede reducir el efecto de las pérdidas. Puede presentarse dilatación del material que va en la membrana

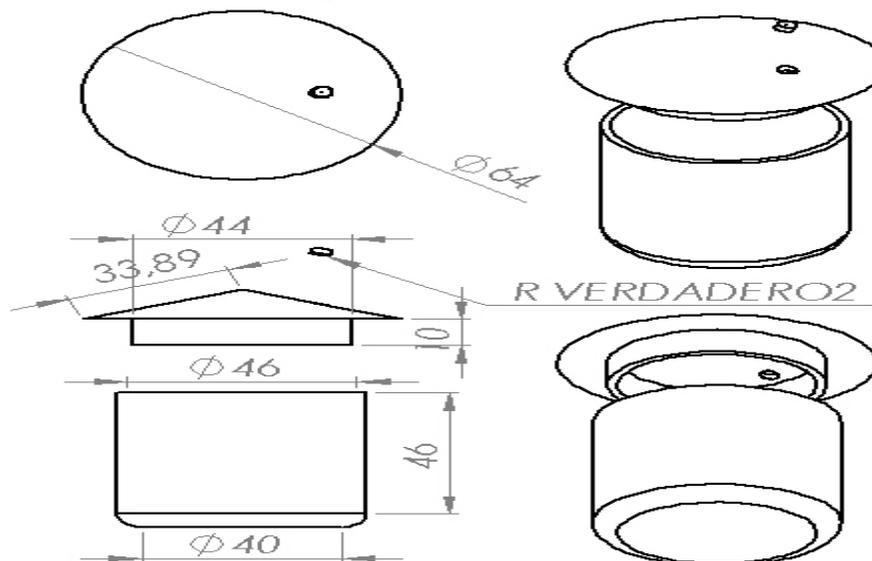
<p>sello usada en los tanques para mezclas y fluidos livianos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El material usado para sus espesores es el mismo en los tanques livianos. • Fácil retiro de la tapa para su respectiva limpieza. 	<p>(goma) y esto haría que las pérdidas no sean controladas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La tapa posee un agujero extra para aforar el recipiente, este no cuenta con membrana y no se podrían controlar las perdidas en ese punto.
--	---

Fuente: informe final de la cohorte 1, Autor Cristian Vargas

- **Modelo 2:** se presenta un recipiente cilíndrico de acero con bordes de 2 mm de espesor, siguiendo la relación de la norma API. Las medidas son las relacionadas en la figura 5.

Tapa 2: es una escala representativa de las cubiertas usadas en los tanques de techo fijo con un borde de polímero en su base para procurar escapes de gases, fácilmente removible, cuenta con un diámetro de 6,4 cm y con un micro venteo simulado. (Ver figura 5).

Figura 5, Envase 2 con Tapa 2



Fuente: informe final de la cohorte 1, Autor Cristian Vargas

Tabla 6. Ventajas y desventajas Tanque 2

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Las dimensiones se ajustan parcialmente a la relación de escalado L/D. • Cumple con los parámetros espaciales no mayores a 7x7x23. • Cuenta con un tapón que imita las 	<ul style="list-style-type: none"> • El tapón puede presentar hermeticidad total. • El orificio de venteo no está definido (tamaño y forma). • Por la forma de la tapa (muy delgada y filosa), los biseles

<p>pérdidas por las válvulas de presión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El material usado para sus espesores es el mismo en los tanques livianos. • Fácil manipulación de la muestra y limpieza del recipiente. 	<p>llegarían a ser cortantes.</p>
---	-----------------------------------

Fuente: informe final de la cohorte 1, Autor Cristian Vargas

- **Razones de cambio:** luego de la reunión sostenida con el grupo del laboratorio, donde se debatieron las ventajas y desventajas de los diseños presentados en la etapa 1, se determina que se deben modificar por las siguientes razones:
 1. Simplificar los modelos para que se use un solo recipiente con diferentes diseños de tapas. En estas se concentrará el esfuerzo del diseño.
 2. Se deben eliminar los bordes cortantes o posibles puntos filosos que puedan causar daño al analista.
 3. Se deben eliminar los sellos con membranas o empaques que pueden llegar a generar un sellado total, por lo tanto, presurización en el recipiente y ausencia de pérdidas por evaporación.
 4. El envase o recipiente debe ser de un solo cuerpo, sin soldaduras o costuras que puedan llegar a ser puntos de goteos o fugas.

4.4 NUEVOS DISEÑOS

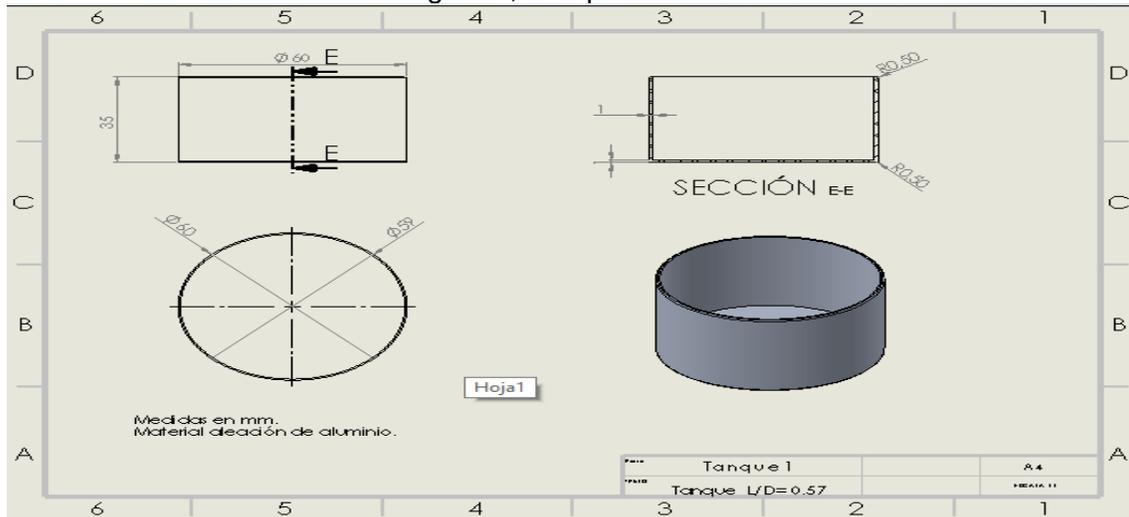
A continuación, se ilustran los modelos planteados, luego de la revisión de los diseños propuestos en la cohorte 1, teniendo en cuenta todas las consideraciones ya expuestas en este informe.

