

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO PORTÁTIL PARA LA
RECUPERACIÓN DEL ACEITE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LOS
TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA CASA
DEL EMBOBINADOR

NICOLAS EDUARDO ACOSTA NOSSA

MARYLENA JINETE CASTRO

TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA

CARTAGENA DT Y C

2002

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO PORTÁTIL PARA LA
RECUPERACIÓN DEL ACEITE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LOS
TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA CASA
DEL EMBOBINADOR

NICOLAS EDUARDO ACOSTA NOSSA

MARYLENA JINETE CASTRO

Tesis de Grado presentada como requisito para optar al

titulo de Ingeniero Mecánico

Director

ALFREDO CERRA AMIN

Ingeniero Eléctrico

TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA

CARTAGENA DT Y C

2002

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y fecha (día, mes, año)

A Dios, Nubia, Antonio,
Mariluz, Antonio Luis, a
Maria (q.e.p.d), Wilson,
Julián(q.e.p.d), Maria C, a
mis amigos y familiares.

A la fuerza, empuje,
tenacidad, apoyo y amor
que me han brindado
Patricia y Eduardo durante
toda mi vida.

A mis abuelos y familiares.

A Maria Carolina por su
comprensión y amor durante
toda nuestra relación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. ACEITES PARA TRANSFORMADOR	7
1.1 QUIMICA BASICA DE LOS ACEITES DE TRANSFORMADOR	8
1.2 REQUISITOS DE LOS ACEITES DE TRANSFORMADOR EN SERVICIO.	13
1.2.1 Viscosidad. Método ASTM D 88 y ASTM D 445	14
1.2.1.1 Índice de viscosidad. Método ASTM D 567	15
1.2.2 Viscosidad y punto de inflamación Vs. Gama de ebullición	16
1.2.3 Punto de inflamación o chispa. Método ASTM D 92 Y ASTM D 93.	16
1.2.4 Densidad. Método ASTM D 1298	18

1.2.5	Contenido de agua. Método ASTM D 1533	18
1.2.6	Partículas sólidas. Método ASTM D 1698	20
1.2.7	Tensión de ruptura CA. Método ASTM D 877, D 1816, IEC 296 (NTC 1465)	21

1.2.8	Factor de perdidas dieléctricas(tan delta / factor de potencia) Método ASTM D 924, D 1169	21
1.2.9	Tensión superficial. Método ASTM D 971	23
1.2.10	Valor de neutralización o TAN. Método ASTM D 664 y ASTM D 974	24
1.2.11	Estabilidad ante la oxidación. Método D 2440	24
1.2.12	Tendencia a la gasificación. Método ASTM D 831, D 1827 D 2945	25
1.2.13	Ruptura de impulsos.	25
1.3	ENSAYOS DE LOS ACEITES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE RECUPERACION DE ACEITE MINERAL	26
1.3.1	Color y apariencia externa	26
1.3.2	Tensión de ruptura CA	27
1.3.3	Contenido de agua	29
1.3.4	Valor de neutralización	33

1.3.5	Factor de pérdidas dieléctricas y/o resistividad CC	33
1.3.6	Tensión superficial	33
2.	PROCESOS DE REGENERACIÓN	35
ix		
2.1	METODOS PARA REGENERACION DE ACEITE	36
2.1.1	Por decantación	36
2.1.2	Por centrifugación	36
2.1.3	Por purificación	37
2.1.4	Por vacío	37
2.1.5	Por coalescencia	37
2.1.6	Por criogénia	38
2.2	METODO DE REGENERACION POR VACIO	38
2.2.1	Filtración del aceite	39

2.2.1.1	Medios Filtrantes	41
2.2.1.2	Procesos de degradación química de los aceites Minerales aislantes.	42
2.2.2	Destilación	44
3.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	45
3.1	DISEÑO DEL TANQUE DE PROCESO	45
3.1.1	Calculo del casco o cuerpo del tanque	46
	x	
3.1.2	Calculo de las tapas o cabezas del tanque	50
3.1.3	Diseño de juntas soldadas	54
3.1.3.1	Junta del cuerpo o casco	54
3.1.3.2	Juntas de las tapas elipsoidales con el cuerpo	58
3.1.4	Registros	62

3.1.4.1	Calculo para registros de ½" Sch. 40	64
3.1.4.2	Calculo para registros de 1" Sch. 40	70
3.1.4.3	Calculo para registros de 2 1/2" Sch. 40	71
3.1.5	Calculo de la ubicación de registros en el tanque	73
3.1.5.1	Calculo de la posición del acople bridado de ½" Sch. 40 en La cabeza elipsoidal 2:1	73
3.1.5.2	Calculo de la longitud de cuello soldado roscado de 2 ½" Sch. 40 en cabeza elipsoidal 2:1	75
3.1.5.3	Calculo de la posición del acople bridado de 1" Sch. 40 En el cuerpo del tanque	78
3.1.5.4	Calculo de la posición del cuello soldado roscado de ½" Sch. 40 en el cuerpo del tanque	80
3.1.5.5	Calculo de la posición del cuello soldado roscado de ½" Sch. 40 en cuerpo del tanque	83
3.1.5.6	Calculo de la posición del cuello soldado roscado ½" Sch 40 en cuerpo del tanque	85

3.1.5.7	Calculo de la posición del cuello soldado roscado de ½” Sch 40 en cabeza elipsoidal	87
3.1.5.8	Posición cuello soldado roscado ½” en cabeza Elipsoidal	87
3.1.6	Selección de accesorios	88
3.1.7	Cálculo del volumen y peso del tanque en diferentes Condiciones de operación	88
3.1.8	Elementos de fijación	93
3.2	CALCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUINA	93
3.2.1	Análisis estático de la estructura	95
3.2.2	Diseño juntas soldadas	107
3.3	CALCULO DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL ACEITE MINERAL DIELECTRICO	116
3.3.1	Cálculo del sistema de bombeo para la etapa de llenado.	118

3.3.2	Calculo del sistema de bombeo para la etapa de recirculación	123
xiii		
3.3.3	Cálculo del sistema de bombeo para la etapa de descarga	127
3.4	CALCULO Y SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO TERMICO	131
3.4.1	Calor necesario a transmitir a la mezcla agua aceite	131
3.4.2	Cálculo de la pérdida de calor si el tanque no esta aislado térmicamente	134
3.5	CALCULO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE UNA BOMBA DE VACIO SEGÚN EL CAUDAL DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO DE ACEITE AISLANTE	141
3.6	CALCULO DEL AMPERAJE REQUERIDO POR LA MAQUINA	145
4.	MANUALES DE LA MAQUINA	146
4.1	MANUAL DE OPERACIÓN	147
4.2	MANUAL DE MANTENIMIENTO	150

4.3 MANUAL DE SEGURIDAD DEL EQUIPO 155

5. CONCLUSIONES 157

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla viscosidad a 70	15
Tabla 2. Tabla de punto de inflamación	16
Tabla 3. Análisis comparativo de aceites dieléctricos	23
Tabla 4. Rigidez dieléctrica de aceite de transformador	28
Tabla 5. Variación de la deflexión generada por cada sección en el Tramo 9	99
Tabla 6. Tubería succión etapa llenado	119
Tabla 7. Tubería descarga etapa llenado	122
Tabla 8. Tubería succión etapa de recirculación	124
Tabla 9. Tubería descarga etapa de recirculación	126

Tabla 10. Tramo succión etapa descarga del producto	128
Tabla 11. Tramo descarga etapa descarga de producto	129
Tabla 12. Potencia necesaria para un tiempo de proceso Determinado	134

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de los hidrocarburos básicos del aceite Mineral	9
Figura 2. Viscosidad y punto de combustión Vs. Gama de Ebullición	17
Figura 3. Solubilidad de agua en aceite	19
Figura 4. Contaminación por partículas después del transporte y Almacenamiento.	22
Figura 5. Tensión de ruptura CA	22
Figura 6. Contenido de agua en un aceite	30
Figura 7. Casco cilíndrico horizontal	48
Figura 8. Cabeza elipsoidal 2:1	51

Figura 9. Junta del casco 56

Figura 10. Sección A-A 56

Figura 11. Junta entre la cabeza elipsoidal y el casco 60

Figura 12. Sección B-B.	60
Figura 13. Diseño del registros	63
Figura 14. Puntos de falla	69
Figura 15. Acople bridado en cabezas elipsoidales 2:1.	74
Figura 16. Cuello soldado roscado en cabeza elipsoidal 2:1	76
Figura 17. Acople bridado para el cuerpo del tanque	79
Figura 18. Mirilla de nivel ubicada en la parte lateral inferior del cuerpo Del tanque.	81
Figura 19. Cuello soldado roscado en el cuerpo del tanque	84
Figura 20. Acople soldado roscado ubicado en la parte inferior del Cuerpo del tanque	86
Figura 21. Configuración geométrica de la estructura de la maquina	94
Figura 22. Comportamiento estático tramo M9	96
Figura 23. Comportamiento estático tramo M14	101

Figura 24. Comportamiento estático tramo M6	105
Figura 25. Vista frontal equipo. Posición de dispositivo térmico	133

xvii

Cartagena Abril 10 del 2002

Señores
Comité de proyecto de grado
TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
Facultad de Ingeniería Mecánica
L.C.

La presente tiene como objeto presentar el proyecto de grado titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PORTÁTIL PARA LA RECUPERACIÓN DEL ACEITE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA CASA DEL EMBOBINADOR”**.

El cual se someterá a su consideración y aprobación.

Cordialmente,

Marylena Jinete Castro
Cod. 9703020

Nicolás Eduardo Acosta
Cod. 9703008

ARTICULO 105

La corporación se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado y no pueden ser explotados comercialmente sin su previa autorización.

INTRODUCCIÓN

El aceite mineral dieléctrico empleado en los Transformadores Eléctricos tiene la doble misión de evacuar el calor del núcleo y arrollamientos a las zonas de enfriamiento y aislar las zonas a diferentes potenciales eléctricos, interponiendo una barrera entre ellos.

Como medio de absorción por convección del calor del núcleo y de los arrollamientos, como por sus propiedades aislantes, tienden a alterarse, es decir, a oxidarse y a polimerizarse. Estas alteraciones merman las cualidades electrotécnicas del aceite. El envejecimiento es activado por la temperatura, la humedad y el contacto con el oxígeno del aire, formando lodos y productos ácidos orgánicos algunos de los cuales se volatilizan y otros quedan en solución dentro del aceite.

Estos contaminantes se encuentran disueltos o emulsionados en el aceite. Si no se eliminan o minimizan mediante tratamientos de reciclaje, el aceite termina su vida útil y se convierte en un residuo tóxico, penoso y peligroso al que hay que

gestionar correctamente para evitar contaminar la naturaleza por vertidos incorrectos.

Pero además dada la importancia que cualquier avería puede tener sobre el transformador, en dinero y tiempo de reparación, es imprescindible realizar una inspección periódica del equipo y de su aceite. Desgraciadamente dado que sus partes esenciales están ocultas y que carece de partes móviles, muchas personas responsables de su operación consideran erróneamente innecesario el mantenimiento. Si el servicio de un transformador falla por rotura eléctrica pueden ocurrir serias interrupciones en la producción de una Subestación. En cualquier caso, un nuevo bobinado, lleva normalmente un tiempo de 40 días con las consiguientes pérdidas económicas.

De manera que para detectar la viabilidad de los tratamientos de reciclado y prolongar la vida del aceite dieléctrico de los transformadores a los que pertenecen se vigila periódicamente su estado, sometiéndolo a análisis Físico Químicos. Si los análisis comprueban que no reúne unas condiciones mínimas de pureza, es necesario someterlos a:

- Tratamientos de Acondicionamiento
- Tratamientos de Reacondicionamiento
- Tratamientos de Regeneración

La empresa Depuroil, S.A¹. líder en el mantenimiento de transformadores “in situ” y “en carga”, asegura que aplicando estos tratamientos según las condiciones en las que se presente el aceite, se puede obtener para cada tratamiento los siguientes resultados:

Para tratamientos de acondicionamiento, estadísticamente se comprueba que en la mayoría de los casos es posible aumentar la duración de la carga nueva de esta forma un 75% mas, de forma que el consumidor de aceites industriales consigue los siguientes beneficios:

- ❑ Disminución de la frecuencia de compra de aceite nuevo.
- ❑ Disminución del volumen de residuos generados.
- ❑ Disminución del coste de gestión de residuos.
- ❑ Limpieza y secado de los devanados del transformador del circuito de lubricación del equipo con la ventajas que ello produce.

En tratamientos de reacondicionamiento, estadísticamente se comprueba que en la mayoría de los casos es posible reciclar el 100% del volumen de aceites

¹ **Depuroil,S.A** Alameda Mazarredo 35 7ª Planta Bilbao - España TEL:94 423 44 92 Fax 94 423 81 41.

contaminados, de forma que el consumidor de aceites dieléctrico consigue los siguientes beneficios:

- Disminución del volumen de residuos generados.
- Disminución del coste por la compra de aceite nuevo.
- Disminución del coste de gestión de residuos.
- Limpieza y secado de los devanados del transformador con la ventajas que ello produce.

En tratamientos de regeneración, estadísticamente se comprueba que en la mayoría de los casos es posible regenerar el 95% del volumen de aceites contaminados, de forma que el consumidor de aceites dieléctrico consigue los siguientes beneficios:

- Disminución del volumen de residuos generados.
- Disminución del coste por la compra de aceite nuevo.
- Disminución del coste de gestión de residuos.
- Limpieza y secado de los devanados del Transformador con la ventajas que ello produce.

De esta manera se destaca la importancia que tiene el poder acondicionar, recuperar y reutilizar el aceite mineral dieléctrico para transformador, no solo en el aspecto económico, sino también en el ambiental. He de hay el interés de tener un sistema portátil de regeneración de aceite dieléctrico para transformador que suministre un servicio óptimo de limpieza y recuperación del aceite de acuerdo a las normas internacionales y organismos reguladores para este tipo de fluido, como lo es la A.S.T.M. y la CEI, respectivamente.

El presente proyecto considera, en su primera fase, un análisis detallado del fluido utilizado para la refrigeración en el transformador, dado que si se hace la comparación con la sangre que circula por el cuerpo humano, es fuente de información valiosa en cuanto al estado en que se encuentra el equipo o sistema. Se mencionara su importancia como tal dentro del equipo, el porqué de este fluido como sustancia necesaria para el equipo mismo y sus principales características físico químicas y eléctricas, acompañadas por un análisis exhaustivo de cada una de ellas.

Posteriormente se expondrá, de forma clara y precisa, la forma como se plantea el sistema portátil de regeneración de aceite mineral dieléctrico para transformador. Empezando por expresar ordenadamente el proceso de regeneración de aceite,

en donde se incluyen todos los sistemas y equipos involucrados en la maquina. Consecutivamente, se desglosa elemento por elemento, explicando su función y objetivo dentro del sistema y, si es necesario dado la complejidad del mismo, su respectivo calculo, en donde se determina si es posible su diseño o si es un dispositivo que puede ser seleccionado de acuerdo a unos parámetros básicos de diseño, normas establecidas o criterios propios de los investigadores. Anexando esquemas, planos, catálogos y demás referencias útiles para la labor mencionada anteriormente.

Finalmente, se plasma el sistema portátil de recuperación de aceite mineral, acompañado por el manual de montaje, manual de operaciones, manual de mantenimiento de la maquina y un listado de las diversas pruebas establecidas por la CEI y por cada organismo independiente (productores de aceite mineral dieléctrico, diseñadores de equipos de transformador, etc.), para poder dictaminar sí el aceite tratado en el sistema portátil esta dentro de la normatividad y reglamentación establecida para este tipo de aceite.

Esperamos que este trabajo de investigación sea de su agrado y despierte el interés hacia un nuevo campo de la ingeniería, tal y como nos sucedió a nosotros. Y conlleve a servir a la búsqueda de nuevas ideas que se reflejen en nuevas tecnologías las cuales aporten soluciones a problemas del día a día en el campo industrial en general.

1. ACEITES PARA TRANSFORMADOR

Las características físicas y químicas de los petróleos crudos son las que definen su actitud para destinarlos a la obtención de aceites básicos. Una vez definido esto, el petróleo es sometido al proceso de destilación primaria (destilación a presión atmosférica), donde se le extrae fraccionadamente los productos ligeros (gases, solventes, gasolina, etc.); el residuo extraído de la destilación primaria es sometido a la destilación al vacío, obteniéndose allí los cortes de aceites destilados que pueden designarse como ligero, mediano y pesado.

Posteriormente estos aceites son sometidos a procesos de refinación selectiva, al fin de purificarlos de acuerdo con la aplicación a que van hacer destilados. En resumen las propiedades de los aceites básicos están determinadas, por su composición química, la que a su vez depende del crudo de procedencia y del proceso de refinación de los mismo.

De acuerdo con su composición química predominante, los aceites básicos se clasifican en aceite de base parafínica, aceites de base naftenica y aceites de base aromática o asfáltica.

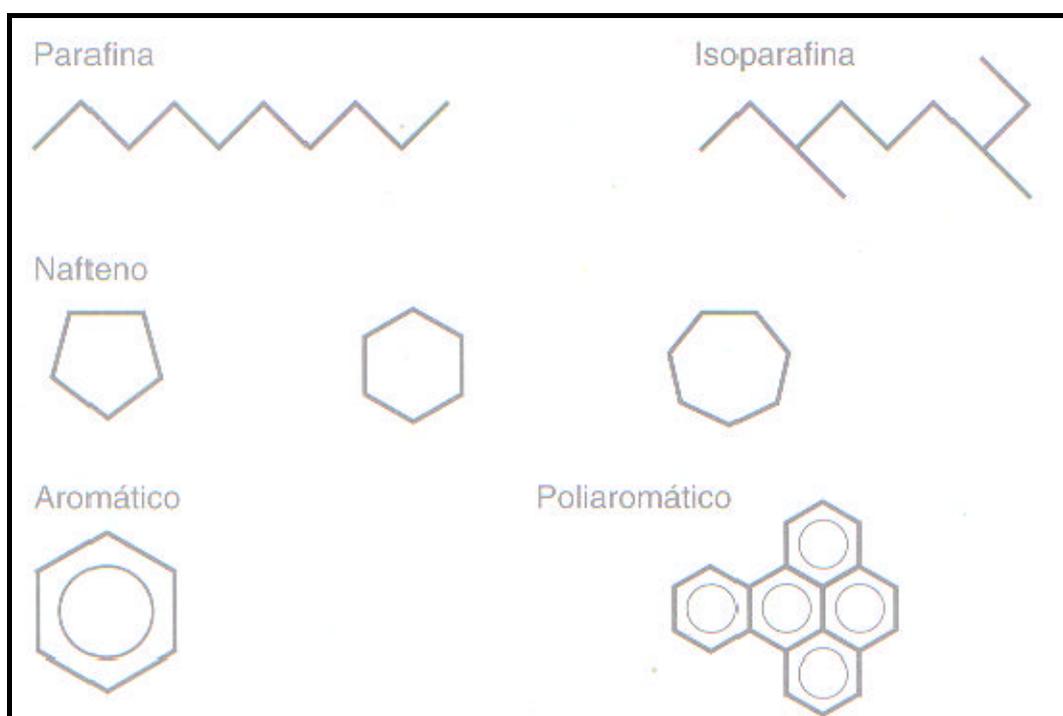
El aceite aislante para transformadores es una mezcla adecuada de hidrocarburos isoparafínicos, naftenicos y aromáticos, con moléculas entre 16 y 22 átomos de

carbono. Lograda a través de procesos especializados de destilación y refinación, aportando cada una de estas bases su cuota de propiedades deseables y mediante las proporciones adecuadas limitar lo indeseable que cada una puede tener, con el fin de que el producto final cumpla las tres funciones básicas de refrigerante, aislante eléctrico y protector de las partes internas del transformador teniendo a la vez una buena estabilidad a la oxidación y una aceptable tendencia a la gasificación.