4.4.1 Modelo para tanque de techo fijo.

Para representar este tipo de tanques y el fenómeno de evaporación se realizan dos tipos de tapas o techos que serán ubicados sobre el contenedor o cuerpo principal del recipiente; al estar sobrepuestos no debe presentarse un sellado total y por lo tanto debe permitir la evaporación y por lo tanto que se presenten pérdidas.

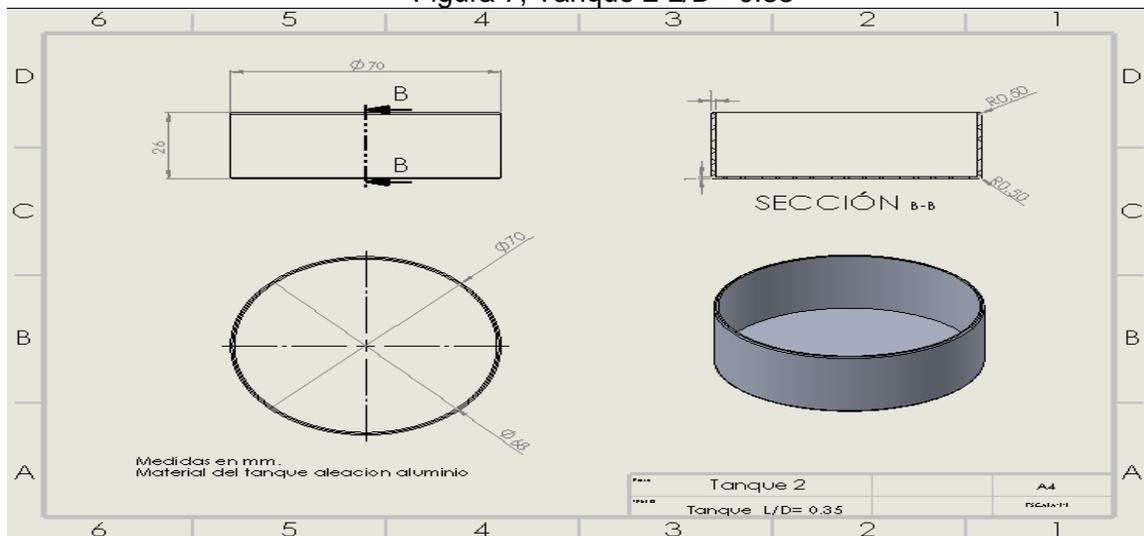
Adicionalmente siguiendo las recomendaciones del grupo de laboratorio el cuerpo del contenedor es una sola pieza, sin costuras, uniones ni soldaduras.