1.1 QUÍMICA BÁSICA DE LOS ACEITES DE TRANSFORMADOR

Un aceite mineral de transformador se compone principalmente de carbono e hidrógeno en moléculas que presentan diferentes estructuras. La estructura básica de un aceite mineral de transformador esta compuesta por una estructura parafinica, una estructura naftenica y una estructura aromática, acompañados de heteroátomos e inhibidores sintéticos. (Véase la figura 1).

Por estructura parafinica². Este grupo de moléculas puede ser tanto cadena lineal como de cadena ramificada. Los alcanos de cadena lineal son conocidos como parafinicas. Estos aceites no son newtonianos por debajo de su punto de turbiedad, siendo necesario reducir su contenido de n – alcanos antes de poder



FUENTE manual de aceites de transformador, NYNAS

Figura 1. Estructuras de los hidrocarburos básicos del aceite mineral

² GALLO, Ernesto. Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda, 1992.

utilizarlos en clima frío. Las moléculas de este tipo presentan así mismo una baja solubilidad para el agua y los productos de oxidación.

Esto puede ocasionar problemas, en forma de sedimentos precipitados en los conductos del transformador. Las moléculas parafinicas tienen una estabilidad térmica más baja que las moléculas naftenicas y aromáticas.

Por estructura naftenica³. Las moléculas de este grupo son también conocidas como cicloalcanos. Las propiedades que presentan a bajas temperaturas son excelentes, y tienen mejor capacidad de solubilidad que los n – alcanos.

Existen 5, 6, o 7 carbonos en la estructura anular, predominando los anillos de 6. poseen características similares a las parafinicas pero más estables a la oxidación, con menor tendencia a la formación de gases, con bajo punto de fluidez, aceptable coeficiente de expansión y carbonos ante descargas eléctricas.

Por estructura aromática⁴. Todos los aceites de transformador contienen moléculas aromáticas, siendo este probablemente el grupo más importante a tratar

p.5.

³ Gallo, Ernesto. Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda.,1992,p.5.

⁴Ibid., p.6.

puesto que cumple la importante misión de ser los inhibidores naturales del aceite contra la oxidación, y cuando se agotan se acelera el proceso de acidificación del aceite. Son totalmente distintas de las moléculas parafinicas y naftenicas, tanto química como físicamente. Poseen propiedades tales como bajo coeficiente de expansión, baja estabilidad a la oxidación, pero con la ventaja de que forman compuestos químicos estables impidiendo subsiguientes reacciones de oxidación, comportándose como inhibidores naturales contra el proceso de acidificación del aceite impidiendo la formación acelerada de lodo y alto poder de lacas y resinas.

Heteroátomos. Todos los aceites contienen moléculas de hidrocarburos, que incluyen en su estructura otros elementos tales como nitrógeno, azufre y oxígeno. Casi todos los Heteroátomos de un aceite están enlazados a las estructuras aromáticas, por lo que si se extraen todos los aromáticos mediante separación física, se extraerá igualmente todo el azufre, nitrógeno y oxígeno.

- **Nitrógeno.** Las moléculas que contienen nitrógeno pueden ser básicas (p. Ej. Quinolénias, piridinas) o ser no básicas (p. Ej. Carbazoles, pirroles). El contenido de nitrógeno de los aceites de transformador es relativamente pequeño (dentro de la gama ppm), pero afecta considerablemente sus características, ya que actúan como iniciadoras del proceso de oxidación.⁵

⁵ Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.55.

□ **Azufre.** Las moléculas que contienen determinados tipos de azufre pueden ocasionar corrosión del cobre y de la plata. También pueden actuar como inhibidores destructores de peróxido durante el proceso de oxidación. Un estudio realizado, indica que cuanto mayor eficacia demostraban como inhibidores, más reactivas resultaban en la corrosión del cobre⁶.

□ **Oxígeno.** En los aceites usados el contenido de oxígeno orgánico enlazado es más alto que en los aceites nuevos, debido a que durante la oxidación se forman ácidos, cetonas, fenoles y otras moléculas que contienen oxígeno.

Los fenoles pueden actuar, como ya hemos mencionado, al modo de inhibidores destructores de radicales. El agua, otro producto de la oxidación, resulta particularmente destructiva en los aceites, pudiendo ocasionar un deterioro excesivamente rápido del papel. Algunas moléculas mencionadas anteriormente son fuertemente polares y en un campo eléctrico causarán pérdidas de campo al estar orientadas. Posiblemente, algunas pueden llegar a actuar como agentes dispersores del agua.

⁶ Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.55.

El oxígeno enlazado químicamente no debe ser confundido con un el gas oxígeno disuelto físicamente. Este último puede ser extraído por desgasificación.

Inhibidores Sintéticos. Son compuestos químicos sintéticos que reaccionan con facilidad con el oxígeno disuelto en el aceite, oxidándose primero que este formando compuestos estables y solubles, protegiendo las bases de hidrocarburos contra la acidificación.⁷

1.2 REQUISITOS DE LOS ACEITES DE TRANSFORMADOR EN SERVICIO

El aceite cumple varias funciones en un transformador, siendo naturalmente el aislamiento y la refrigeración las más importantes. Otra de sus funciones consiste en transportar información sobre el estado de los componentes activos del transformador.

⁷ GALLO, Ernesto. Diagnóstico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda., 1992. p.7.

Los requisitos mas importantes de un aceite de transformador están listados en diversas especificaciones y normativas nacionales e internacionales. Las normas básicas son CEI 296, BS 148, VDE 0370 y ASTM D 3487.⁸

A continuación, presentamos un resumen de los requisitos sobre las propiedades.

Químicos

Estabilidad ante la oxidación

Contenido de inhibidor de oxidación

Azufre corrosivo

Contenido de agua

Índice de neutralización

Eléctricos

Tensión de ruptura

Factor de perdidas dieléctricas

Físicos

Viscosidad

Apariencia

Densidad

Punto de fluidez

Requisitos Adicionales

Tensión de ruptura por impulsos

Propiedades de solubilidad

Propiedades de gasificación

Estructura Aromática

⁸ Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.25.

Punto de inflamación

Estructura poliaromática

Tensión superficial

1.2.1 Viscosidad⁹ método ASTM D 88 Y ASTM D 445. Se define como la resistencia interna a fluir que presentan las moléculas de un líquido cuando pasan una al lado de la otra, en su movimiento, a una temperatura determinada. Se manifiesta por un aumento en la fricción interna, que trae como consecuencia la elevación de la temperatura.

La viscosidad de un aceite¹⁰ es importante para la refrigeración del transformador: cuanto más baja es la viscosidad, mejor es la refrigeración. sin embargo, es preferible un IV bajo debido a que, a la temperatura operativa, se requiere una viscosidad menor.

CEI 296 se divide actualmente en tres clases de viscosidad, I, II y III. Los valores máximos de viscosidad permitidos para las distintas clases se indican seguidamente, y la diferencia entre ellos se visualiza en los requisitos referentes al punto de inflamación.

⁹ ICONTEC. Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284. 1991. p.569.

AGUILLÓN, Pedro Albarracín. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. COLOMBIA, p.201-229.

¹⁰ Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.27.

Tabla 1. Viscosidad a 70 C

	I	II	III
Viscosidad a 70°C mm ² /s	<16,5	<11	<3,5

FUENTE: manual de aceites de transformador, NYNAS.

1.2.1.1 Índice de viscosidad¹¹ Método ASTM D 567. Después de la viscosidad, es la característica más importante que se debe tener en cuenta y se define como la mayor o menor estabilidad de la viscosidad de un aceite lubricante a los cambios de temperatura.

1.2.2 Viscosidad y punto de inflamación versus gama de ebullición¹². Un aceite es una mezcla de cientos de moléculas distintas, y por ello resulta mas apropiado hablar de su gama de ebullición que de su punto de ebullición. La viscosidad de los aceites aumenta cuando la gama de ebullición es mas alta. (Véase figura 2)

¹¹ AGUILLÓN, Pedro Albarracín. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. COLOMBIA, p.201-229.

¹² Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.27.

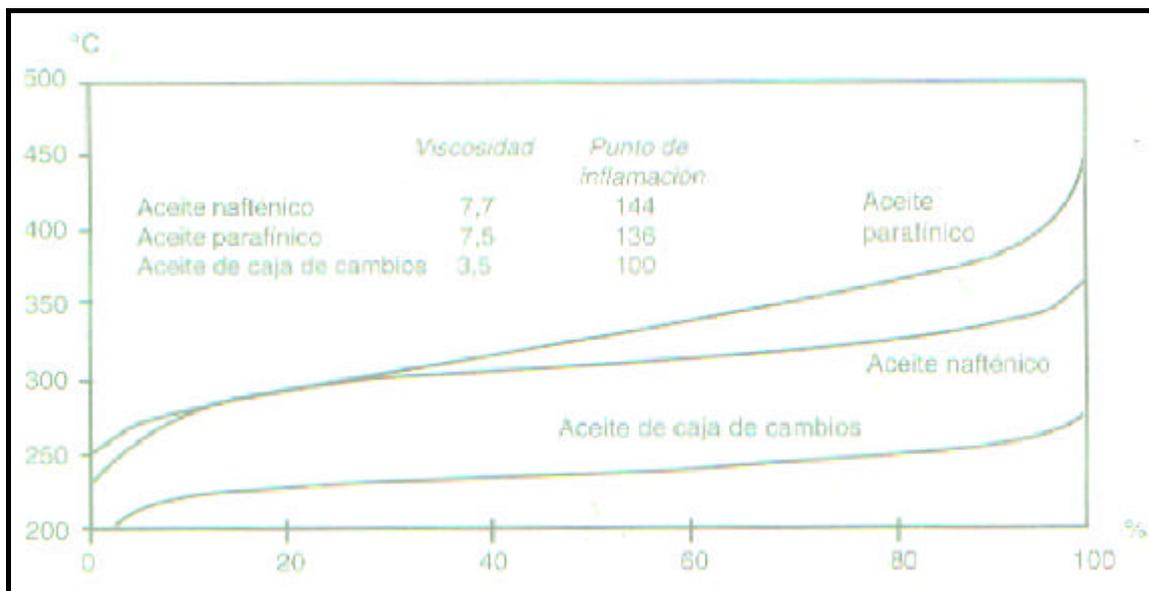
1.2.3 Punto de inflamación¹³ o chispa método ASTM D 92 Y ASTM D 93. Es la temperatura mínima a la cual los gases formados se inflaman por un instante al aproximarles una chispa o llama. Un punto de inflamación bajo indica la presencia de sustancias volátiles combustibles en el aceite.

El punto de inflamación de un aceite se especifica por razones de seguridad. En los tres grados CEI 296 se estipulan los siguientes puntos de inflamación.

Tabla 1. Punto de inflamación

	I	II	III
Punto de inflamación PM°C	>140°C	>130°C	>95°C

¹³ ICONTEC Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284.1991, p.568.
Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.30.



FUENTE: manual de aceites de transformador, NYNAS

Figura 2. Viscosidad y punto de combustión versus gama de ebullición

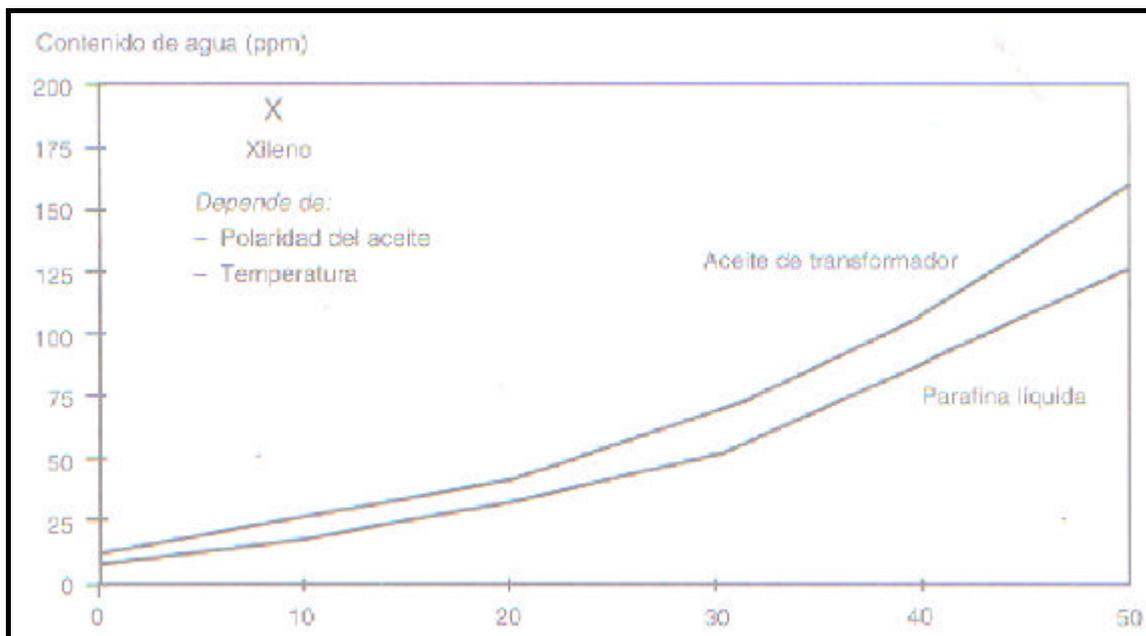
1.2.4 Densidad método ASTM D 1298. En climas fríos es importante especificar la densidad del aceite para evitar, a bajas temperaturas, la aparición de hielos flotantes en el aceite. Esto puede suceder cuando exista agua libre en transformadores desactivados, ocasionando perturbaciones durante la puesta en marcha.

Los aceites de alto contenido aromático tienen mayor densidad que los aceites con moléculas nafténicas y parafínicas. La densidad disminuye al aumentar la temperatura, utilizándose el coeficiente estándar $0.00065/^{\circ}\text{C}$ para calcular la

densidad a temperaturas distintas de las medidas. El coeficiente variara ligeramente con los diversos aceites, según la estructura y el grado del refinado.

1.2.5 Contenido de agua¹⁴ método ASTM D 1533. El total de agua que el aceite es capaz de absorber depende de la temperatura y de la cantidad de moléculas polares. En la figura 6 podemos comprobar lo difícil que resulta mantener bajo el contenido de agua del aceite almacenado en áreas muy cálidas y húmedas. Asimismo, resulta obvio que el solo calentamiento del aceite no reducirá el contenido total de agua cuando exista agua libre en el sistema, dado que la solubilidad del agua aumenta con la temperatura.

¹⁴ ICONTEC. Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284. 1991, p.565.
Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.31.



FUENTE: manual de aceites de transformador, NYNAS.
Figura 3. Solubilidad del agua en aceite.

En cualquier caso, cuando haya presencia de agua libre, la menor viscosidad que se obtiene al calentar el aceite proporciona una separación más rápida, pero aumenta la cantidad de agua disuelta. En el mismo diagrama podemos apreciar que un mayor contenido aromático (polaridad) aporta un nivel de saturación mas alto para el agua.

Durante la oxidación del aceite se forma agua como producto derivado, siendo en este caso una ventaja para el aceite el contar con una alta solubilidad, de modo que no exista entonces agua libre.

Los aceites con alto contenido de agua pueden hacer espuma al ser desgasificados. No se trata de una espuma real. Puede encontrarse espuma estable y real en los sistemas contaminados – por ejemplo, en aceites contaminados con partículas o con otros líquidos incompatibles con el aceite, como los aceites de silicio.

1.2.6 Partículas sólidas¹⁵ método ASTM D 1698. Aunque el aceite tratado con las modernas técnicas de refinado presenta escaso contenido de partículas, dicho contenido aumenta tan pronto el aceite es transportado y almacenado. Pasando el aceite a través de una unidad de desgasificación, que contiene un filtro de partículas, se reduce el número de partículas hasta un nivel aceptable. Si circula a través del transformador y de una unidad de desgasificación, el aceite limpia el transformador de polvo y de partículas de celulosa libres.

La figura 4 muestra los resultados de un estudio sobre el contenido de partículas del aceite en su camino desde la planta procesadora hasta el almacenamiento y desgasificación. La curva superior corresponde a un aceite tomado después del transporte y almacenamiento, y la inferior a uno después de la desgasificación y filtración.

¹⁵ICONTEC. Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284. 1991, p.566.

1.2.7 Tensión de ruptura CA método ASTM D 877, D1816, IEC 296(NTC 1465), CEI 156. Esta propiedad es enormemente compleja, e importante como una medida de la aptitud de un aceite para resistir esfuerzos eléctricos. el valor medido dependerá del contenido de partículas, tipo de partículas, contenido de agua y método de prueba empleado.

1.2.8 Factor de pérdidas dieléctricas¹⁶ (tan delta / factor de potencia) método ASTM D 924, D 1169. Este es un parámetro al que las especificaciones de un aceite de transformador siempre hacen referencia. El factor de perdidas dieléctricas depende de la cantidad de iones en el aceite, de productos de envejecimiento o de sustancias coloidales.

¹⁶ Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.34.