Figura 6, Tanque 1 L/D= 0.57



Fuente: autor

Figura 7, Tanque 2 L/D= 0.35

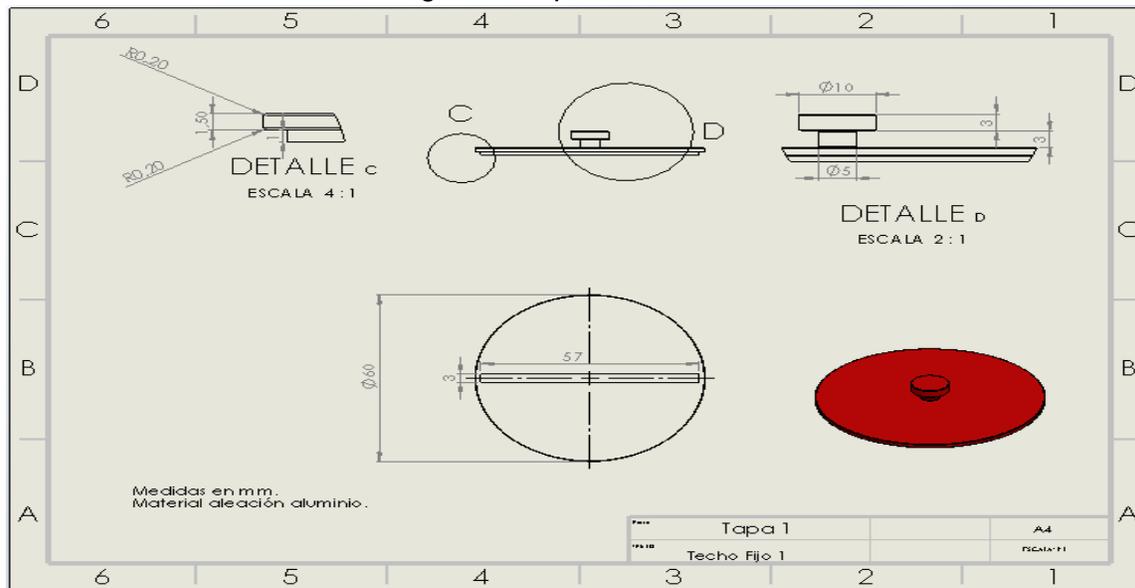


Fuente: autor

4.1.2 Tapa 1

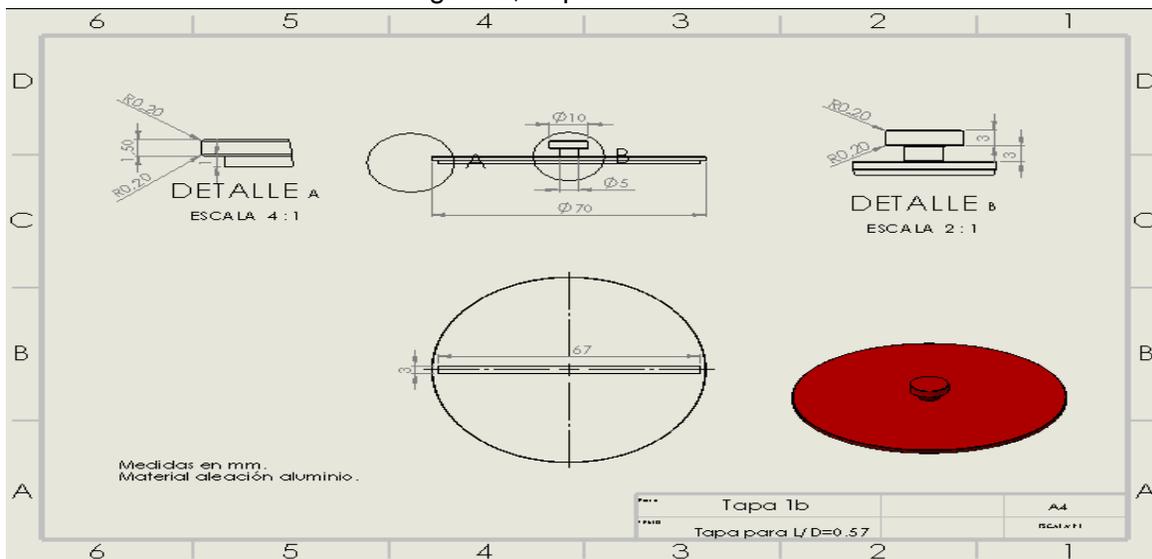
Diseño más sencillo, cuenta con una guía para facilitar su ubicación, dicha guía no ocupa toda la superficie de contacto con el cuerpo del recipiente para favorecer la salida de vapores.

Figura 8, Tapa 1. L/D= 0.57



Fuente: autor

Figura 9, Tapa 1. L/D= 0.35

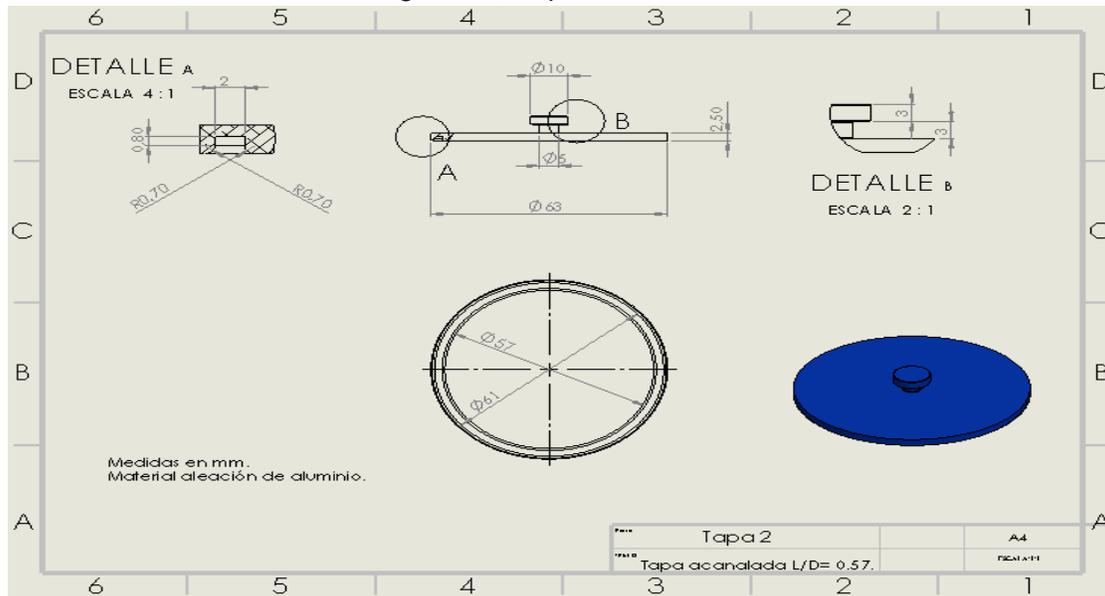


Fuente: autor

4.1.3 Tapa 2

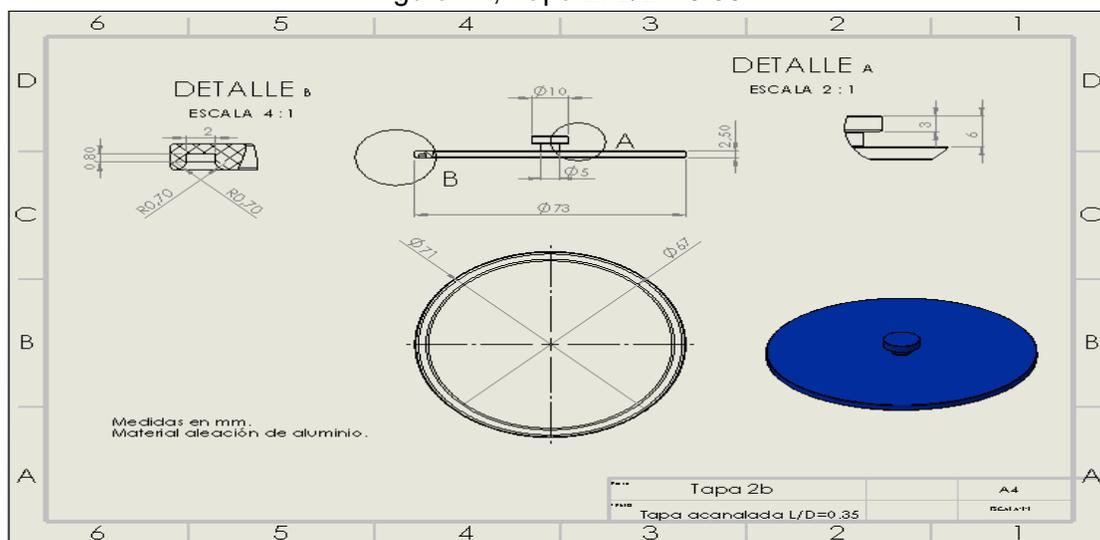
Diseño con guía acanalada, dicha guía está presente en toda la circunferencia, ocupa toda la superficie de contacto con el cuerpo del recipiente, pero sigue siendo sobrepuesta, no debe sellar de manera total.