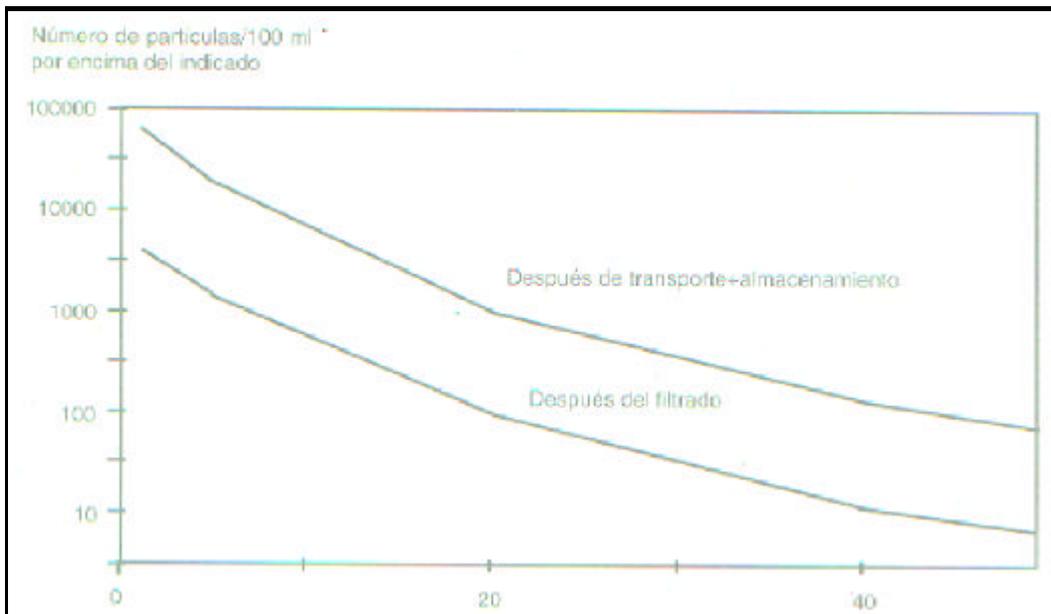


Figura 4. Contaminación por partículas después del transporte y almacenamiento, y tras el filtrado

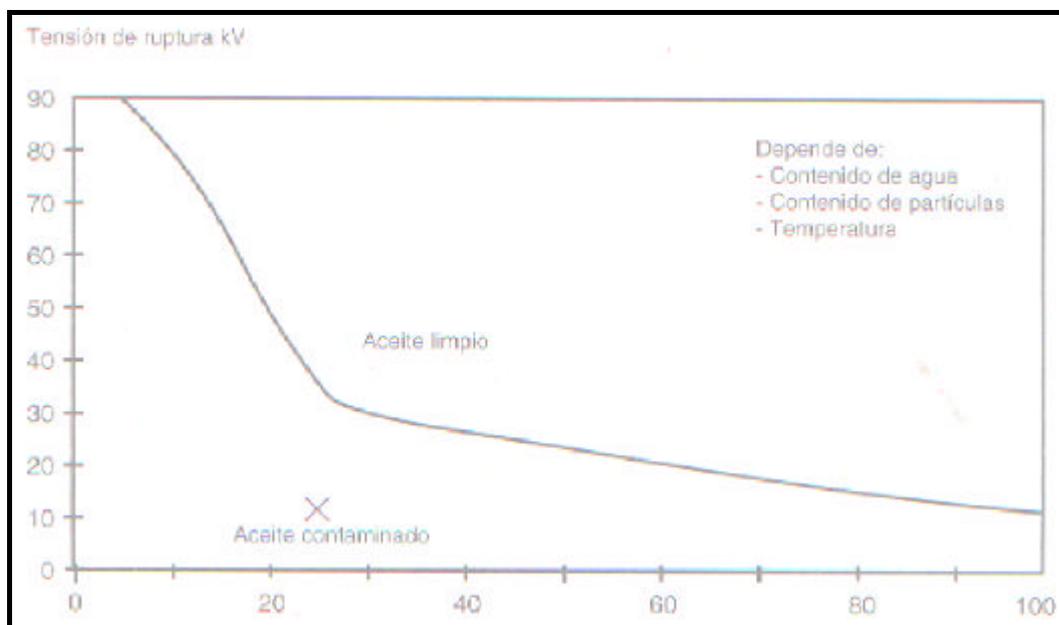


Figura 5. Tensión de ruptura CA

1.2.9 Tensión superficial método ASTM D 971. La prueba de tensión superficial mide la tensión de la interfaz entre el aceite y el agua. La tensión superficial depende de los grupos polares presentes en los aceites, mientras el tan delta (90°C, 50Hz) proporciona determinada información sobre el contenido de contaminantes ionizables.

A continuación se presentan algunos ejemplos de análisis sobre diferentes aceites.

Tabla 2. Análisis comparativo de aceites

	Tan delta	Tensión superficial mN/m	Contenido de agua ppm
Aceites expuestos a la luz diurna, almacenados en botellas de vidrio claro	0,0031	36	50
Antes de la prueba y referencia, almacenado en botellas de aluminio	0,0010	44	18

Fuente: manual de aceites de transformador, NYNAS.

De lo anterior podemos extraer tres conclusiones: los aceites son sensibles a la luz, la tensión superficial es más sensible en la detección de los productos de oxidación y el tan delta y contenido de agua son mas altos en los aceites al comienzo del proceso de oxidación.

1.2.10 Valor de neutralización¹⁷ o TAN, método ASTM D 664 Y ASTM D 974.

En un aceite bien refinado, el valor de neutralización habrá de ser inferior a 0,01 mg KOH/g de aceite, aunque debido a que este método tiene una repetibilidad de 0,03, el requisito mínimo es inferior a 0,03. en cualquier caso, este nivel es demasiado alto para proporcionar indicación alguna sobre las propiedades del aceite. Los aceites bien refinados no contaminados han de apuntar a un valor objetivo inferior a 0,01.

1.2.11 Estabilidad ante la oxidación¹⁸ método D 2440. La oxidación se ve influenciada por dos parámetros principales: oxígeno y temperatura. El aceite no se oxida sin oxígeno; pero es de notar que todos los aceites contienen una pequeña cantidad de aire, incluso después de la desgasificación (en una unidad seca y sellada siempre quedara un 0,05 y un 0,25% de oxígeno por volumen), que contribuirá a la oxidación. El calor acelera este deterioro.

¹⁷ ICONTEC. Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284. 1991, p.566.

Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.35.

¹⁸ Ibid., p. 566.

Ibid., p. 35.

1.2.12 Tendencia a la gasificación¹⁹ método ASTM D 831, D 1827, D 2945. Un aceite de transformador siempre sufre una determinada gasificación cuando es expuesto a descargas parciales. Esto se debe a que algunas moléculas registran una gran subida de su nivel energético y desprenden fragmentos. Los fragmentos encontrados en el aceite son H₂ y CH₄.

Si el gas se produce en grandes cantidades que quedan retenidas por el diseño del transformador, las burbujas que se forman suponen un peligro para el transformador dado que puede ocasionar una descarga eléctrica, debida a las diferentes propiedades de aislamiento que tiene el gas comparado con el aceite. Estos problemas deben resolverse en los transformadores modernos mediante un diseño que proporcione una baja cantidad de descargas parciales y una buena circulación de aceite.

1.2.13 Ruptura Por Impulsos. La ruptura por impulsos es una propiedad normalmente no descrita por la mayoría de las especificaciones. El comportamiento de ruptura por impulsos CC y una separación heterogénea difiere considerablemente en la resistencia CA. La prueba ha sido diseñada para simular la tendencia de los rayos sobre un transformador durante una tormenta. El

¹⁹ ICONTEC. Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284. 1991, p.568.

resultado es independiente de los contaminantes que influyen sobre la prueba normal, CEI 156.

Los métodos utilizados para realizar esta prueba son el CEI 897 y ASTM D 3300²⁰.

1.3 ENSAYOS DE LOS ACEITES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ACEITE MINERAL.

Para asegurar la larga vida de servicio de un aceite de transformador (p.ej., consideraciones costo / prestaciones), el paso más importante consiste en seleccionar un aceite que incorpore las propiedades requeridas por el equipo en cuestión. Por ejemplo, un transformador de alto voltaje y alta carga necesita un mejor aceite que un transformador de bajo voltaje y baja carga.

Por lo anterior se debe tener en cuenta los siguientes parámetros que ayudan a dar un diagnóstico del estado del aceite y del transformador. Por ello, analizando el aceite en servicio pueden obtenerse tempranas indicaciones de la degradación del papel, puntos recalentados, averías eléctricas y problemas con piezas móviles tales como las bombas.

Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.42.

²⁰ Manual de aceites de transformador. NYNAS, p.43.

1.3.1 El color y la apariencia externa. Proporcionan una información rápida y valiosa, de fácil obtención. El color de un aceite aislante esta determinado por la luz transmitida y esta expresado por un numero obtenido de su comparación con una serie de colores normalizados. Un color oscuro puede indicar que el aceite ha comenzado a deteriorarse, lo que además constituye el primer paso en la formación de lodos. La apariencia de un aceite puede revelar la presencia de agua libre e impurezas, tales como fibras o partículas de celulosa. Un olor desagradable puede denotar la formación de un arco eléctrico, lo que ocasiona la descomposición del aceite.

El color se determina a través de la comparación visual del color de esta con un espesor determinado, contra una serie de filtros de discos en los colores que especifica un comparador determinado. El ensayo se evalúa al observar la nebulosidad, las partículas extrañas u otras materias en suspensión presentes en la muestra.²¹

1.3.2 La tensión de ruptura CA. Cobra importancia como medida de la capacidad de un aceite para resistir los esfuerzos eléctricos sin presentar falla. La tensión de ruptura depende del contenido de agua y partículas del aceite. Es

²¹ ICONTEC, Método de examen visual en el campo de aceites aislantes eléctricos derivados del petróleo. NTC 2979.

especialmente importante controlarlo antes de poner en marcha un transformador nuevo, así como cuando el aceite del transformador y el aislamiento del papel comienzan a deteriorarse, ya que el proceso de deterioro genera partículas y agua.

La prueba se realiza aplicando progresivamente tensión a dos electrodos de bronce, de geometría y separación según la norma que se esté aplicando, sumergidos en el aceite a probar y el conjunto aceite electrodos contenido en un vaso apropiado. La tensión se aplica a una rampa específica para cada tipo de Norma. La geometría de los electrodos y su separación varían de acuerdo a la Norma que se esté aplicando en cada caso. De aquí la importancia de definir muy bien a qué Norma se está haciendo referencia, cuando de comparar resultados se trata.

Se efectúa según procedimientos claramente establecidos principalmente por las Normas ASTM y VDE. La ASTM tiene establecida dos normas, la D-877 y la D-1816. Aunque aquí podemos mencionar que existen aproximadamente 30 diferentes normas, sin embargo lo importante es efectuar siempre la prueba bajo la misma norma para tener puntos de referencia comparables en el tiempo. (Véase tabla 4).

Tabla 3. Rigidez dieléctrica NORMA ASTM D-877 y D-1816

	ASTM D-877	ASTM D-1816
GEOMETRIA DE LOS ELECTRODOS	DISCOS 25 mm .	SEMIESFÉRICOS 36 mm.
SEPARACION	0.1" (2.5 mm)	0.04" (1 mm), 0.081"(2 mm)
RAMPA	3.000 V/SEG.	500 V/SEG.
ALCANCE EN KV.	POR DEBAJO DE 6 9 KV	35-50 KV SEP. 0.04" (1 mm) 80-90 KV SEP. 0.081 (2 mm)
SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD	EN EL RANGO DE 30 A 80 PPM O AGUA LIBRE.	POR DEBAJO DE 30 PPM
APLICACION RECOMENDADA SEGÚN ASTM	ACEPTACION ACEITE NUEVO A GRANEL O EN TAMBORES	ACEITES FILTRADOS, DESGASIFICADOS Y DESHIDRATADOS ANTES Y DESPUÉS DE TRATAMIENTO ACEITES EN OPERACIÓN.
SENSIBILIDAD A FIBRAS DE CELULOSA	MENOS SENSIBLE	MAS SENSIBLE

Fuente: Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda..

1.3.3 Contenido de agua. Un nivel demasiado alto de agua en el aceite denota que el papel contiene gran cantidad de agua; ello afectara el envejecimiento del papel, es decir, provocara la descomposición de sus fibras, lo cual ocasiona daños irreversibles que pueden conducir a una descarga eléctrica en el transformador.

Cabe resaltar que el aceite antiguo de transformador, cuando ha comenzado a oxidarse, presenta mas alto nivel de saturación por agua que un aceite nuevo; el agua también se produce durante la oxidación tanto del aceite como del papel, lo que acelera aun más la descomposición del papel.

El agua en el aceite tiene el comportamiento que se presenta en la figura 6 de acuerdo a esta curva se puede calcular el porcentaje de saturación de agua en el aceite y por tanto establecer el margen de seguridad en relación con la formación de agua libre en caso de enfriamiento del aceite. (Véase figura 6).

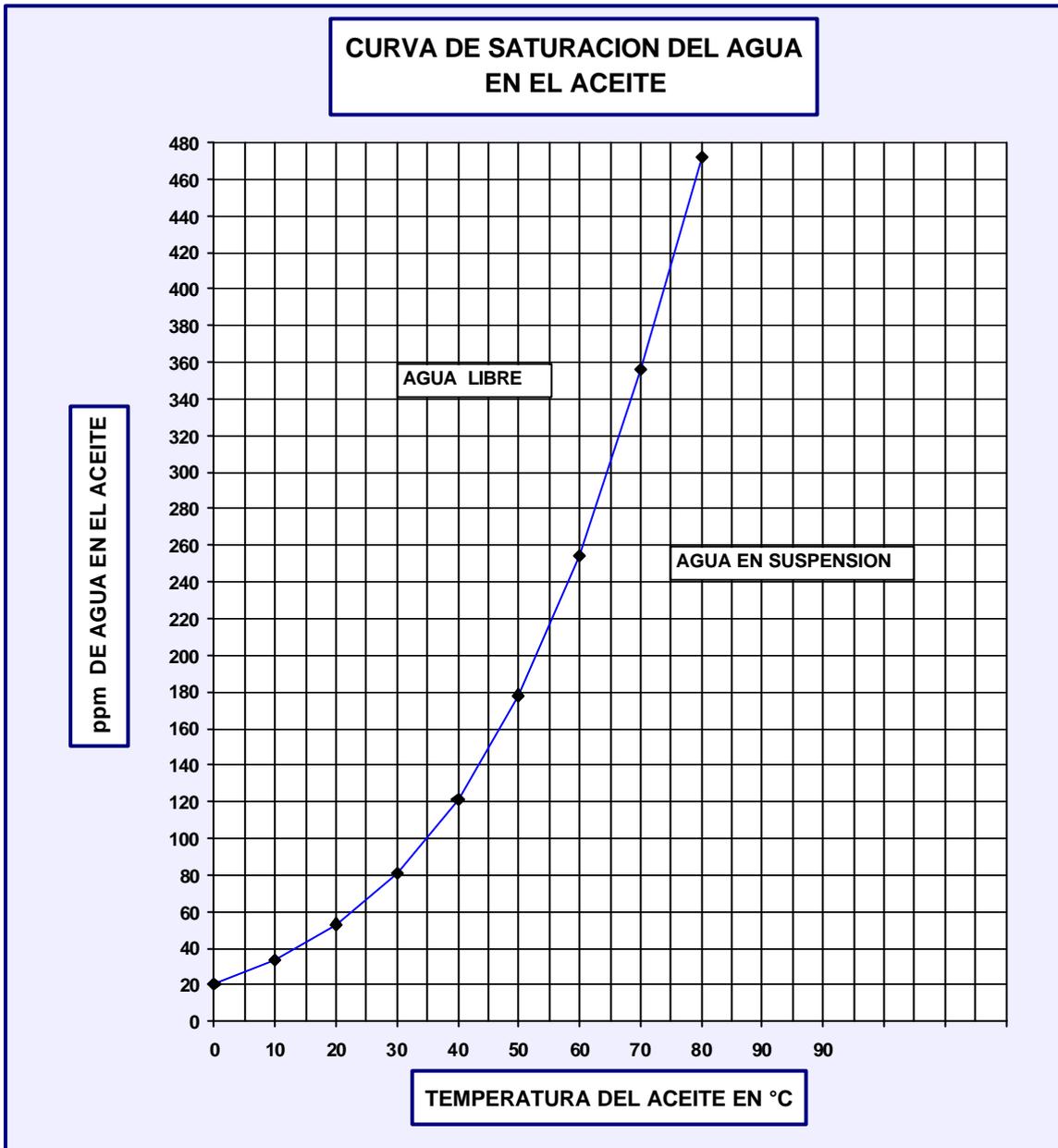


Figura 1. Contenido de agua en un aceite.

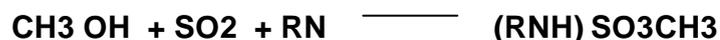
Normalmente todas las marcas de aceite tienen este perfil de saturación, mostrado en la figura 6, sin embargo, se observan variaciones de acuerdo a la marca. A mayor índice de refinación esta curva puede desplazarse un poco a la derecha. El agua puede estar presente en forma libre o por debajo de la curva de saturación:

- **En forma libre:** baja sensiblemente la rigidez dieléctrica y transfiere humedad a la Celulosa. Esta condición normalmente se da por falta de hermeticidad del transformador o por condensación sucesiva por debajo de la curva de saturación.

- **En forma emulsionada:** u oclusa (por debajo de la curva de saturación) puede o no afectar la rigidez, pero acelera la formación de compuestos polares que van a intervenir en la oxidación del aceite. Puede encontrarse en forma coloidal precisamente cuando se está cerca de la curva de saturación, y es cuando el aceite presenta una apariencia turbia y lechosa. También puede estar en forma completamente disuelta, y el aceite tiene una apariencia cristalina, y es cuando esta alejada de la curva de saturación.

El método más preciso que existe es el **KARL FISCHER** por titulación coulométrica, totalmente automático que da la información directa en ppm. La generación de yodo en el reactivo KARL FISCHER, es un indicador directo del agua presente en la muestra de aceite, terminándose la reacción en el momento en que se consume la totalidad del agua presente. El aparato detecta y mide la carga electrostática en culombios generada por la reacción y convierte dicho valor a ppm de agua dándole previamente la información al aparato del peso de la muestra en miligramos, efectuando dicho peso en una balanza analítica electrónica de buena precisión.

La titulación coulométrica **KARL FISCHER** es una variante actualizada del clásico método KARL FISCHER para la determinación del agua. En el método convencional se usan las soluciones metanólicas de Iodo, dióxido de azufre y base orgánica. La base orgánica actúa como un buffer (solución que mantiene el PH constante). Durante la titulación de una muestra que contiene agua ocurren varias reacciones las cuales se sintetizan en las siguientes ecuaciones.



Sulfonamida

Sulfato de amina (6)

La determinación cuantitativa del contenido de agua de una muestra se basa en la reacción anterior en la cual a una determinada cantidad de yodo generada le corresponde una cantidad equivalente de agua.

1.3.4 Valor de neutralización. Indica si el aceite contiene algún material ácido. Un valor alto o en aumento señala que el aceite ha comenzado a oxidarse. Lo cual puede ocasionar problemas de corrosión, y el ácido puede formar jabones con los iones metálicos del aceite y afectar sus propiedades eléctricas. Además, debido a su estructura polar, estos ácidos incrementan la solubilidad del agua en el papel y contribuyen de igual manera a la degradación del papel (acción catalítica).

1.3.5 Factor de pérdidas dieléctricas y/o resistividad CC. Estas características son muy sensibles tanto a los productos contaminantes como al envejecimiento. En algunas pruebas de estabilidad a la oxidación, se mide el factor de pérdidas dieléctricas y/o resistividad CC del aceite después de la prueba de envejecimiento, para indicar la capacidad de resistencia a la oxidación del aceite. Cabe anotar que dichas pruebas aportan normalmente similares indicaciones sobre impurezas, por lo que no es necesario realizar ambas.