Figura 10, Tapa 2. L/D= 0.57



Fuente: autor

Figura 11, Tapa 2. L/D= 0.35

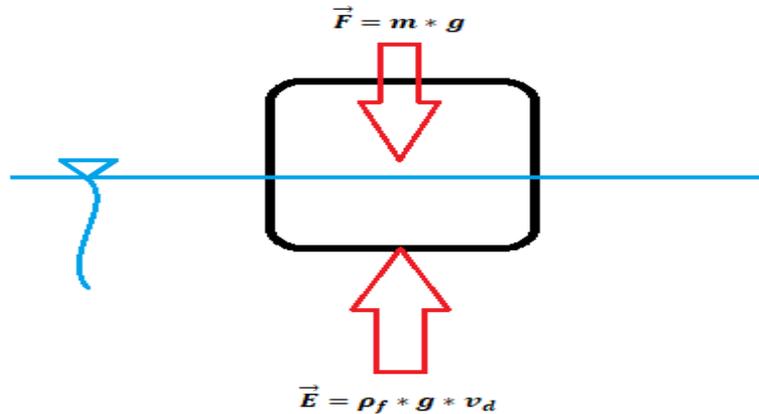


Fuente: autor

4.1.4 Modelo para tanque de techo flotante

4.2 Análisis de flotabilidad

Figura 12. Diagrama de fuerzas cuerpo sumergido



Fuente: autor

Tapa 3 para techo flotante (L/D=0.57)

Datos:

- Diámetro externo tapa 57 mm
- Peso aproximado en PVC: 3,58 gr
- Diámetro boya: 17 mm/ altura boya 7 mm
- Forma boya cilíndrica
- Altura sumergida: 4,75 mm
- Densidad de la mezcla $\rho_f = 0.65 \frac{gr}{cm} = 650 \frac{Kg}{m}$

$$\vec{E} = \rho_f * g * v_d \text{ (Fuerza de empuje, principio de Arquímedes)}$$

$$v_d = \pi * r^2 * h \text{ (Volumen desplazado por flotador)}$$

$$v_d = \pi * \left(\frac{8,5}{1000}\right)^2 * \left(\frac{6,43}{1000}\right) = 1,459 * 10^{-6} m^3$$

$$4 \text{ Boyas} = 4 * 1,459 * 10^{-6} = 5,837 * 10^{-6} m^3$$

$$\vec{E} = (650) * (9,81) * (4,312 * 10^{-6}) = 37,225 * 10^{-3} N$$

$$\vec{F} = m * g = \left(\frac{3,58}{1000}\right) * (9,81) = 35,119 * 10^{-3} N$$

$$\vec{E} > \vec{F}$$

Tapa 3 para techo flotante (L/D=0.35)

Datos:

- Diámetro externo tapa 67 mm
- Peso aproximado en PVC: 4,79 gr
- Diámetro boya: 20 mm/ altura boya 7 mm
- Forma boya cilíndrica
- Altura sumergida: 4,75 mm
- Densidad de la mezcla $\rho_f = 0.65 \frac{gr}{cm} = 650 \frac{Kg}{m}$

$$\vec{E} = \rho_f * g * v_d \text{ (Fuerza de empuje, principio de Arquímedes)}$$

$$v_d = \pi * r^2 * h \text{ (Volumen desplazado por flotador)}$$

$$v_d = \pi * \left(\frac{10}{1000}\right)^2 * \left(\frac{6,4}{1000}\right) = 2,020 * 10^{-6} m^3$$

$$4 \text{ Boyas} = 4 * 2,020 * 10^{-6} = 8,080 * 10^{-6} m^3$$

$$\vec{E} = (650) * (9,81) * (8,080 * 10^{-6}) = 51,523 * 10^{-3} N$$

$$\vec{F} = m * g = \left(\frac{4,79}{1000}\right) * (9,81) = 46,989 * 10^{-3} N$$

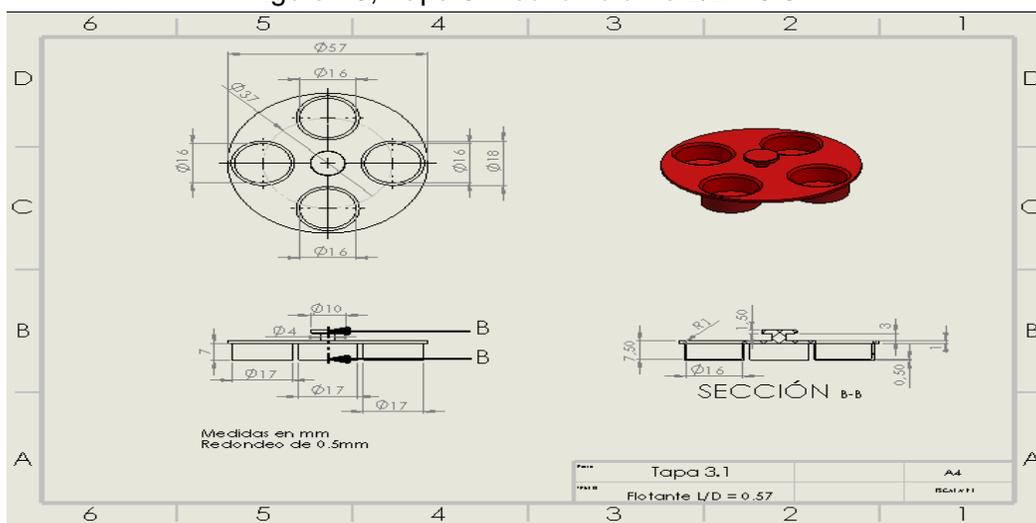
$$\vec{E} > \vec{F}$$

- Los pesos de las piezas fueron calculados usando el software SolidWorks con PVC laminado como material de construcción.
- La densidad de la mezcla usada en estos cálculos corresponde a la densidad promedio de una nafta, producida, transportada y empleada para diluir un crudo en Colombia con el fin de transportarlo, este dato hace parte de la base de datos propiedad del laboratorio y fue obtenida en el mismo mediante análisis. Dicho valor de densidad fue usado a petición del equipo de ingeniería del laboratorio con el fin de poder en un futuro tener la opción de medir perdidas por evaporación en almacenamiento de naftas, llevando más allá el modelo inicial requerido.