1.3.6 Tensión superficial. Este es un análisis muy sensible y capaz de aportar, combinado con el factor de pérdidas dieléctricas, una pronta señal de alarma al iniciarse el deterioro del aceite, esto está íntimamente ligado a la estabilidad ante la oxidación.

Los parámetros más utilizados en el manejo de aceites dieléctricos son: Tensión de ruptura CA, Color y aspecto, contenido de agua y de igual importancia pero menos utilizada está el número de neutralización.

2. PROCESOS DE REGENERACIÓN

Son el conjunto de operaciones que se aplican a los aceites usados que aun mantienen los niveles de contaminación química y degradación de aditivos dentro de valores límites aceptables. Estas operaciones involucran procesos físicos de separación que no modifican las características químicas del producto.

Los procesos de recuperación se llevan a cabo mediante la utilización de equipos que pueden ser fijos o portátiles. Se los instala en paralelo con los sistemas de filtración existentes o también pueden efectuarse recuperaciones fuera de línea.

La contaminación externa es la causa principal del deterioro de los aceites y ocasiona dos tipos de inconvenientes en la operación del transformador:

- Canaliza las reacciones de oxidación y acelera el proceso de deterioro de aditivos y de la base lubricante.

- Ocasiona diferentes daños a la maquina, de acuerdo con su naturaleza; por ejemplo, corrosión (agua, ácidos, productos de oxidación, productos de combustión), desgaste de las superficies metálicas rozantes.

2.1 METODOS PARA LA REGENERACIÓN DE ACEITES

Debido a que los aceites están sometidos a diferentes condiciones de operación, no existe un método universal de recuperar el aceite usado. Por esto existen varios métodos de acuerdo con las necesidades que se tengan.

2.1.1 Por decantación²². Se emplea solamente para contaminantes mas pesados que el aceite como el agua y otras impurezas sólidas, las cuales se separan por diferencia de densidades y por la acción de la gravedad. Sin embargo es necesario que el aceite este en reposo y sometido a una temperatura entre 71°C y 82°C.

2.1.2 Por centrifugación²³. Es un medio acelerado para separar el agua y los contaminantes sólidos del aceite utilizando la fuerza centrífuga desarrollada por la rotación del aceite a altas velocidades. En la centrífuga el aceite puro y el agua libre son canalizados y separados independientemente y la mugre y el lodo se depositan en el asiento del casco, excepto una pequeña cantidad, que es descargada junto con el agua.

Este proceso es muy apropiado para el tratamiento de grandes caudales de aceite con niveles de contaminación elevadas.

²² ALBARRACIN AGUILLÓN, Pedro R. Tribología y lubricación industrial y automotriz.p.355.

²³ Ibid., p.355.

2.1.3 Por purificación²⁴. Utiliza el esquema de separación líquido – líquido – sólido. El aceite líquido sale por el disco superior, el agua por el anillo de descarga y los sólidos quedan retenidos en la taza. La eficiencia en la separación de los líquidos (agua y aceite), depende de la diferencia entre sus gravedades específicas, por que, entre mayor sea ésta mas eficiente será la separación. Esto se consigue calentando el aceite.

2.1.4 Por vacío²⁵. Es un método que combina la deshidratación con la desgasificación y emplea el calor y el vacío para remover agua y gases mezclados con aceite. Al removerle estos contaminates es posible devolverle al aceite sus características originales.

Los equipos purificadores de vacío pueden ser instalados fuera de línea, en paralelo con los sistemas de purificación de línea, trabajando de esta forma como un riñón artificial.

2.1.5 Por coalescencia²⁶. Desde el punto de vista de separación de partículas sólidas la purificación por filtrado es el proceso más efectivo porque una vez seleccionado el medio filtrante la retención será efectuada solo en función de la porosidad elegida; de esta forma, se independiza el proceso de purificación de la densidad de las partículas relativas al aceite, quedando por lo tanto, retenidas por

²⁴ ALBARRACIN AGUILLÓN, Pedro R. Tribología y lubricación industrial y automotriz.p.360.

²⁵ Ibid., p.364.

GALLO M. Ernesto. Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda.p.46.

tamaño. Este sistema de filtración es bastante moderno y combina varios procesos.

2.1.6 por criogénia²⁷. Se efectúa por medio de una bomba criogénica. Es un dispositivo altamente refrigerante que se coloca en la línea de vacío y estimula la condensación del vapor de agua que se está extrayendo del transformador. Su ventaja radica en que aumenta el diferencial de presión de vapor de agua de la superficie de los aislamientos sólidos y la cámara fría de la bomba criogénica.

2.2 MÉTODO DE REGENERACIÓN POR VACÍO

Todos los aceites utilizados en sistemas de refrigeración y protección de transformadores trabajan durante largos periodos de tiempo deteriorándose y contaminándose, causando diversos efectos adversos al transformador. Por ejemplo aumento del factor de potencia, aumento en la temperatura de operación del transformador, disminución de la resistencia de aislamiento eléctrico, disminución de la resistencia mecánica a la tracción, disminución de la rigidez dieléctrica entre otras; siendo necesarios cambiarlos por aceites nuevos, a menos que las impurezas y otros productos de la oxidación del aceite sean eliminados parcial o totalmente mediante diferentes métodos de recuperación.

²⁶ ALBARRACIN AGUILLÓN, Pedro R. Tribología y lubricación industrial y automotriz.p.367.

²⁷ GALLO M. Ernesto. Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda.p.48.

Uno de los métodos más efectivos para realizar la purificación es el de vacío. Este combina los procesos de deshidratación y desgasificación empleando calor y vacío para remover el agua y gases mezclados con el aceite. Si además agregamos filtros para separar partículas sólidas se convertirá en el proceso más efectivo para regenerar aceites minerales usados.

El proceso estará constituido por dos etapas:

- La filtración

- La destilación

2.2.1 Filtración del aceite. La filtración es un proceso físico de separación de sólidos suspendidos en fluidos. Sea este líquido, gas o aceite. La separación se efectúa solamente con base en la exclusión por tamaño. Es independiente de la temperatura y el peso específico de los componentes, se realiza a bajas presiones y para altos flujos.

Filtración²⁸ es el nombre de la operación; un filtro es el equipo utilizado en la operación. El medio filtrante es la barrera que permite que pase el líquido mientras retiene los sólidos. Dicho medio puede ser de diferentes materiales como tela,

²⁸ PERRY, Robert. Manual del ingeniero químico. Bogotá: McGraw Hill, 1992.19-73.p. ISBN 968-422-975-5.

papel, leche de sólidos, etc. El líquido que pasa a través del medio filtrante se conoce como filtrado.

La filtración y los filtros se pueden clasificar en varias formas:

1. Por la fuerza impulsora. En estas se induce el flujo del filtrado por el medio filtrante mediante la carga hidrostática, presión sobre atmosférica o vacío aplicada corriente arriba del medio filtrante, presión subatmosférica aplicada corriente abajo del citado medio o fuerza centrífuga a través de este último.
2. Por el mecanismo de filtración. En esta clasificación se consideran dos modelos; la filtración de torta y la filtración de profundidad, también llamada clarificadora.

En la filtración de torta los sólidos quedan detenidos en la superficie del medio filtrante y se aglomeran unos sobre otros para formar una torta de espesor creciente; por el contrario, cuando los sólidos quedan atrapados dentro de los poros o cuerpo del medio filtrante se le denomina filtración de profundidad o filtración clarificadora.

3. Por la función. La meta del proceso de filtración es la base para esta clasificación. Si lo que se desea es obtener los sólidos secos presentes en la mezcla, se obtendrá mejores resultados a través de la filtración de torta.

Mientras que, si busca obtener líquidos clarificados la filtración de profundidad será la mejor opción.

4. Por ciclo operacional. Según esta clasificación los filtros pueden ser continuos o intermitentes. Los segundos, también llamados lotes, se pueden manejar con presión y velocidad constantes.

5. Por la naturaleza de los sólidos.

Una buena filtración es el resultado de la escogencia adecuada del filtro.

2.2.1.1 Medios filtrantes. El medio filtrante es la parte más importante del filtro; en el se realiza la retención de los sólidos sea cual fuese el mecanismo de filtración. La especificación de un medio de filtración esta basado en:

- La retención de un tamaño mínimo de la partícula.

- Eficiencia de la separación.

- La vida del medio filtrante dentro del filtro.

En la selección del medio filtrante se incluyen innumerables tipos de tela, tejidos de fibras, fieltro, fibras no tejidas, sólidos porosos, membranas poliméricas entre

otros. Todos los tipos de medios filtrantes²⁹ se encuentran disponibles en gran variedad de materiales.

2.2.1.2 Proceso de degradación química de los aceites minerales aislantes.

Debido a varios agentes presentes en la operación del aceite aislante, se desarrolla un proceso químico de oxidación o acidificación. Estos agentes son hierro, cobre, celulosa, oxígeno, barnices, lacas, pinturas, agua, temperaturas, sobretensiones eléctricas, sobrecargas y rayos solares.

Los anteriores elementos se comportan como catalizadores y acelerantes del proceso mediante reacciones químicas en cadena. Los alcoholes y aldehídos son las primeras sustancias polares que aparecen.

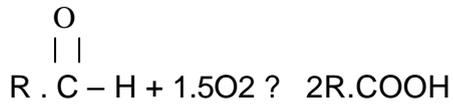


A su vez entre ellos (alcohol y aldehídos), forman cetonas.



²⁹ PERRY, Manual del ingeniero químico. Bogotá: McGraw Hill, 1992.19-80.p. ISBN 968-422-975-5.

Posteriormente se obtiene ácidos orgánicos de menor número de carbonos.



Estos reaccionan fácilmente formando ésteres.



(Alcohol) + (Aldehído)

Los ácidos orgánicos y ésteres poseen un diámetro medio menor de 0.03μ . Los ésteres se activan y polimerizan aglomerándose y formando compuestos moleculares de alto peso en forma de lodos de 0.03μ a 0.05μ de diámetro medio.



Estos lodos se depositan en los intersticios de las fibras de la celulosa, los devanados, el núcleo y radiadores del transformador, formando en casos de avanzada degradación, capas endurecidas afectando notablemente las condiciones de operación del equipo, poniéndolo en grave riesgo de falla.

Lo anterior permite concluir que los filtros a utilizar deben ser para partículas mayores de 0.05μ .

2.2.2 Destilación. La destilación es un proceso químico donde se vaporizan sustancias que presentan distintas fases, composiciones, puntos de ebullición, utilizando el calor para separarlos. En el aceite usado coexisten dos fases, el aceite líquido y el agua disuelta en él, que para efectos de la reutilización del aceite es necesario eliminar la mayor cantidad de agua contenido en el aceite.

La temperatura del aceite se eleva para eliminar el agua contenido en él. Considerando además que al agua se le puede disminuir el punto de ebullición a bajas presiones (vacío) se somete la mezcla al vacío para evitar que el aceite no elimine sus inhibidores naturales y para eliminar los gases presentes en el aceite después de un tiempo de trabajo como son el hidrógeno, oxígeno, monóxido de carbono, metano y en menor porcentaje etileno.

Por tanto es vital tener presente los datos termodinámica del agua para efectuar una correcta eliminación de la humedad del aceite sin llegar a afectar otros componentes.

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

Dentro de este capítulo se enmarcan los procesos de diseño y selección de equipos que intervienen en la máquina. Para diseñar y seleccionar un elemento u equipo se tendrán en cuenta ciertos factores como condiciones básicas de operación, material, seguridad entre otros. No obstante para poder seleccionar equipos o elementos suministrados por un fabricante se determinan las condiciones de operación óptimas del equipo a partir de un diseño preliminar del proceso real al cual estará sometido.

3.1 DISEÑO DEL TANQUE DE PROCESO.

Diseño de tanque sometido a presión externa. Norma UG y UW, código ASME, sección VIII.

Parámetros iniciales de diseño.

Condición del recipiente:	Tanque sometido a presión externa.
Presión interna:	Vacío. (4.7Psia = 10Psig)
Presión externa de diseño:	15 Psig. UG-28 (f)

Temperatura de operación:	140°F
Diámetro interno:	26 in
Longitud del tanque:	39 in. Entre líneas de tangencia.
Material del tanque:	SA 240 Gr 304, a 400°F; S = 16200Psi
Modulo de elasticidad del material:	E = 25.9 X 10 ⁶ Psi, a 400°F
Material de registros:	SA 240 Gr 304, a 400°F; S = 16200Psi
Tipo de cabezas:	Elipsoidales 2:1
Eficiencia en las juntas:	1

Memoria de calculo.

3.1.1 Calculo del casco o cuerpo del tanque³⁰.

Norma a emplear: UG-28 (c), código ASME, sección VIII.

Notación. (Véase figura 7)

P. Presión externa de diseño, Psig (manométricas)

Pa. Presión máxima de trabajo permitida, P sig (manométricas)

Do. Diámetro exterior, in

³⁰ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.32.

- L. Longitud de una sección del recipiente, tomando a esta como la distancia entre las tangentes de las cabezas mas un tercio (1/3h) de la profundidad de las mismas, si no se emplean anillos de atiesamiento.
- t. Espesor mínimo requerido, in

Procedimiento.

Para una relación $Do/t > 10$, la presión máxima de trabajo permitida es:

$$Pa = \frac{(4 \times B)}{3(Ro/t)}$$

Ec. 1

Se asume un espesor de 3/16 in y determinamos las siguientes relaciones:

$$\frac{L}{Do}$$

Ec. 3

$$\frac{Do}{t}$$

Ec. 2

$$L = (26.375\text{in}/4)(1/3)(2) + 39\text{in} = 43.40 \text{ in}$$

$$Do = 26.375 \text{ in}$$

$$t = 0.1875 \text{ in}$$

Reemplazamos los valores anteriores en Ec.2 y Ec.3 respectivamente y obtenemos los siguientes resultados:

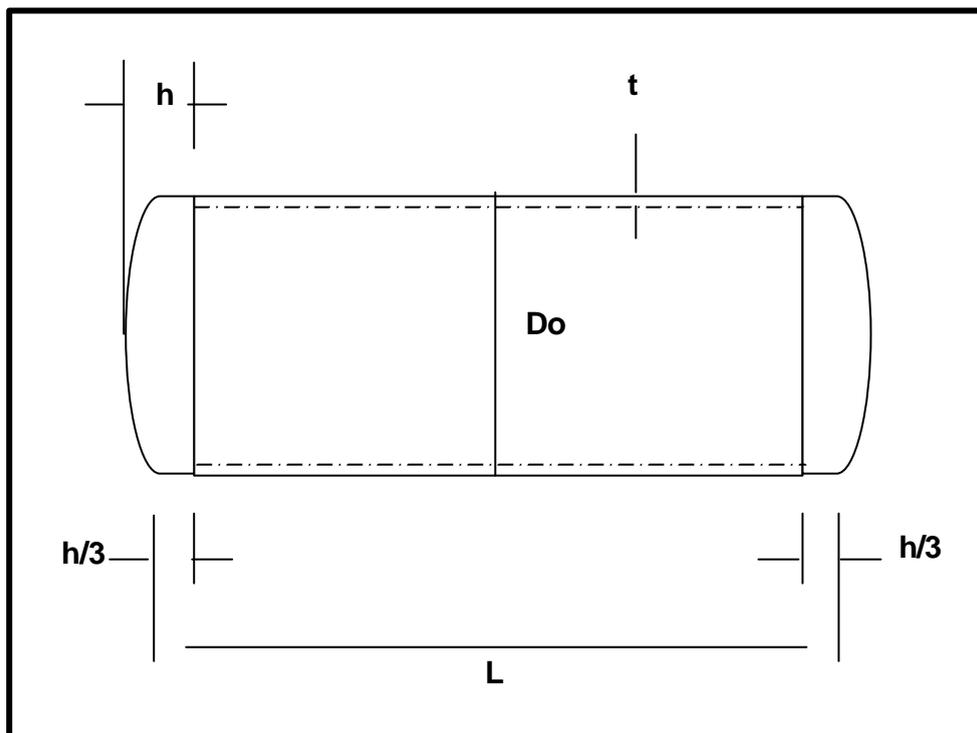


Figura 2. Casco cilíndrico horizontal.

$$L/Do = 1.65 \quad \text{Ec.3}$$

$$Do/t = 140.67 \quad \text{Ec.2}$$

Establecemos el valor del factor A en la figura UGO-28³¹, con las relaciones obtenidas anteriormente.

$$A = 0.0046$$

Determinamos el valor del factor B, en la figura UHA-28.1³², interceptando el valor del factor A en la curva del modulo de elasticidad del material a 400°F.

$$B = 5250 \text{ Psi}$$

Reemplazamos los valores de B y de la relación (Do/t), en la ecuación Ec. 1 y se obtiene:

$$Pa = 27.99 \text{ Psi}$$

Comparamos el resultado anterior con la presión de diseño y se concluye que la presión máxima de trabajo permitida es superior a la presión de diseño, lo cual indica que cualquier espesor por encima del espesor asumido resiste las condiciones de diseño y operación.

³¹ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.40.

3.1.2 Cálculo de las tapas o cabezas del tanque³³.

Norma a emplear: UG-33 (d), código ASME, sección VIII.

Notación. (Véase figura 8)

- P. Presión externa de diseño, Psig (manométricas)
- Pa. Presión máxima de trabajo permitida, Psig (manométricas)
- Do. Diámetro exterior de la cabeza, in
- Ro. Radio exterior, $0.9D_o$ para cabezas elipsoidales.
- t. Espesor mínimo requerido en la pared, in
- E. Modulo de elasticidad del material, Psi

Procedimiento.

El espesor requerido será el mayor de los siguientes espesores:

1. El espesor calculado por las formulas dadas para presión interna usando una presión de diseño de 1.67 veces la presión externa y una eficiencia en las juntas de $E = 1.00$.
2. El espesor comprobado por la formula $P_a = B/(R_o/t)$, donde $R_o = 0.9D_o$ y B se determina como una esfera.

³² Ibid., p. 42.

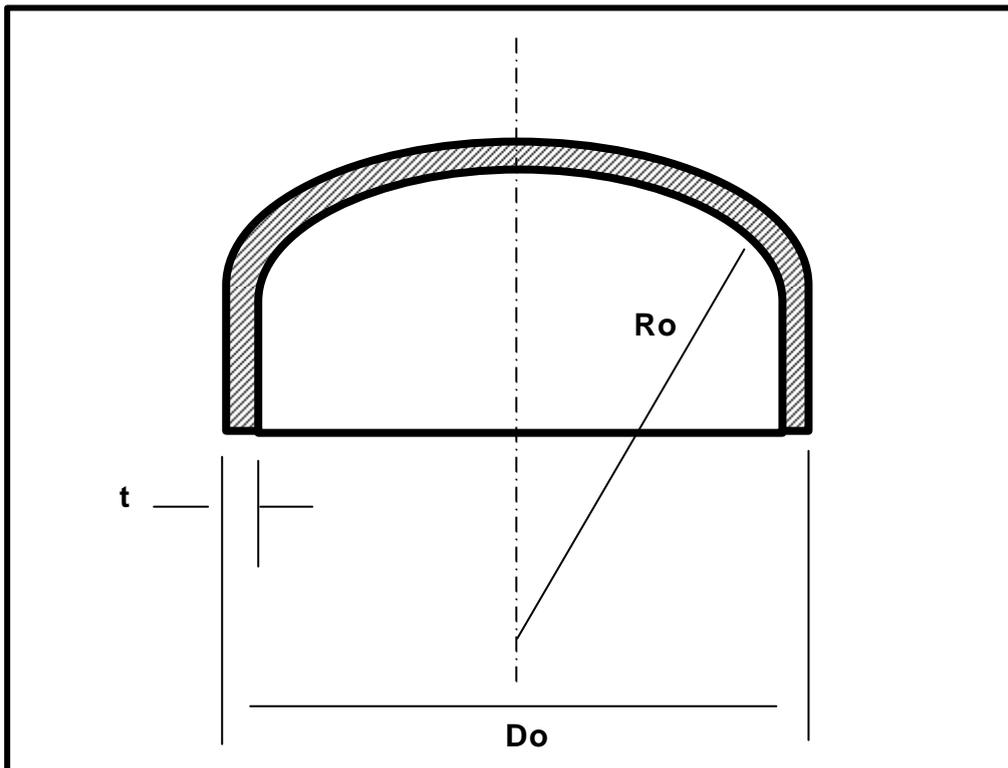


Figura 3. Cabeza elipsoidal 2:1

³³ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.34.

Primer caso, calculamos el espesor utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{PR}{(SE - 0.6P)}$$

Ec. 4

P 25.05 Psi

E 1.00

S 16200 Psi

R 13 in

Reemplazamos los valores de la Ec. 4 y se obtiene el valor del espesor.

t 0.02 in

Segundo caso: Asumimos un espesor y determinamos el radio exterior de acuerdo a las condiciones mencionadas anteriormente, para determinar la siguiente relación:

Ec. 5

t = 0.1875 in

$$R_o = 23.74 \text{ in}$$

$$R_o/t = 126.61$$

Determinamos el valor del factor A por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)^4}$$

Ec. 6

$$A = 0.00099$$

Establecemos el valor del factor B, interceptando el valor del factor A con la curva del material indicada por el valor del modulo de elasticidad a 400°F, por medio de la figura UHA-28.1³⁴

$$B = 8800 \text{ Psi}$$

Determinamos el valor de la presión máxima de trabajo:

$$P = \frac{B}{(R_o/t)}$$

Ec. 7

$$P = 8800 \text{ Psi}$$

³⁴ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.43.

$$R_o/t = 126.61$$

$$P_a = 69.51 \text{Psi}$$

La presión máxima de trabajo permitida es superior a la presión de diseño, lo cual indica que cualquier espesor utilizado por encima o inclusive, por debajo del espesor asumido resiste las condiciones de operación. Esto siempre y cuando no llegue al espesor limite recomendado por la norma UG-16³⁵.

3.1.3. Diseño de juntas soldadas.

Norma a utilizar: Parte UW, código ASME, sección VIII.

3.1.3.1 Juntas del cuerpo o casco.

Notación.

P	Presión de diseño, Psi
R _{in}	Radio interno del cuerpo, in
t	Espesor del cuerpo, in
Sc _{ir}	Esfuerzo circunferencial, Psi
C _{max}	Esfuerzo cortante máximo, Psi
L	Longitud del cordón de junta, in
h	Garganta, in
F	Carga de tensión, Lb
F ₂	Carga de tensión producto del electrodo seleccionado

Se toma una junta típica a tope, considerando las características de trabajo a las cuales estará la junta. Véase figuras 9 y 10.

Calculamos el esfuerzo circunferencial y el esfuerzo cortante máximo.

$$Scir = \frac{P \times Rin}{t}$$

Ec. 8

$$Cmax = \frac{1}{4} Scir$$

Ec. 9

$$P = 15 \text{ Psi}$$

$$Rin = 13 \text{ in}$$

$$t = 0.1875 \text{ in}$$

Reemplazando los valores mencionados anteriormente en las ecuaciones Ec.8 y Ec.9, obtenemos:

$$Scir = 1040 \text{ Psi}$$

$$Cmax = 260 \text{ Psi}$$

Calculamos la fuerza o carga de tensión a la cual estará sometida la soldadura producto del esfuerzo circunferencial producido.

$$F = Scir \times L \times h$$

Ec. 10

$$L = 34.60 \text{ in}$$

³⁵ ASME, Pressure vessel. Sección VIII, parte UG, p. 18.

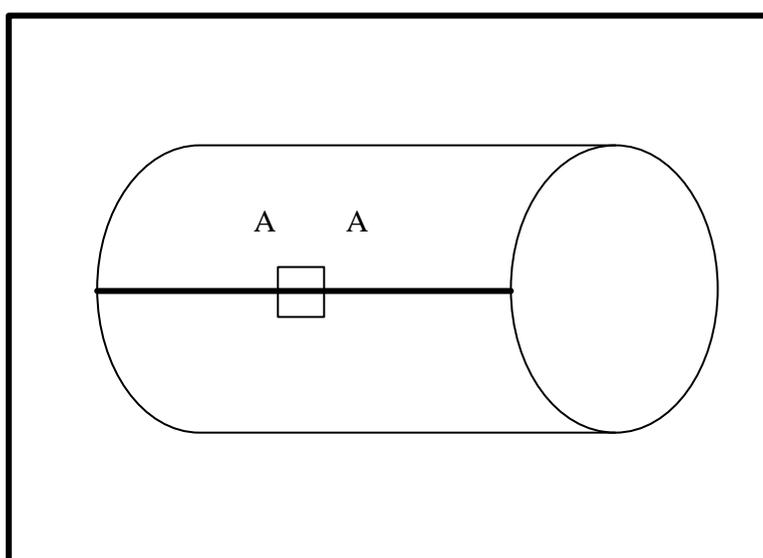


Figura 4. Junta del casco

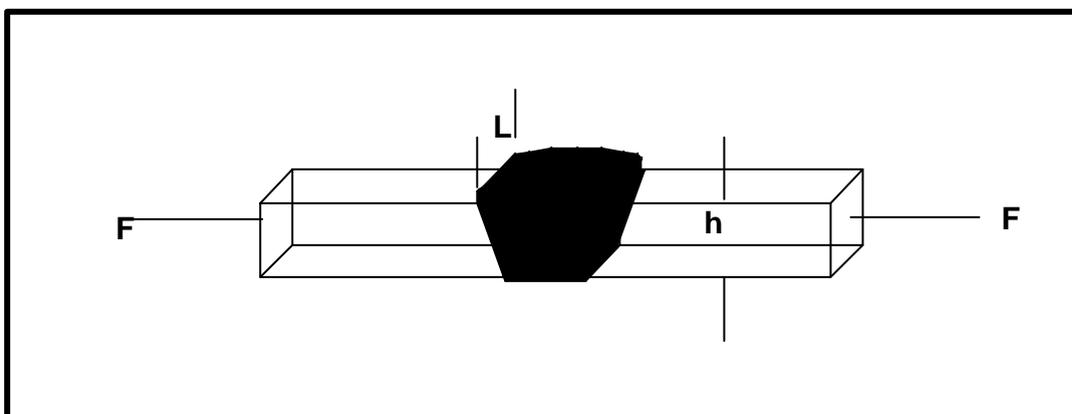


Figura 5. Sección A-A.

$$h = 0.1875 \text{ in}$$

Reemplazando los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec.10, obtenemos:

$$F = 6747.81 \text{ Lb}$$

Calculamos la carga cortante debido al esfuerzo cortante máximo que se presentara en el cuerpo del tanque.

$$: C_{\max} \times L \times h$$

Ec. 11

Reemplazando los valores mencionados en la ecuación Ec.11, obtenemos:

$$F = 1686.95 \text{ Lb}$$

Comparamos las fuerzas halladas anteriormente con las fuerzas resultantes producto de la utilización de un electrodo E308L-16.

$$= S_{\text{soldadura}} \times L \times h$$

Ec. 12

Selectrodo = 75000 Psi

L = 34.60 in

h = 0.1875 in

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec.12 y obtenemos:

F2 = 486621.09 Lb

Por lo anterior se concluye que el electrodo E308L-16 es apto para soldar el casco dado que la carga resultante debido al electrodo es considerablemente mayor que la carga producida por la presión de diseño.

3.1.3.2 Juntas de las tapas elipsoidales con el cuerpo.

Notación.

P	Presión de diseño, Psi
Rin	Radio interno del cuerpo, in
t	Espesor del cuerpo, in
Slong	Esfuerzo longitudinal, Psi
Cmax	Esfuerzo cortante máximo, Psi
L	Longitud del cordón de junta, in
h	Garganta, in
F	Carga de tensión, Lb

F2 Carga de tensión producto del electrodo seleccionado.

Se toma una junta típica a tope, considerando las características de trabajo a las cuales estará la junta. Véase figuras 11 y 12.

Calculamos el esfuerzo longitudinal y el esfuerzo cortante máximo.

$$S_{long} = \frac{P \times R_{in}}{2t}$$

Ec. 13

$$C_{max} = \frac{1}{2} S_{long}$$

Ec. 14

$$P = 15 \text{ Psi}$$

$$R_{in} = 13 \text{ in}$$

$$t = 0.1875 \text{ in}$$

Remplazando los valores mencionados anteriormente en las ecuaciones Ec.13 y Ec.14, obtenemos:

$$S_{long} = 520 \text{ Psi}$$

$$C_{max} = 260 \text{ Psi}$$

Calculamos la fuerza o carga de tensión a la cual estará sometida la soldadura producto del esfuerzo longitudinal producido.

$$: S_{long} \times L \times h$$

Ec. 15

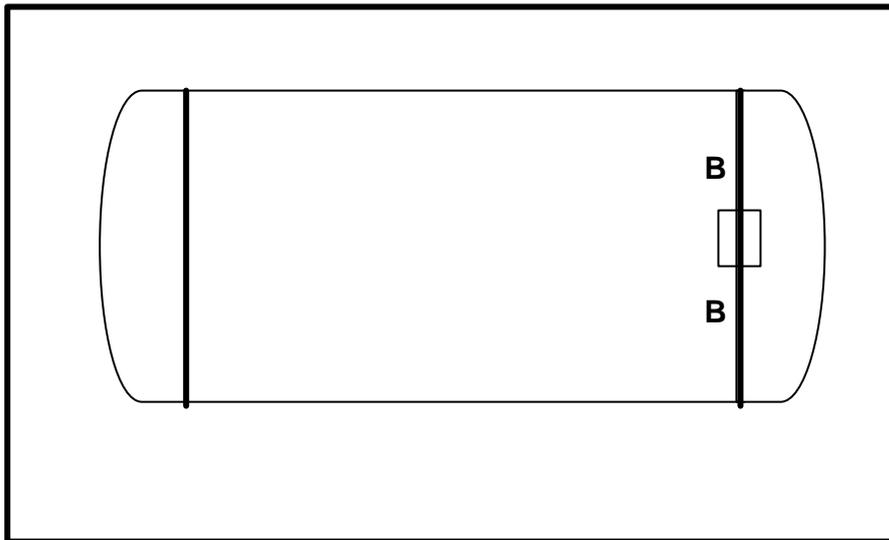


Figura 6. Junta entre la cabeza elipsoidal y el casco

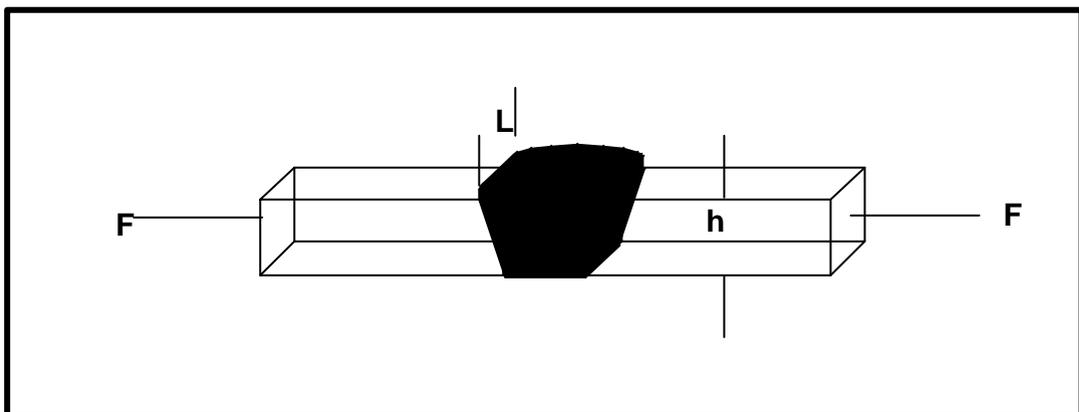


Figura 7. Sección B - B.

$$L = 82.82 \text{ in}$$

$$h = 0.1875 \text{ in}$$

Remplazando los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec.15, obtenemos:

$$F = 8074.7 \text{ Lb}$$

Calculamos la carga cortante debido al esfuerzo cortante máximo que se presentara en la tapa elipsoidal.

$$: C_{\max} \times L \times h$$

Ec. 16

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec.16, obtenemos:

$$F = 4037.35 \text{ Lb}$$

Comparamos las fuerzas halladas anteriormente con las fuerzas resultantes producto de la utilización de un electrodo E308L-16.

$$= S_{\text{soldadura}} \times L \times h$$

Ec. 17

Selectrodo = 75000 Psi

L = 82.82 in

h = 0.1875 in

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec.17, obtenemos:

F2 = 1164621.09 Lb

Lo anterior concluye que el electrodo E308L-16 es apto para soldar el casco dado que la carga resultante debido al electrodo es considerablemente mayor que la carga producida por la presión de diseño.

3.1.4 Registros³⁶.

Normas a emplear: UG-37, código ASME, sección VIII.

UG-45, código ASME, sección VIII.

Notación. (Véase figura 9)

R	Radio interior del casco, in
P	Presión de diseño, Psi
Material del casco.	SA 240 Gr 304
S	Esfuerzo del material a 400°F, Psi

³⁶ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.88-117.

t Espesor de casco, in
Db Diámetro nominal de boquilla, in

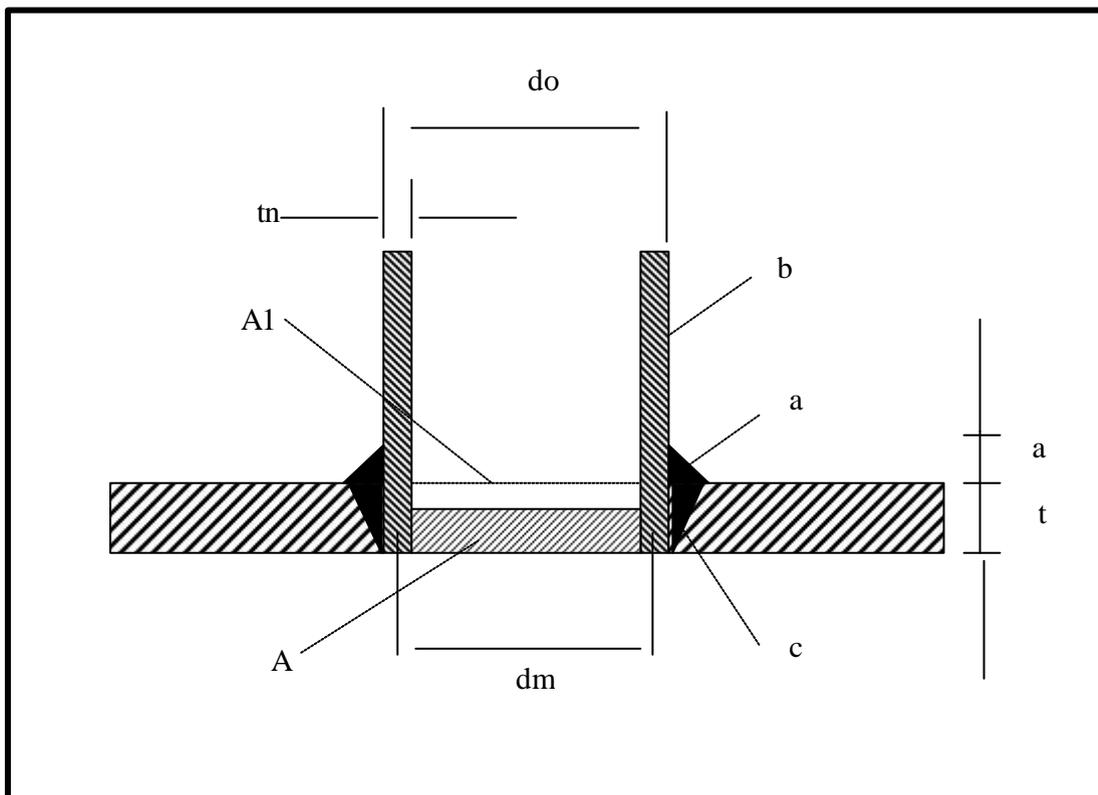


Figura 8. Diseño de registro.

Material de la boquilla.	SA 240 Gr 304
Sn	Esfuerzo del material de las boquillas, Psi
tn	Espesor de boquillas, in
do	Diámetro exterior de boquilla, in
dm	Diámetro medio de la boquilla, in
a	Cateto de la soldadura de filete, in
A	Área de refuerzo, in ²
A1	Área del espesor excedente de la pared del recipiente, in ²
a. b. c.	Puntos posibles de falla.

Procedimiento.

3.1.4.1 Calculo para registros de ½ in, cedula 40.

R	13 in
P	15 Psi
S	16200 Psi a 400°F
t	0.1875 in
Db	1 in
Sn	16200 Psi a 400°F
tn	0.109 in
do	0.840 in

dm = 0.731 in

a = 0.375 in. valor recomendado³⁷.

Se determinan los espesores requeridos de pared para el casco y la boquilla respectivamente.

$$tr = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad trn = \frac{PRn}{SE - 0.6P}$$

Ec. 18

Ec. 19

R = 13 in

Rn = 0.366 in

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec.18 y Ec. 19, tenemos:

tr = 0.012 in

trn = 0.00034 in

Calculamos el área A, (área de refuerzo)

$d \times tr$

Ec. 20

d = 0.622 in

tr = 0.012 in

³⁷ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.103.

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec.20, obtenemos:

$$A = 0.00886 \text{ in}^2$$

Calculamos el área A1, (exceso en el casco)

$$A1 = (t - tr)d$$

Ec. 21

$$A1 = (t - tr)(tn + t)^2$$

Ec. 22

Remplazando los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec.21 y Ec.22, calculamos su valor correspondiente y escogemos el mayor valor.

$A1 = 0.109 \text{ in}^2$, escojo este valor.

$$A1 = 0.104 \text{ in}^2$$

Se verifica la resistencia de sujeción de la carga de la boquilla que ha de ser soportada por la soldadura.