4.2.1 Tapa 3

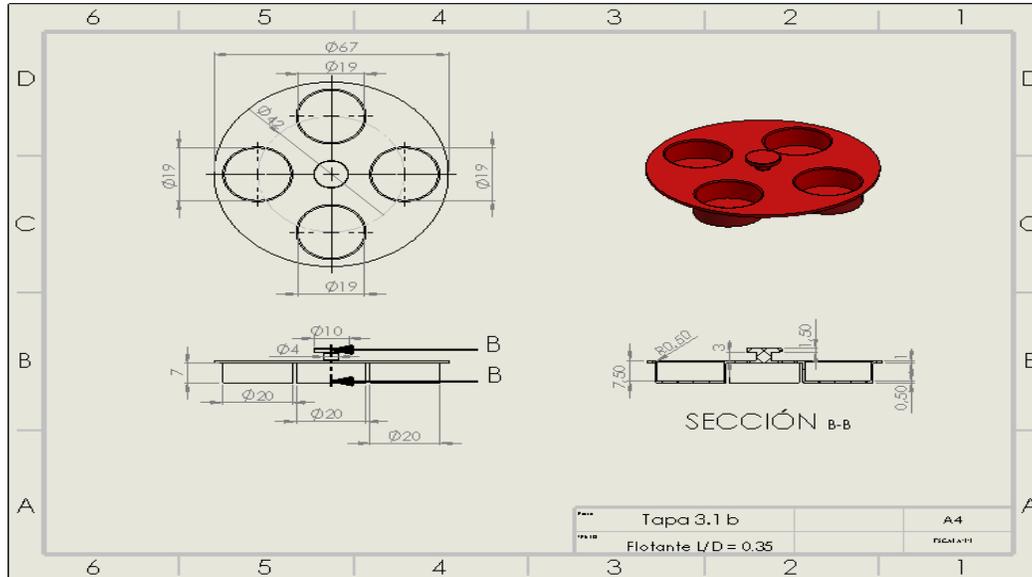
Este modelo busca representar la forma en que se comportan los techos flotantes sobre este tipo de tanques, no se hace uso de sellos o materiales adicionales para representar membranas, la tolerancia entre diámetros (externo de la tapa e interno del recipiente) será la responsable de permitir la salida de vapores. La geometría presenta boyas que permitan la flotación sobre el líquido y permitan respirar la muestra.