Carga por la soldadura.

$$RGA = (A - A1)(S)$$

Ec. 23

Remplazamos los valores mencionados en la ecuación Ec.23 y obtenemos:

CARGA = -1646.61 Lb

Calculamos el valor de esfuerzo permitido en las soldaduras.

Soldadura de filete a corte (SFC) = $0.49 \times S = 7938$ Psi

Soldadura de ranura a tensión (SRT) = $0.74 \times S = 11988$ Psi

Valor del esfuerzo cortante permitido para el cuello de la boquilla (ECCB) = $0.7 \times S$
= 11340 Psi

Calculamos la resistencia de la soldadura y del cuello de la boquilla.

Resistencia de la soldadura de filete a corte (a)

$$\left(\frac{p \times do}{2} \right) (\text{cateto de soldadura } (a))(SFC).$$

Ec. 24

Reemplazamos los valores de la ecuación Ec.24 y obtenemos:

a = 3925.74 Lb

Resistencia de la pared de la boquilla al corte (b)

$$b. = \left(\frac{p \times do}{2} \right) (tn)(ECCB).$$

Ec. 25

Remplazamos los valores de la ecuación Ec.25 y obtenemos:

$$b = 1418.59 \text{ Lb}$$

Resistencia de soldadura de ranura a tensión (c)

$$\left(\frac{p \times do}{2} \right) (\text{cateto de soldadura})(SRT)$$

Ec. 26

Remplazamos los valores de la ecuación Ec.26 y obtenemos:

$$c = 5928.67 \text{ Lb}$$

Calculamos los posibles puntos de falla. (Véase figura 14)

$$\text{Por a y b} = a + b = 5344.33 \text{ Lb}$$

$$\text{Por a y c} = a + c = 9854.40 \text{ Lb}$$

Ambos puntos de falla tienen mayor resistencia que la carga que debe soportar la soldadura, por lo tanto, el registro presentado es satisfactorio.

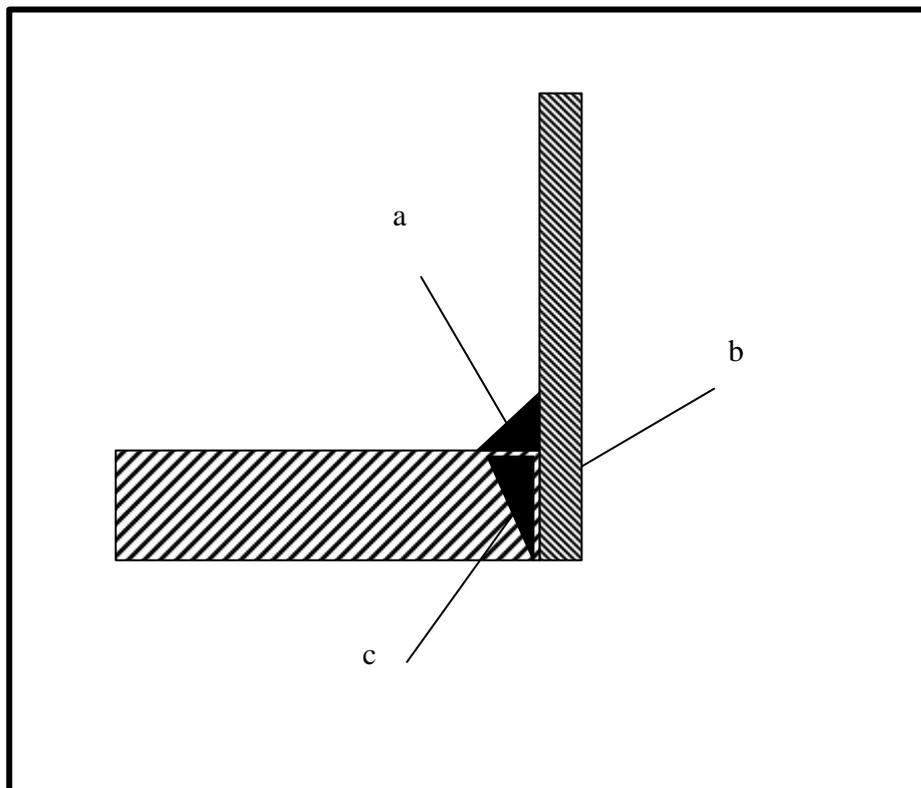


Figura 9. Posibles puntos de falla

3.1.4.2 Calculo para registros de 1 in, cedula 40.

R	13 in
P	15 Psi
S	16200 Psi a 400°F
t	0.1875 in
Db	1 in
Sn	16200 Psi a 400°F
tn	0.133 in
do	1.315 in
dm	1.185 in
a	0.375 in. valor recomendado ³⁸ .

Siguiendo el mismo procedimiento de calculo para un registro de 1 in se determinan los siguientes resultados:

$$R = 13 \text{ in}$$

$$R_n = 0.525 \text{ in}$$

$$t_r = 0.012 \text{ in} \quad \text{Ec.18}$$

$$t_{rn} = 0.00055 \text{ in} \quad \text{Ec.19}$$

$$d = 1.049 \text{ in}$$

³⁸ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.102.

$A = 0.013 \text{ in}^2$	Ec.20
$A1 = 0.184 \text{ in}^2$	Ec.21, escojo este valor.
$A1 = 0.112 \text{ in}^2$	Ec.22
$\text{CARGA} = -2777 \text{ Lb}$	Ec.23
$a = 6148.77 \text{ Lb}$	Ec.24
$b = 2800.28 \text{ Lb}$	Ec.25
$c = 7848.90 \text{ Lb}$	Ec.26
Por a y b = $a + b = 8949.06 \text{ Lb}$	
Por a y c = $a + c = 13997.68 \text{ Lb}$	

Ambos puntos de falla tienen mayor resistencia que la carga que debe soportar la soldadura, por lo tanto, el registro es satisfactorio.

3.1.4.3 Calculo para registros de $2\frac{1}{2} \text{ in}$, cedula 40.

R	13 in
P	15 Psi
S	16200 Psi a 400°F
t	0.1875 in
Db	$2\frac{1}{2} \text{ in}$
Sn	16200 Psi a 400°F
tn	0.203 in
do	2.875 in
dm	2.672 in

a 0.375in. valor recomendado³⁹

Siguiendo el mismo procedimiento de calculo para un registro de 2½ in se determinan los siguientes resultados:

$$R = 13 \text{ in}$$

$$R_n = 1.235 \text{ in}$$

$$t_r = 0.012 \text{ in} \quad \text{Ec.18}$$

$$t_{rn} = 0.0011 \text{ in} \quad \text{Ec.19}$$

$$d = 2.469 \text{ in}$$

$$A = 0.030 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.20}$$

$$A_1 = 0.433 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.21, escojo este valor.}$$

$$A_1 = 0.137 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.22}$$

$$\text{CARGA} = -6536.14 \text{ Lb} \quad \text{Ec.23}$$

$$a = 13436.31 \text{ Lb} \quad \text{Ec.24}$$

$$b = 9657.07 \text{ Lb} \quad \text{Ec.25}$$

$$c = 17160.15 \text{ Lb} \quad \text{Ec.26}$$

$$\text{Por a y b} = a + b = 23093.37 \text{ Lb.}$$

$$\text{Por a y c} = a + c = 30596.45 \text{ Lb.}$$

Ambos puntos de falla tienen mayor resistencia que la carga que debe soportar la soldadura, por lo tanto, el registro es satisfactorio.

³⁹ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.102.

3.1.5 Cálculo de la ubicación de registros en el tanque⁴⁰.

3.1.5.1 Cálculo de la posición del acople bridado de 1/2in cedula 40 en la cabeza elipsoidal 2:1 (entrada de aceite N1)

Notación. (Véase figura 15)

Ro	Radio externo del tanque, in
Ri	Radio interno del tanque, in
r	Radio de acoplamiento, in
F	Distancia al centro de registro, in
G	Distancia desde la costura a la tangente del registro, in
SF	1/3 de la profundidad de la concavidad de la cabeza, in

Procedimiento:

Ro	13.1875 in
Ri	13 in
r	0.25 in
F	0 in
SF	2.2 in
G	12.7 in

⁴⁰ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.114-115.

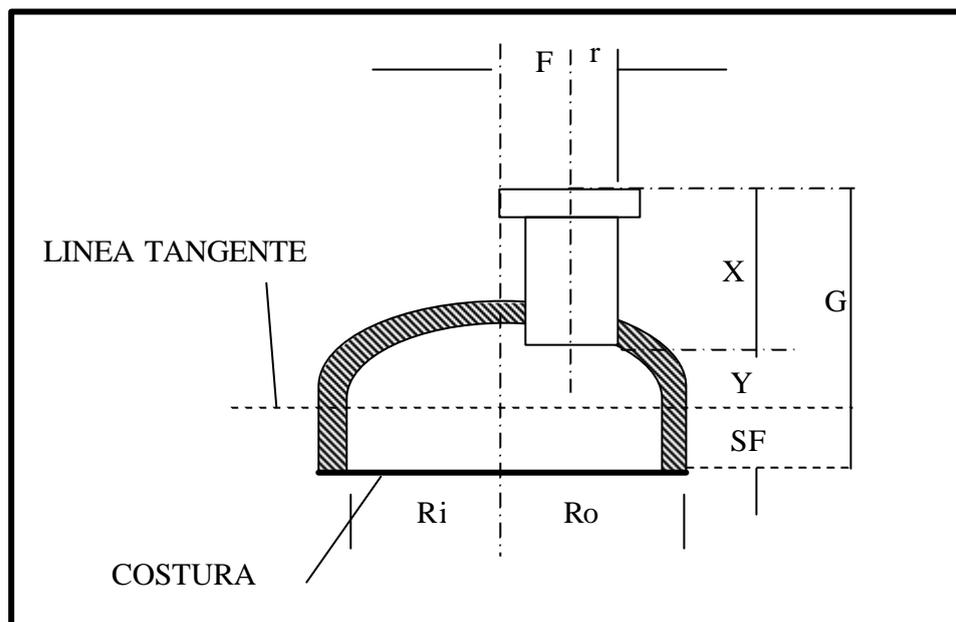


Figura 10. Acople bridado en cabezas elipsoidales 2:1.

Calculamos las distancias X y Y las cuales nos darán la localización del registro de ½ in, cedula 40std.

$$X = G - Y - SF \qquad y = \frac{\sqrt{Ri^2 - (F + r)^2}}{2}$$

Ec. 27

Ec. 28

Remplazando los valores mencionados anteriormente en las ecuaciones Ec.27, y Ec.28, obtenemos:

$$Y = 6.49 \text{ in}$$

$$X = 4 \text{ in}$$

3.1.5.2 Calculo de la longitud de cuello soldado-roscado de 2 1/2in cedula 40 en cabeza elipsoidal 2:1 (resistencia eléctrica N2)⁴¹.

Notación. (Véase figura 16)

Ro Radio externo del tanque, in

Ri Radio interno del tanque, in

r Radio de acoplamiento, in

F Distancia al centro de registro, in

⁴¹ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p. 114-115.

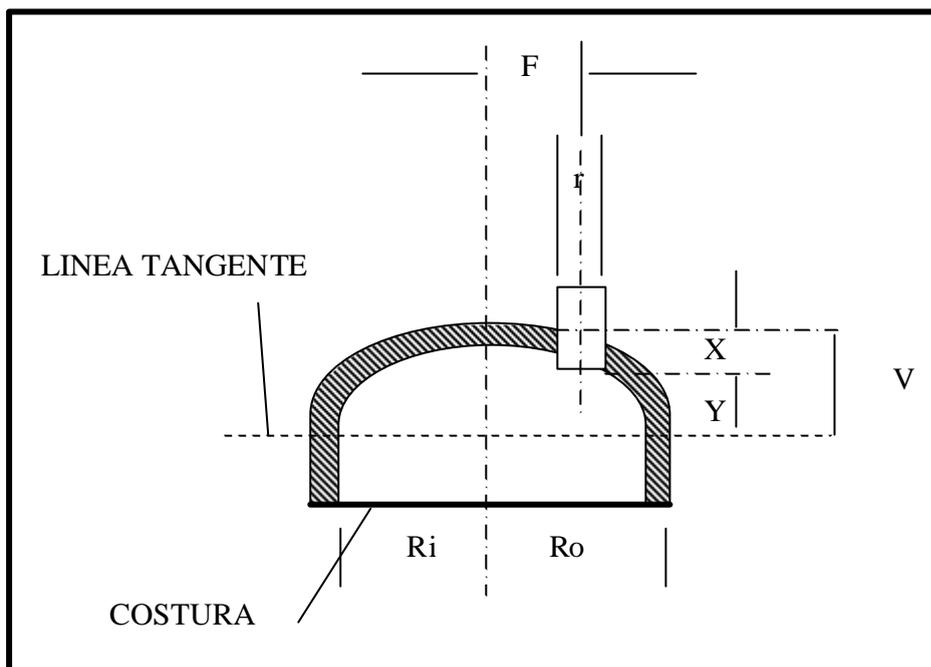


Figura 11. Cuello soldado-roscado en cabeza elipsoidal 2:1.

L Longitud del cuello, in

Procedimiento:

Ro 13.1875 in

Ri 13 in

r 1.25 in

F 7 in

L 6 in

Calculamos las distancias X, Y, V, las cuales nos darán la ubicación del registro de 2½ in, cedula 40std.

$$V = \frac{\sqrt{Ro^2 - (F - r)^2}}{2}$$

Ec. 31

$$X = V - Y$$

Ec. 29

$$y = \frac{\sqrt{Ri^2 - (F + r)^2}}{2}$$

Ec. 30

Reemplazando los valores mencionados anteriormente en las ecuaciones Ec.29, Ec.30 y Ec.31, obtenemos:

$$V = 5.93 \text{ in}$$

$$Y = 5.02 \text{ in}$$

$$X = 0.91 \text{ in}$$

3.1.5.3 Calculo de la posición del acople bridado de 1in cedula 40 en el cuerpo del tanque (boquillas de succión liquido N4 y gas N3)⁴².

Notación. (Véase figura 17)

- Ri Radio interno del tanque, in
r Radio de acoplamiento, in
Lo longitud que indica la posición del acople desde la parte inicial derecha del tanque hasta el centro del mismo, in
A longitud entre la parte exterior del tanque hasta la boca de la brida, in.
B espesor del tanque, in

Procedimiento:

- Ri 13 in
r 0.5 in
B 0.1875 in
A 3 in

Calculamos la distancia C la cual nos dará la ubicación del registro de 1 in, cedula 40std.

⁴² MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.115.

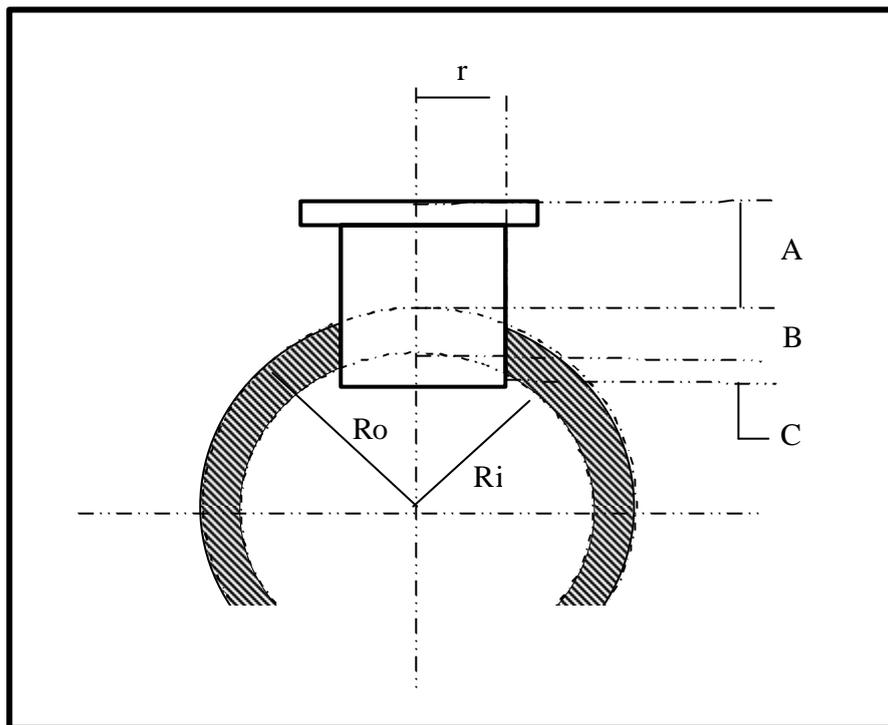


Figura 12. Acople bridado para el cuerpo del tanque.

$$C = Ri - \sqrt{Ri^2 - r^2}$$

Ec. 32

Remplazando los valores mencionados anteriormente en las ecuaciones Ec.32 y obtenemos:

$$C = 0.010 \text{ in}$$

3.1.5.4 Calculo de la posición del cuello soldado-roscado de 1/2in cedula 40 en el cuerpo del tanque (mirilla de nivel N5)⁴³.

Notación. (Véase figura 18)

Ro Radio externo del tanque, in

Ri Radio interno del tanque, in

r Radio de acoplamiento, in

F Distancia al centro de registro, in

L Longitud del cuello, in

Lo Longitud que describe la posición del cuello en la parte lateral inferior del tanque iniciando desde la parte derecha del tanque, in

⁴³ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.114-115.

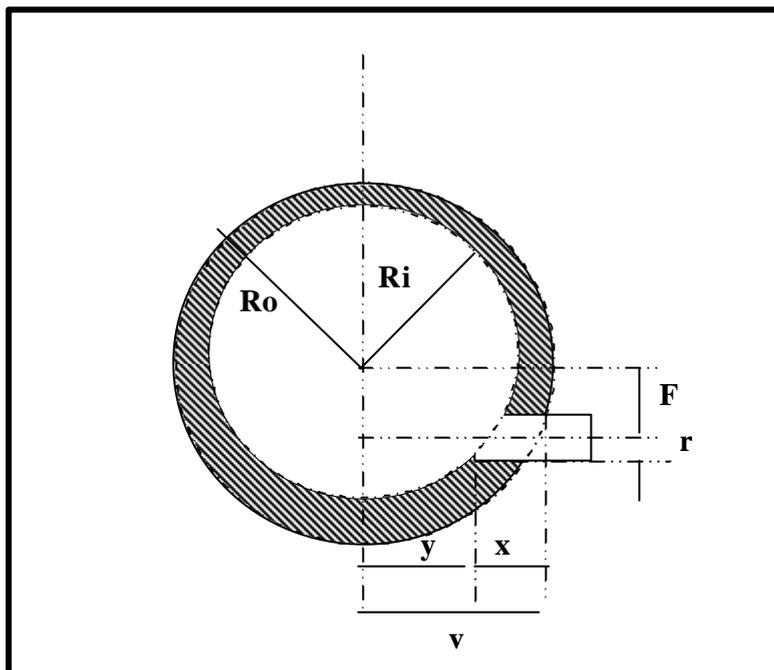


Figura 13. Mirilla de nivel ubicada en la parte lateral inferior del cuerpo del tanque.

Procedimiento:

Ro 13.1875 in

Ri 13 in

r 0.25 in

F 11 in

L 3 in

Lo 5 in

Calculamos las distancias X, Y, V, las cuales nos darán el posicionamiento del registro de ½ in, cedula 40std.

$$V = \sqrt{Ro^2 - (F - r)^2}$$

Ec. 33

$$X = V - Y$$

Ec. 34

$$y = \sqrt{Ri^2 - (F + r)^2}$$

Ec. 35

Remplazando los valores mencionados anteriormente en las ecuaciones Ec.33, Ec.34 y Ec.35, obtenemos:

$$V = 7.64 \text{ in}$$

$$Y = 6.51 \text{ in}$$

$$X = 1.12 \text{ in}$$

3.1.5.5 Cálculo de la posición del cuello soldado-roscado de 1/2in cedula 40 en cuerpo del tanque (manómetro N6 y presostato N8)⁴⁴.

Notación. (Véase figura 19)

Ro	Radio externo, in
Ri	Radio interno del tanque, in
r	Radio de acoplamiento, in
F	Distancia al centro del registro, in
L	Longitud del cuello, in
Lm	Posición del cuello del manómetro, in
Lp	Posición del cuello del presostato, in

Procedimiento:

Ro	13.1875 in
Ri	13 in
r	0.25 in
F	0 in
L	3 in
Lm	29.6 in
Lp	5 in

⁴⁴ MEGYESY, Eugene. MANUAL DE RECIPIENTES A PRESION, diseño y calculo. Noriega editores, 1992. p.114.

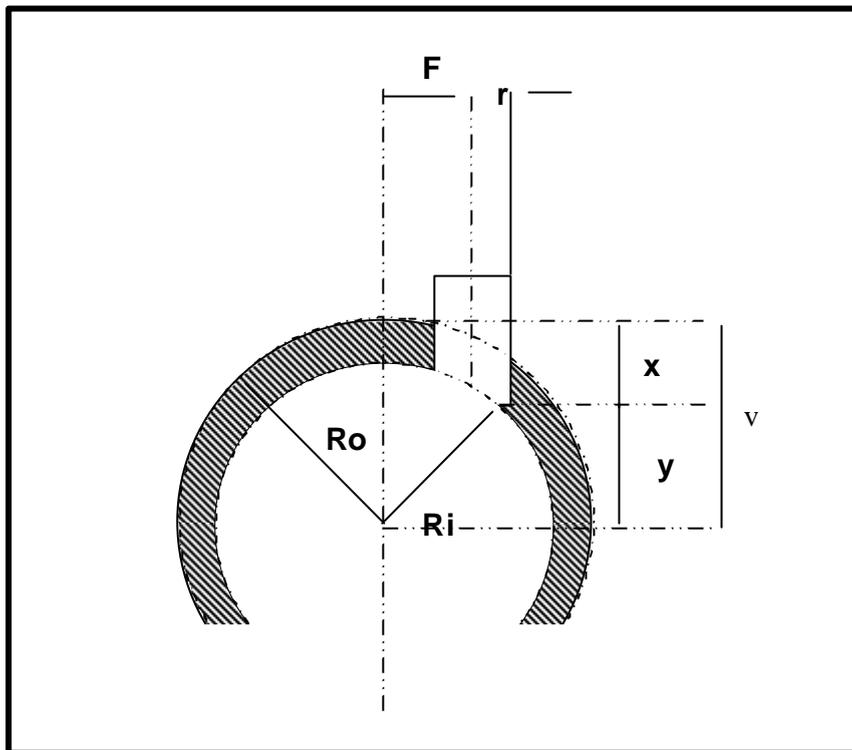


Figura 14. Cuello soldado-roscado en el cuerpo del tanque.

Empleamos el mismo procedimiento descrito en el numeral 3.1.5.4, y obtenemos:

$$X = 0.19 \text{ in} \quad \text{Ec.34}$$

$$Y = 13.19 \text{ in} \quad \text{Ec.35}$$

$$V = 13.00 \text{ in} \quad \text{Ec.33}$$

3.1.5.6 Calculo de la posición del cuello soldado-roscado de 1/2in cedula 40 en cuerpo del tanque (toma de muestra N7)

Notación. (Véase figura 20)

Ro Radio externo, in

Ri Radio interno del tanque, in

r Radio de acoplamiento, in

F Distancia al centro del registro , in

L Longitud del cuello, in

Lm Posición del cuello en la parte inferior del tanque iniciando desde la parte derecha del tanque, in

Procedimiento:

Ro 13.1875 in

Ri 13 in

r 0.25 in

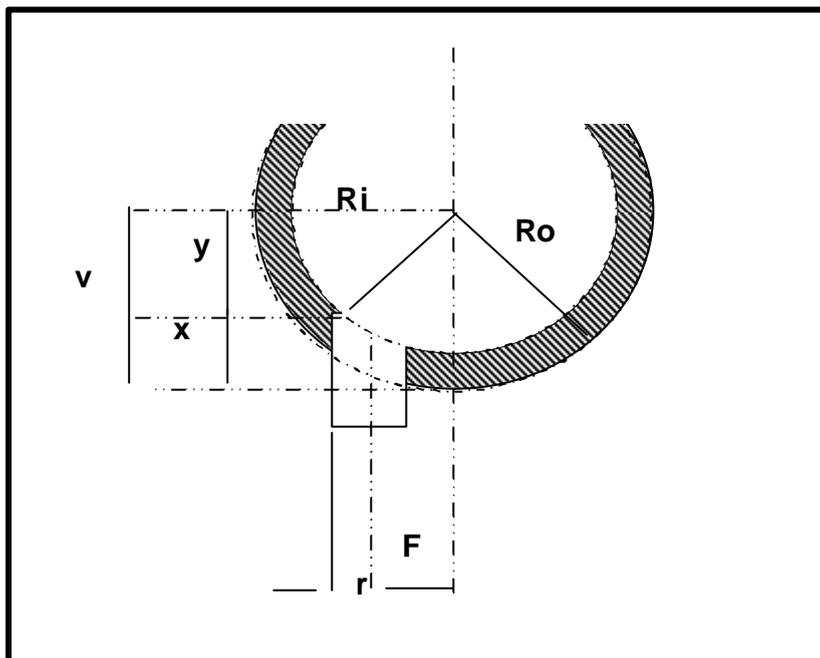


Figura 15. Acople soldado-rosado ubicado en la parte inferior del cuerpo del tanque.

F 0 in

L 3 in

Lm 5 in

Empleamos el mismo procedimiento descrito en el numeral 3.1.5.4, y obtenemos:

$X = 0.19$ in Ec.34

$Y = 13.19$ in Ec.35

$V = 13.00$ in Ec.33

3.1.5.7 Calculo de la posición del cuello soldado-roscado de 1/2in cedula 40 en cabeza elipsoidal 2:1 (termómetro N9)

Notación. (Véase figura 16)

Ro Radio externo del tanque, in

Ri Radio interno del tanque, in

r Radio de acoplamiento, in

F Distancia al centro de registro, in

L Longitud del cuello, in

Procedimiento:

Ro 13.1875 in

Ri 13 in

r 1.25 in

F 10 in

L 3 in

Empleamos el mismo procedimiento descrito en el numeral 3.1.5.2, y obtenemos:

X = 0.14 in

Y = 4.44 in

V = 4.30 in

3.1.6 Selección de accesorios. Básicamente los accesorios que se van a seleccionar son las bridas y los cuellos soldables largos que van a servir de unión entre las tuberías y el tanque. Véase Cuadro 1.

3.1.7 Calculo del volumen y peso del tanque en diferentes condiciones de operación. El volumen total del tanque de proceso se calcula por intermedio de la siguiente ecuación:

$$= 2V_{tapas} + V_{cuerpo}$$

Ec. 36

Cuadro 1. Accesorios del tanque de proceso

CARACTERÍSTICAS	REGISTROS								
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9
Tipo de registro:	Bridado	Cuello soldado roscado	Bridado	Bridado	Cuello soldado roscado				
Tamaño nominal del registro, in.	1/2 "	2-1/2"	1"	1"	1/2 "	1/2 "	1/2 "	1/2 "	1/2 "
Espesor del registro, in.	0.109	0.203	0.133	0.133	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109
Longitud total del registro, in.	4	6	3.2	3.2	3	3	3	3	3
Para bridas:									
Tipo de brida.	Welding neck	-	Welding neck	Welding neck	-	-	-	-	-
Diámetro exterior, in.	3-1/2	-	4-1/4	4-1/4	-	-	-	-	-
Espesor mínimo, in.	7/16	-	9/16	9/16	-	-	-	-	-
Agujeros, in.	0.62	-	1.05	1.05	-	-	-	-	-
Longitud a través del cubo, in.	1-7/8	-	2-3/16	2-3/16	-	-	-	-	-
Diámetro del círculo del perno, in.	2-3/8	-	3-1/8	3-1/8	-	-	-	-	-
Numero de agujeros	4	-	4	4	-	-	-	-	-
Diámetro de los agujeros, in.	5/8	-	5/8	5/8	-	-	-	-	-
Diámetro de los pernos, in.	1/2	-	1/2	1/2	-	-	-	-	-
Peso estándar, lb.	2	-	3	3	-	-	-	-	-
Para cuello soldado-roscado*:									
Tamaño nominal del tubo, in.	-	2-1/2	-	-	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Longitud, in.	-	6	-	-	3	3	3	3	3
Diámetro, in.	-	4-1/8	-	-	1-3/8	1-3/8	1-3/8	1-3/8	1-3/8
Radios, in.	-	5/16	-	-	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
Peso estándar, lb.	-	3.45	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Peso extra fuerte, lb.	-	4.59	-	-	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32

*la rosca del cuello depende del equipo que se acople al cuello.

Donde:

El volumen contenido en las tapas o cabezas elipsoidales se obtiene por:

$$V_{\text{ta}} = 0.2618 \times D^3$$

Ec. 37

$$D = 26 \text{ in}$$

Remplazando el valor del diámetro en la ecuación Ec. 37, determinamos el valor del volumen para una sola tapa.

$$V_{\text{tapa}} = 4601.40 \text{ in}^3$$

El volumen contenido en el cuerpo del tanque se obtiene por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{cuerpo}} = 0.7850 \times D^2 \times L$$

Ec. 38

$$D = 26 \text{ in}$$

$$L = 34.60 \text{ in}$$

Remplazando los valores anteriores en la ecuación Ec. 38, determinamos el valor del volumen del cuerpo.

$$V_{\text{cuerpo}} = 18372.40 \text{ in}^3$$

Tomamos los resultados de las ecuaciones Ec. 37 y Ec. 38, y los reemplazamos en la ecuación Ec.36 para hallar el volumen total del tanque.

$$V_{\text{total}} = 27575.20 \text{ in}^3. (15.96 \text{ Ft}^3, 119.37 \text{ GAL})$$

Determinamos el peso del tanque para diferentes condiciones de proceso:

Tanque vacío: el peso del tanque para esta consideración se calcula de la siguiente manera:

$$P_{\text{vacío}} = g(V_{\text{ext}} - V_{\text{int}})$$

Ec. 39

?	Peso específico del material del tanque, 0.284 Lb/ in ³
V_{ext}	Volumen del tanque calculado por el diámetro externo, in ³
V_{int}	Volumen del tanque calculado por el diámetro interno, in ³

El volumen exterior se calcula de la misma forma que se calculó el volumen total del tanque, solo que se emplea el valor del diámetro exterior.

$$D_{\text{ext}} = 26.375 \text{ in}$$

$$V_{\text{tapas}} = 4803.38 \text{ in}^3 \quad \text{Ec.37}$$

$$V_{\text{cuerpo}} = 18894.30 \text{ in}^3 \quad \text{Ec.38}$$

$$V_{\text{ext}} = 28501.06 \text{ in}^3 \quad \text{Ec.36}$$

El volumen interior es el mismo volumen total (V_{total}) calculado anteriormente.

$$V_{\text{int}} = 27575.20 \text{ in}^3$$

Reemplazando los valores ya mencionados en la ecuación Ec 39. obtenemos

$$P_{\text{vacio}} = 266.32 \text{ Lb}$$

Tanque a full capacidad. el peso del tanque para esta consideración se calcula de la siguiente manera:

$$W = (\rho_{\text{fluido}} \times V_{\text{int}}) + (P_{\text{vacio}})$$

Ec. 40

$$\rho_{\text{fluido}} = 0.03 \text{ Lb/ in}^3$$

$$V_{\text{int}} = 27575.20 \text{ in}^3$$

$$P_{\text{vacio}} = 266.32 \text{ Lb}$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación Ec.40, obtenemos el peso del tanque a full capacidad.

$P_{full} = 1093.58 \text{ Lb}$

3.1.8 Elemento de fijación. El tanque esta sujeto sobre la estructura a través de dos binchas de acero galvanizado de 2 in de ancho por 1/8 de espesor, las cuales a su vez, están fijadas a la estructura por medio de cuatro pasantes de sujeción de 1/2 in de diámetro por 1-3/4 de longitud. Las especificaciones de la tortillería fueron tomadas de la tabla suministrada por **ECOPETROL** de la **C.F.Braun & Co.**

3.2 CALCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUINA.

Cada tramo de esta estructura se comporta como una viga y/o columna sometida a diferentes tipos de carga. Para el diseño de esta estructura se determina como primera instancia la sección mas adecuada dependiendo del resultado del análisis estático realizado al tramo sometido a una condición de operación crítica, en este caso, los tramos M9 y M11 que operan como soporte al tanque de proceso.

Seguidamente se analizara cada tramo utilizando la sección adecuada, producto del análisis anterior, y se determina las diferentes variables a las que estará involucrada la estructura para determinar así su comportamiento real.

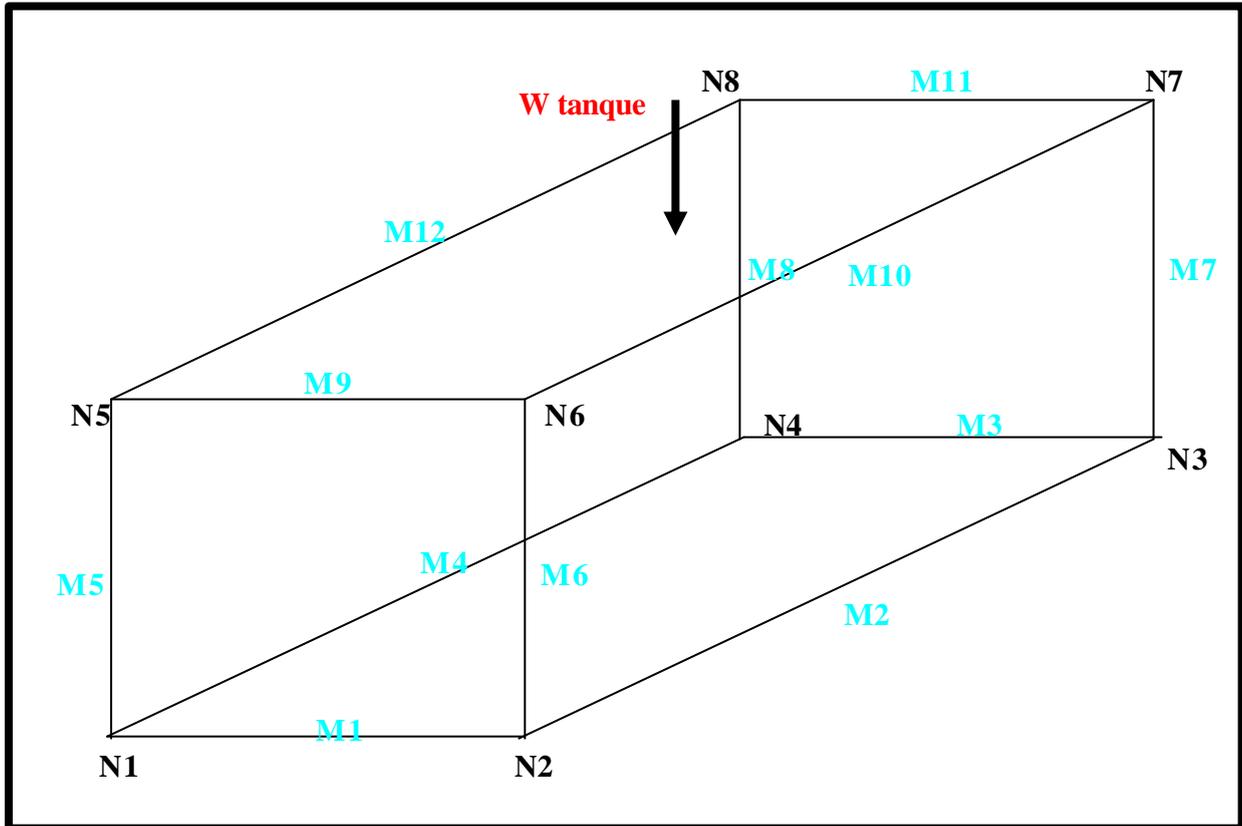


Figura 16. Configuración geométrica de la estructura de la maquina.

Parámetros iniciales de diseño:

Carga a soportar:	1093.58 Lb (peso full del tanque)
Material de estructura:	Acero estructural A 36.
Sección a utilizar:	Ángulos de piernas iguales.
Configuración geométrica preliminar	Véase figura 21.
Apoyos:	Rodachinas seleccionadas dependiendo de la reacción encontrada en los puntos de apoyo N1, N2, N3 y N4.

3.2.1 Análisis estático de la estructura. Tramo M9. El comportamiento estático de este tramo es idéntico al del tramo M11 y se visualiza en la figura 22, en donde se describe el comportamiento del tramo al estar sometido a una carga puntual intermedia debido al apoyo del tanque sobre el tramo y una carga distribuida debido al peso de la viga.

Memoria de calculo.