Figura 13, Tapa 3. Techo flotante L/D= 0.57



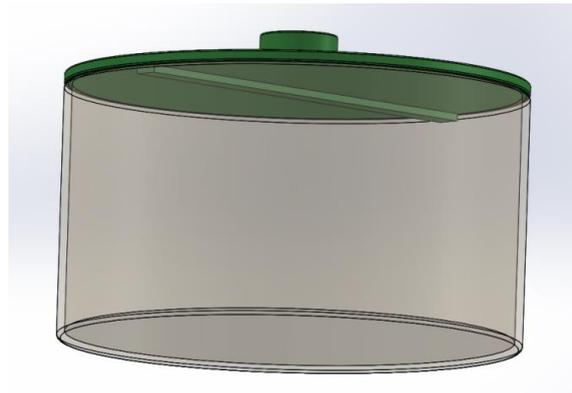
Fuente: autor

Figura 14, Tapa 3. Techo flotante L/D= 0.35



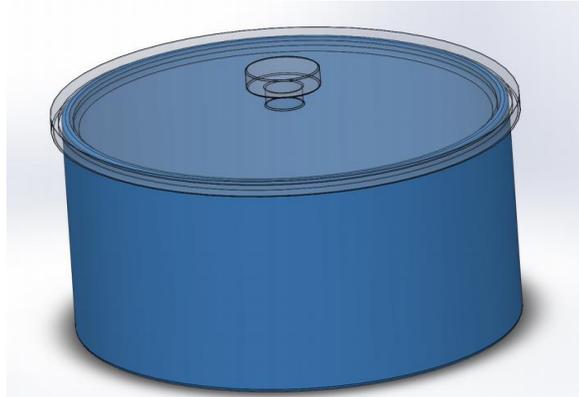
Fuente: autor

Figura 15, Ensamble tapa 1



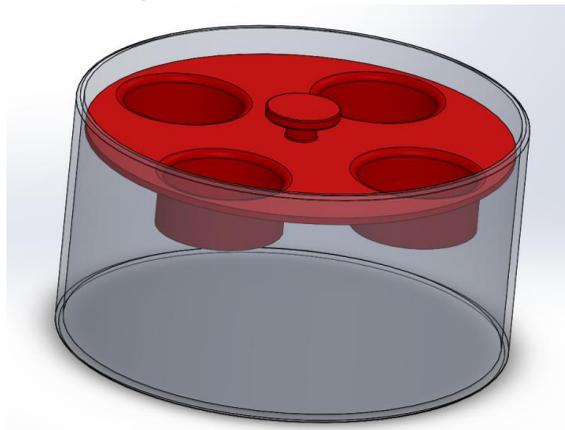
Fuente: autor

Figura 16, Ensamble tapa 2



Fuente: autor

Figura 17, Ensamble tapa 3



Fuente: autor

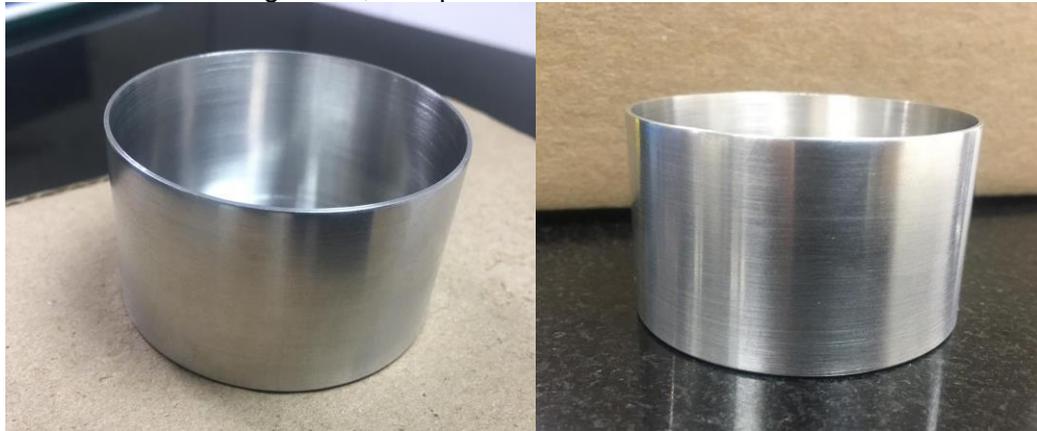
4.3 Prototipo

Con el objetivo de contar con unas mediciones preliminares que permitieran observar la funcionalidad del equipo, se fabricó un prototipo (Figuras 18 a 22)

El prototipo fabricado cuenta con las siguientes características:

- Tanque aleación aluminio ($L/D=0.57$) con un peso de 28.4g

Figura 18, Tanque aluminio L/D 0.57



Fuente, Autor

Figura 19, Tanque aluminio L/D 0.57 lleno con 70 g de crudo



Fuente, Autor

- Tapa para simular techos fijos. (Tapa 1 L/D=0.57)
Fabricado mediante impresión 3D en ABS con un peso de 4.61g

Figura 20, Tapa1(L/D=0.57)



Fuente, Autor

Figura 21, Conjunto tanque y tapa1(L/D=0.57)



Fuente, Autor

- Tapa para simular techos flotantes. (Tapa 3 L/D=0.57)
Fabricado mediante impresión 3D en ABS con un peso de 4.27g

Figura 22, tapa3(L/D=0.57)



Fuente, Autor

Figura 23, Conjunto tanque y tapa3(L/D=0.57)



Fuente, Autor

4.4 Pruebas

Se realizaron pruebas de flotabilidad con la tapa 3 usando los siguientes materiales:

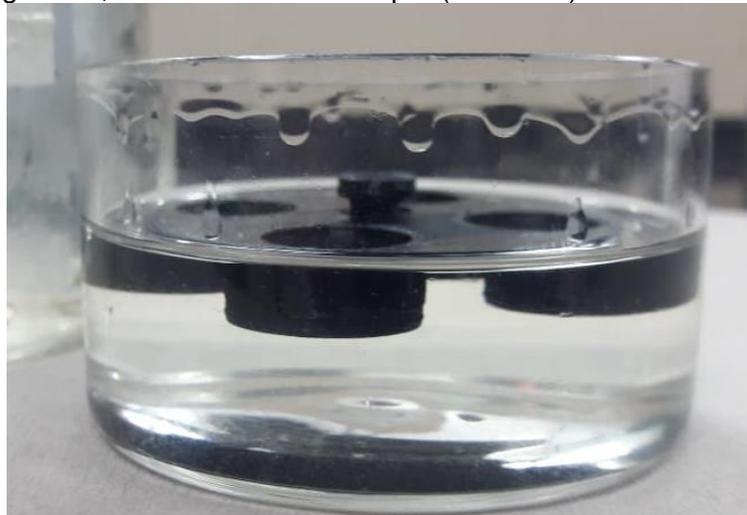
- Tapa 3 en ABS (L/D=0.57)
- Frasco para tensión superficial de 100 ml

Además, se emplearon las siguientes sustancias:

- Mezcla de Nafta, $\rho_f = 0.7 \frac{gr}{cm}$
- Crudo Chichimene $\rho_f = 1.01 \frac{gr}{cm}$
- Mezcla Crudo Chichimene 65 % y nafta 35 % $\rho_f = 0.92 \frac{gr}{cm}$
- Patrón de referencia N1000 $\rho_f = 0.88 \frac{gr}{cm}$

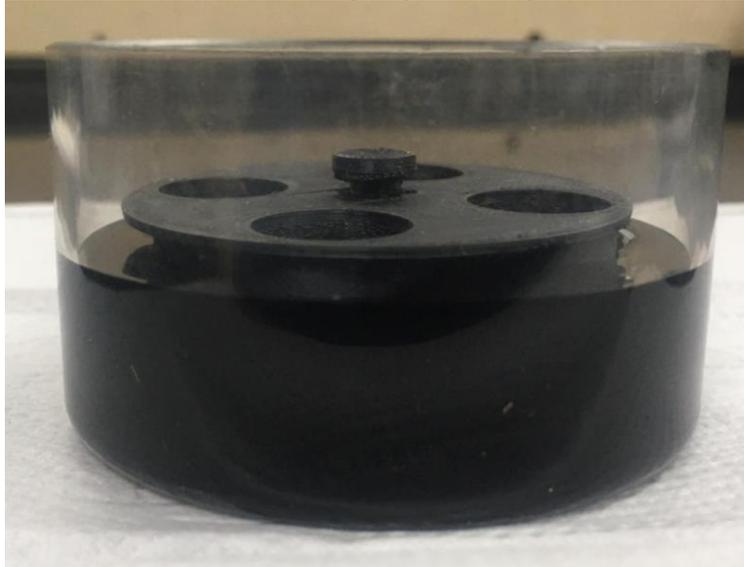
Se deja la siguiente evidencia fotográfica:

Figura 24, Prueba flotabilidad tapa3(L/D=0.57) en nafta



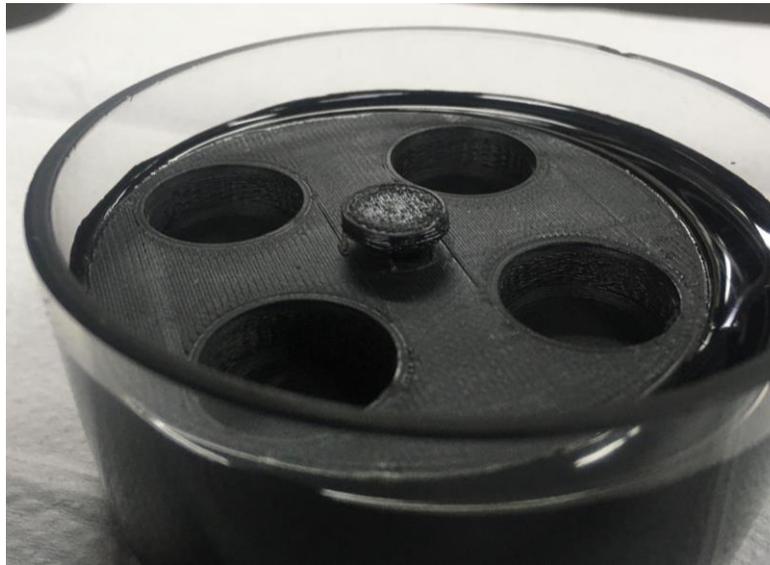
Fuente, Autor

Figura 25, Prueba flotabilidad tapa3(L/D=0.57) en crudo Chichimene



Fuente, Autor

Figura 26, Prueba flotabilidad tapa3(L/D=0.57) en mezcla crudo Chichimene 65% y nafta 35%



Fuente, Autor

Figura 26, Prueba flotabilidad tapa3(L/D=0.57) en patrón de referencia N1000



Fuente, Autor

5. CONCLUSIONES

- La finalidad del trabajo es la reproducción del fenómeno de evaporación considerando algunas condiciones presentes en los tanques de almacenamiento de la operación.
- Al evaluar los diseños propuestos en la etapa 1, se realizaron cambios en la configuración del dispositivo con el fin de facilitar el uso, la reproducción del fenómeno y garantizar una mejor repetibilidad del método.
- Basado en el promedio de los tanques de operación en campo en Colombia, se implementó una nueva relación $L/D = 0.35$ (relación de altura y diámetro) adicional a la de 0.57 que se había planteado inicialmente.
- El modelo final es de fácil uso, sin lugar a la subjetividad del analista en el momento de realizar la prueba. El material de fabricación liviano y semejante al empleado en la construcción de los tanques en campo, se sugiere una aleación de aluminio, este tipo de material permite la transferencia térmica a la muestra.
- Las fuerzas y presiones ejercidas por la muestra (70ml) sobre las paredes del recipiente no representan un esfuerzo considerable.
- La temperatura y distribución de calor dentro del horno representan las condiciones reales donde se encuentran los tanques, factores como corrientes de viento, cambios climáticos, lluvias y demás no son constantes a lo largo del tiempo.
- Al tener un solo recipiente con diferentes accesorios (tapas) se facilita el empleo y montaje de la prueba, además todo el dispositivo es más económico y su fabricación más sencilla.
- Mediante la fabricación e impresión en 3D se pudo ajustar la geometría de la Tapa 3 ($L/D=0.57$).
- En las pruebas de flotabilidad se pudo evidenciar que la tapa 3 flota en diferentes sustancias, pero se debe ajustar el factor de flotabilidad para mejorarlo.
- El tanque fabricado en aluminio fue probado llenándolo de crudo y el nivel en la columna de líquido es suficiente para aplicar la metodología de PPE.

- El efecto de la evaporación de los diluyentes en las mezclas de crudo son una fuente de polución y además representan una fuente de gases tipo invernadero que terminan en la atmósfera.
- Las pérdidas por evaporación de diluyentes no solo representan una fuente de contaminación, adicionalmente representan pérdidas económicas en la industria de transporte y almacenamiento de crudo.
- De las pruebas preliminares de flotabilidad y funcionalidad con el prototipo se puede concluir que, el dispositivo para pérdidas con las geometrías planteadas en las tapas y el recipiente en este trabajo se ajustan a las necesidades de la metodología.
- El concepto de una tapa flotante es válido, se puede ver con el prototipo que al usar el material adecuado la tapa flota y representa mejor la realidad de los techos flotantes en campo.
- El ajuste de la tapa 1 con el recipiente se debe mejorar aumentando la superficie de contacto con el mismo y las elevaciones de las guías.

6. RECOMENDACIONES

- Se deben considerar materiales alternos para la fabricación de las tapas, sin perder de vista los factores de peso, así como resistencia a los crudos y sus derivados.
- Las tolerancias entre diámetros (externo de la tapa e interno del tanque en techo flotante) junto a la superficie de contacto (tapas sobrepuestas en techo fijo) serán los factores que determinen la magnitud de evaporación.
- Debido a la facilidad de empleo, el aluminio o alguna de sus aleaciones como material de construcción, debe ser tenido en cuenta para la fabricación del recipiente ya que este es un excelente conductor de calor y suficientemente fuerte para soportar las exigencias de la prueba además es de fácil adquisición.
- Pueden considerarse las tapas como consumibles en la metodología, esto permitiría su recambio sin afectar los resultados en la prueba.
- Se puede ajustar la geometría del recipiente comparando resultados de su empleo con información proveniente de software especializado en pérdidas como lo es “Tanks” de la empresa EPA.
- Se debe tener en cuenta que el dispositivo planteado reproduzca el fenómeno que se quiere estudiar durante la prueba. (Pérdidas por evaporación).
- El modelo que se plantee finalmente debe permitir que existan pérdidas por evaporación y no un prototipo que al quedar sellado completamente no permita simular el fenómeno.
- Se deben realizar mayores pruebas con el prototipo dejado en el laboratorio para ajustar el diseño.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- API. (2005). *API MPMS*. ASTM-API.
- ASME/JSME. (2004). *STORAGE TANK INTEGRITY AND MATERIALS EVALUATION*. (T.Tahara, Ed.) California: ASME.
- DIES. (2015). *DIES*. Obtenido de <http://www.dies.com.co/productos/hornos-estufas-universales/thermolab-hornos-universales-para-mesa/thermolab-th240/>
- DIES. (s.f.). *Elementos químicos*. Obtenido de <http://www.elementosquimicos.com.co/media/descargas/infotecnica/Ficha%20tecnica%20Horno%20Thermolab.pdf>
- Ecopetrol. (2010). *Manual de medición de hidrocarburos y biocombustibles capítulo 19- pérdidas por evaporatividad en tanques de almacenamiento* (Vol. 1). Departamento de medición y contabilización.
- Ecopetrol. (2014). *Manual del transportador oleoductos*. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/transporte/boletin-de-transporte-leoducto/manual+del+transportador>
- Mettler Toledo. (2000). *MT*. Obtenido de https://www.mt.com/dam/mt_ext_files/Editorial/Generic/4/AT_TeZ_0x000010083f814b3340009e92_files/at-mt-umt-tez-sp-703468.pdf
- Ohaus (2016). ¿Obtenido de <https://www.dmx.ohaus.com/WorkArea/downloadset.aspx?id=28118>
- Restrepo, E. G. (2012). *Herramienta para optimización de flujos de un crudo pesado por el oleoducto bicentenario de Colombia bajo pronósticos de producción, precio de la canasta de referencia y la tasa de cambio*. Chía: Universidad de la Sabana de Colombia.
- Restrepo, G. (Noviembre de 2007). *API 650. Diseño, montaje y construcción de tanques soldados de acero*. Bogotá: ASME.