De acuerdo a la figura 22 (b), determinamos las reacciones en los extremos de la siguiente manera:

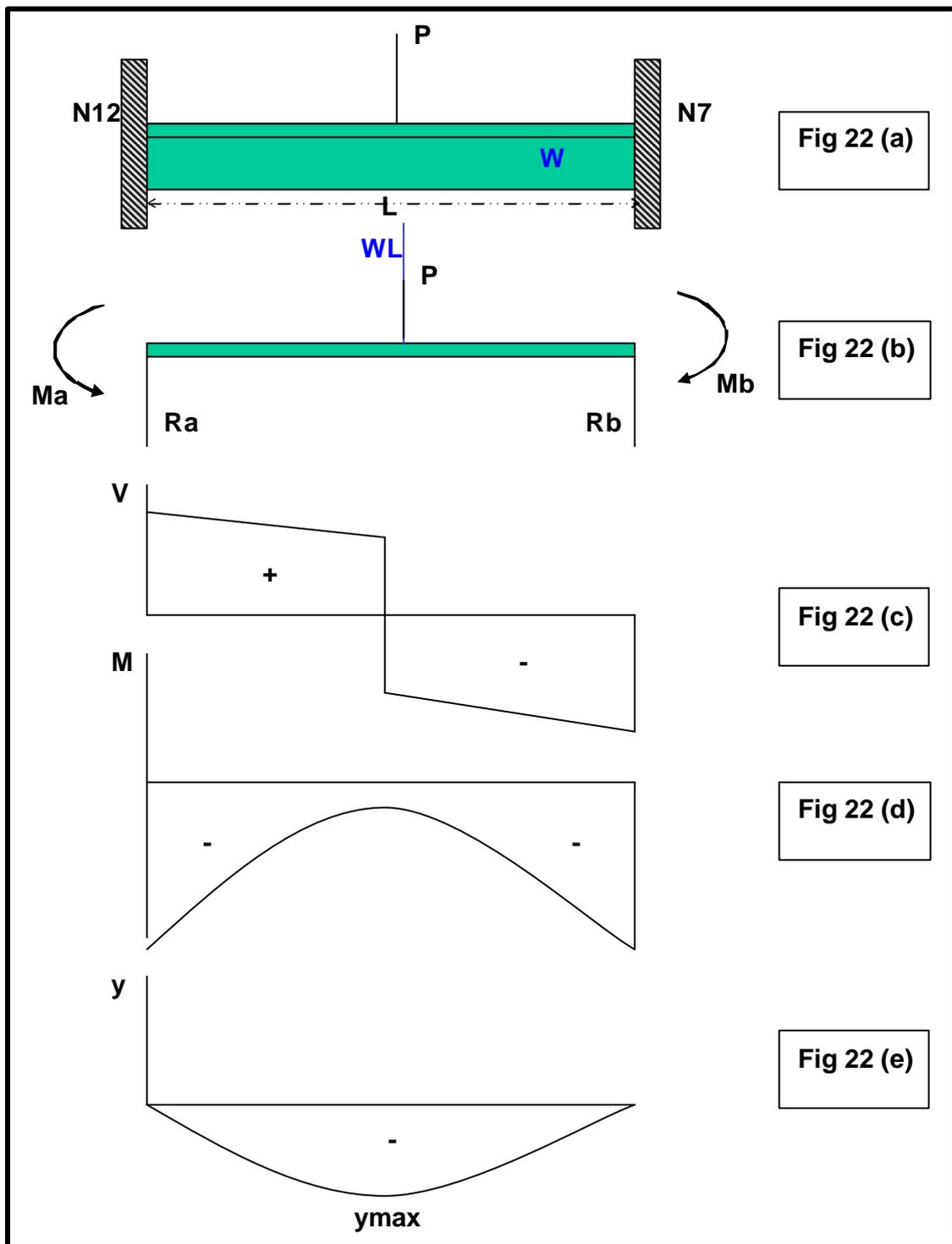


Figura 17. Comportamiento estático tramo M9

$$\begin{aligned}
 F_y &= 0 \\
 + R_b - WL - P &= 0 \quad ; \quad R_a = R_b \\
 = R_b &= \frac{WL + P}{2}
 \end{aligned}$$

Ec. 41

Utilizando el método de funciones de singularidad hallamos la fuerza cortante, el momento flector, la pendiente y la deflexión para cualquier punto de la viga y paralelamente observamos su comportamiento grafico en la figura 22 (c), 22 (d) y 22 (e) respectivamente.

Fuerza cortante (V):

$$V(x) = R_a - Wx - P \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^0$$

Ec. 42

Momento flector (M):

$$M(x) = Ma + Rax - \frac{Wx^2}{2} - P \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^1$$

Ec. 43

Pendiente (?):

$$Elq(x) = Max + \frac{Rax^2}{2} - \frac{Wx^3}{6} - \frac{P \left\langle x - \frac{L}{2} \right\rangle^2}{2} + C1$$

Ec. 44

Deflexión (y):

$$(x) = \frac{Max^2}{2} + \frac{Rax^3}{6} - \frac{Wx^4}{24} - \frac{P\left(x - \frac{L}{2}\right)^3}{6} + C_1x + C_2$$

Ec. 45

Para hallar el valor de las constantes C1, C2 y el valor del momento (Ma o Mb), se utilizan las siguientes condiciones de frontera.

Condición 1. para $x = 0$; $\theta = 0$.

Condición 2. para $x = L$; $\theta = 0$.

Condición 3. para $x = 0$; $y = 0$.

Condición 4. para $x = 0$; $y = 0$.

Reemplazamos la condición 1 en la ecuación Ec. 63 y obtenemos:

$$= \frac{PL^2}{8}$$

Ec. 46

Reemplazamos la condición 3 en la ecuación Ec. 64 y obtenemos:

$$= -\frac{PL^3}{48}$$

Ec. 47

Reemplazamos la condición 4 en la ecuación Ec. 45 y simultáneamente reemplazamos los valores de C1 y C2 en la misma ecuación y obtenemos:

$$Ma = -\frac{PL}{6} - \frac{WL^2}{24}$$

Ec. 48

Para poder encontrar el tamaño de sección mas adecuado para este tramo, comparamos distintos tamaños de secciones calculando, mediante la ecuación Ec.45, la deflexión máxima registrada en el tramo, producto del estado de carga al cual se somete el tramo. Estos resultados se tabulan en la tabla 6.

TABLA 5. Variación de la deflexión generada por cada sección en el tramo M9.

SECCION	I (IN4)	Wv (LBS/IN)	P (LBS)	L (IN)	RA = RB; (LBS)	MA = MB; (LBS - IN)	C1 (LBS - IN2)	C2 (LBS - IN3)	X (IN)	YMAX (IN)	YMAX (MM)
L2X3/8	0.48	0.39	546.80	39.37	281.08	-7226.21	105942.29	-695157.98	19.69	0.025	0.631
L3X1/2	2.22	0.78	546.80	39.37	288.81	-7276.98	105942.29	-695157.98	19.69	0.005	0.135
L3(1/2)X1/2	3.64	0.93	546.80	39.37	291.61	-7295.32	105942.29	-695157.98	19.69	0.003	0.082
L4X1/2	5.56	1.07	546.80	39.37	294.40	-7313.66	105942.29	-695157.98	19.69	0.002	0.054
L4X3/4	7.67	1.54	546.80	39.37	303.75	-7375.01	105942.29	-695157.98	19.69	0.002	0.039
L5X3/8	8.74	1.03	546.80	39.37	293.58	-7308.23	105942.29	-695157.98	19.69	0.001	0.034

Después de realizar el paso anterior, seleccionamos un ángulo de piernas iguales de 5" x 3/8" por las siguientes razones:

1. Ofrece la menor deflexión con respecto a las otras secciones sometidas a consideración.
2. Ofrece mas rigidez con respecto a las otras secciones lo que la hace confiable para las condiciones de operación de la estructura.
3. Es la sección mas liviana con respecto a las secciones L4x3/4" y L4x1/2".

Tramo M10. El comportamiento estático del tramo M10 es idéntico a los tramos M1, M2, M3, M4 y M12, y se visualiza en la figura 23, en donde se describe el comportamiento del tramo al estar sometido a una carga uniforme producto de su propio peso. La única diferencia entre ellos es su longitud.

Memoria de calculo.

Se determinan las ecuaciones para hallar las reacciones en los apoyos, la fuerza cortante, el momento flector y la deflexión máxima, junto con la representación grafica (véase figura 23), del comportamiento estático del tramo.

Reacciones en los apoyos (R_a , R_b):

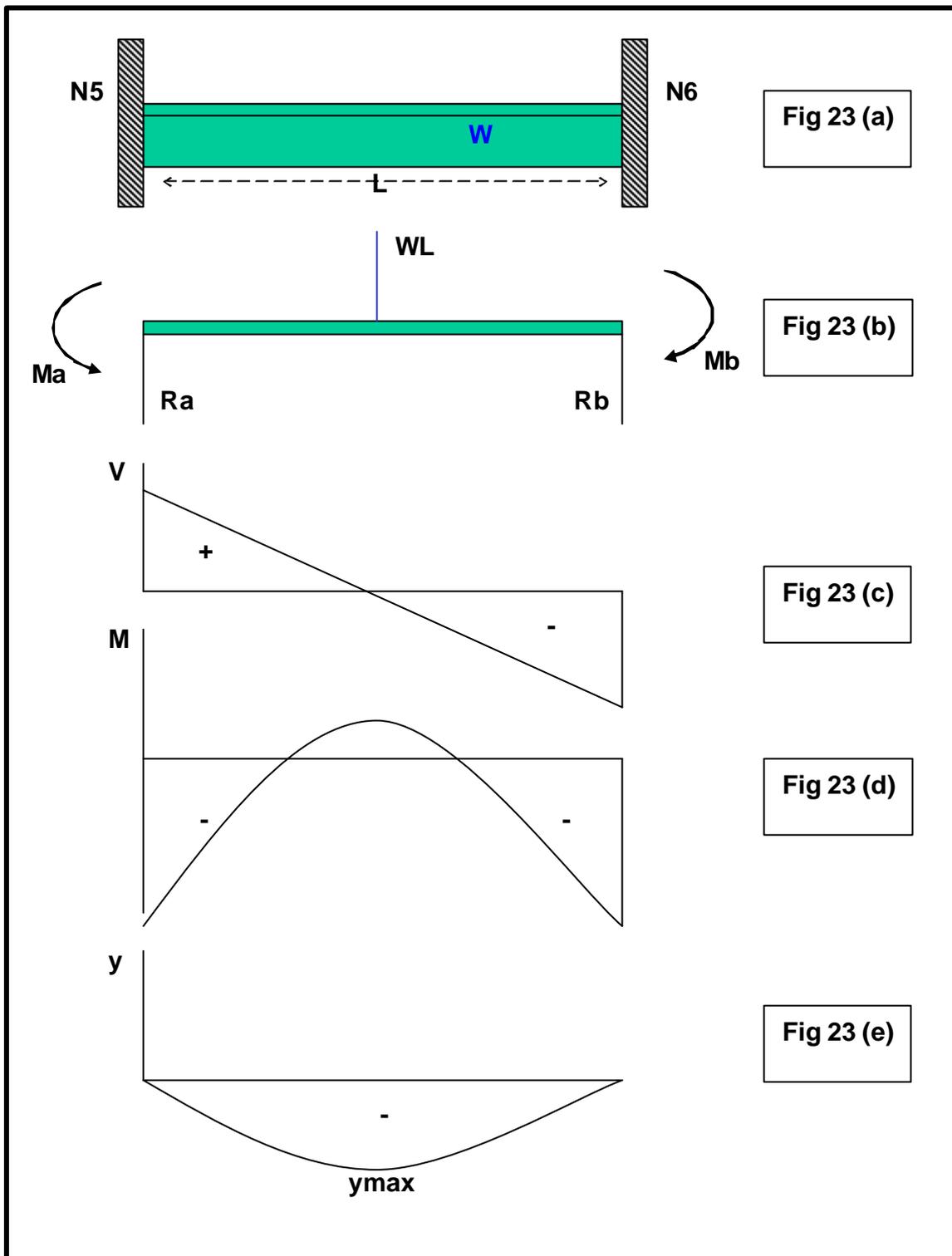


Figura 18. Comportamiento estático tramo M14.

$$\begin{aligned}\sum Fy &= 0 \\ Ra + Rb - WL &= 0 \quad ; \quad Ra = Rb \\ Ra = Rb &= \frac{WL}{2}\end{aligned}$$

Ec. 49

Fuerza cortante (V):

$$V(x) = \frac{W}{2}(L - 2x)$$

Ec. 50

Momento flector (M):

$$M(x) = \frac{W}{12}(6Lx - 6x^2 - L^2)$$

Ec. 51

Deflexión (y):

$$y_{\max} = -\frac{Wx^2}{24EI}(L - x)^2$$

Ec. 52

Reemplazamos los siguientes resultados en las ecuaciones Ec.49, Ec.51 y Ec. 52. y obtenemos las variables que actúan en el tramo M1:

W	1.03 Lb/in	
L	39.37 in	
I	8.74 in ⁴	
Ra = Rb	20.09 Lb	Ec.49
Ma = Mb	-130.55 Lb – in.	Ec.51
Ymax	-2.45x10 ⁻⁵ in (-6.22x10 ⁻⁴ mm)	Ec.52, Para X = L/2.

De la misma manera, se realiza el calculo de las variables que actúan en el tramo M10, reemplazando los siguientes resultados en las ecuaciones Ec.49, Ec.51 y Ec. 52.

W	1.03 Lb/in	
L	39 in	
I	8.74 in ⁴	
Ra = Rb	25.75 Lb	Ec.49
Ma = Mb	-214.58 Lb – in.	Ec.51
Ymax	-6.61x10 ⁻⁵ in (-1.68x10 ⁻³ mm)	Ec.52, Para X = L/2.

Tramo M6. El comportamiento estático de este tramo es idéntico a los tramos M5, M7 y M8, el cual se visualiza en la figura 25, en donde se describe el comportamiento del tramo al estar sometido una carga puntual producto de la

suma de las reacciones de los tramos M14 y M10. Por esta razón se analiza este tramo como una columna con carga excéntrica⁴⁵.

Memoria de cálculo.

Para el diseño de este tramo, tenemos que determinar si este elemento se comporta como un elemento corto sometido a compresión o una columna, esto se logra comparando la relación de esbeltez tanto del elemento corto (Ec.61) como el de la columna (Ec.62)

$$\left(\frac{L}{K}\right)_1 = \frac{L}{(I/A)^{1/2}}$$

Ec. 54

$$\left(\frac{L}{K}\right)_2 = 0.282 \left(\frac{AE}{P}\right)^{1/2}$$

Ec. 53

Si Ec.54 es mayor que Ec.53 tenemos que el tramo se comporta como una columna con carga excéntrica y se utiliza la fórmula de la columna según la secante para determinar la carga crítica máxima tomando la resistencia de fluencia S_y como valor máximo del esfuerzo. Ec.55

⁴⁵ SHIGLEY, Joseph. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, MAC GRAW HILL, 1990. p. 138-145.

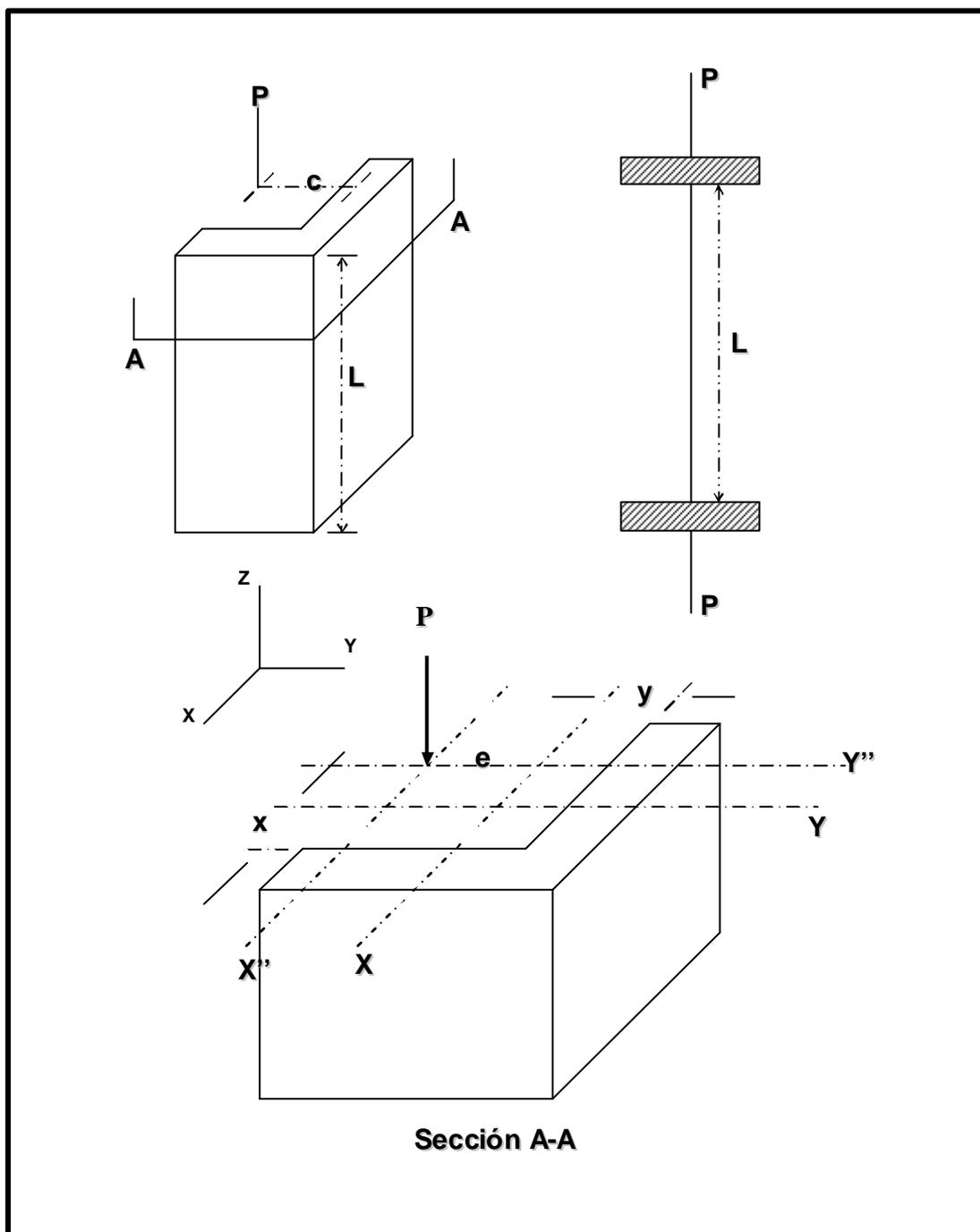


Figura 19. Comportamiento estático del tramo M6

$$P_{cr} = A \left(\frac{S_y}{1 + \left(\frac{ec}{k^2}\right) \sec \left[\left(\frac{L}{2k}\right) \left(\sqrt{\frac{P}{AE}}\right) \right]} \right)$$

Ec. 55

Si Ec.54 es menor que Ec.53 tenemos que el tramo se comporta como un puntal o elemento corto a compresión y se calcula dos variables, la longitud máxima recomendada (Ec.56) para verificar que la longitud predeterminada no este fuera de rango y el esfuerzo de compresión máximo (Ec.57) que puede soportar el elemento.

$$s_c = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{ec}{k^2} \right)$$

Ec. 57

$$L_{max} = \left(\frac{L}{k} \right)_2 \times \left(\sqrt{\frac{I}{A}} \right)$$

Ec. 56

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente reemplazamos los siguientes valores en las ecuaciones mencionadas anteriormente.

P	313.67 Lbs. Suma de Ra (Ec.41) + Ra (Ec.49)
L	21.65 in
A	3.61 in ² . Área de la sección de 5"x 3/8"
I	13.188 in ⁴ Momento de inercia producto de la carga excéntrica.
E	29 x 10 ⁶ Psi

$$e = 1.1 \text{ in. Ver figura 24 (b)}$$

$$c = 2.125 \text{ in}$$

$$(L/k)_1 = 11.33 \quad \text{Ec