8. ANEXOS

Anexo A Cotización



DESIGNCOL
INGENIERIA SAS

Bucaramanga, 21 de noviembre de 2019

COT-19-02

Señores
UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
La Ciudad

Reciba un cordial saludo de parte de DESIGNCOL INGENIERÍA SAS. El motivo de la presente es presentarnos ante usted como proveedores de servicios.

Es para nosotros un verdadero gusto poner a su consideración la siguiente oferta comercial:

DESCRIPCIÓN	UND	TOTAL
Construcción de prototipo tipo tanque, material aluminio, según planos.	1	\$ 375.000
	IVA	\$71.250
	TOTAL	\$ 446.250

Condiciones de la oferta:

Validez de la oferta: 30 días
Forma de pago: Contado.
Tiempo de entrega: 5 días
Lugar de entrega: Bucaramanga, Santander.

Reiterando nuestra voluntad de servicio nos colocamos a su disposición cualquier su necesidad técnica o comercial.

Cordialmente,

DIANA CAROLINA PINZON
Gerente.

3144692369 

Designcol.ing@gmail.com 

Cra 12 # 4-17 Villabel 

Anexo B Hoja Datos Patrón Referencia N1000

CERTIFICATE OF CALIBRATION						
Date of Issue: Apr 26 2019 Certificate number: K2753		Page 1 of 1 pages Approved Signatory Name: Mr. J. Morris Signature: 				
1595 SYCAMORE AVE. BOHEMIA, NY 11716 Tel: (631) 589-3800 FAX (631) 589-3815 www.koehlerinstrument.com						
ISO 17025 / ISO Guide 34 VISCOSITY AND DENSITY REFERENCE STANDARD						
Standard type: D1000		Lot No: 6172505	Expiration Date: Oct 26 2021			
Temperature		Viscosity		Density		
(°C)	(°F)	(mm ² /s) Kinematic	(mPa·s) Dynamic	SUS	SFS	(g/mL)
20.00	68.00	1676	1467			0.8752
25.00	77.00	1148	1001			0.8722
37.78	100.00	483.8	418.3			0.8647
40.00	104.00	422.3	364.6			0.8633
50.00	122.00	239.2	205.1			0.8575
60.00	140.00	144.9	123.4			0.8516
80.00	176.00	62.79	52.74			0.8400
98.89	210.00	33.51	27.78			0.8290
100.00	212.00	32.44	26.87			0.8283

Koehler Instrument Company Inc. certifies that the kinematic viscosity measurements have been made in accordance with ASTM D2162 using long capillary Master Viscometers at all temperatures. See also ASTM D445, D446, D2171, ISO 3104, ISO 3105, IP 71 Sections 1 and 2 and IP 222. The viscosity data reported is based on the primary standard of pure water at 20°C (ITS-90) having a value of 1.0034 mm²/s (cSt) ± 0.17%, as adopted by NIST, ASTM, IP and ISO (ISO 3666). Density measurements were made in accordance with ASTM D1480. Temperature measurements were made using thermometers specified in ASTM D2162 which have a current calibration traceable to the National Physical Laboratory (NPL), National Institute Standards and Technology (NIST) and other recognised national standards laboratories. SUS and SFS values have been calculated in accordance with ASTM D2161 where stated. The calibrations of this product are traceable to NIST

Viscosity Range	Expanded Uncertainty	
	Kinematic Viscosity mm ² /s (cSt)	Dynamic Viscosity mPa·s (cP)
0.3 to 7.4	± 0.07 %	± 0.07 %
7.4 to 10	± 0.09 %	± 0.09 %
10 to 30	± 0.12 %	± 0.12 %
30 to 72	± 0.14 %	± 0.14 %
72 to 180	± 0.15 %	± 0.15 %
180 to 520	± 0.17 %	± 0.17 %
520 to 1000	± 0.19 %	± 0.19 %
1000 to 2700	± 0.20 %	± 0.20 %
2700 to 8000	± 0.22 %	± 0.22 %
8000 to 82 500	± 0.23 %	± 0.23 %

Uncertainties stated on this certificate do not include the uncertainty for the value of the viscosity of water at 20°C (ITS-90) having a value of 1.0034 mm²/s (cSt) ± 0.17%.

Density Uncertainties: Expanded Uncertainty ± 0.01 %

The reported expanded uncertainty is based on a combined standard uncertainty multiplied by a coverage factor of *k*=2, providing a level of confidence of approximately 95%.

Notes: The shelf life of this product is guaranteed until the expiry date, provided the bottle is unopened and stored at ambient temperature (15 to 30°C). Filtration of product before use is not necessary.

Units: Kinematic Viscosity: 1 cSt = 10⁻² St = 10⁻⁶ m²/s = 1 mm²/s
Dynamic Viscosity: 1 mPa·s = 10⁻³ Pa·s = 1 cP = 10⁻² P
Dynamic Viscosity = Kinematic Viscosity x Density (at the same temperature)

The above measurements were made with equipment that is traceable to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory (NPL) or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than as stated, except with the prior written approval of the issuing authority.



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION: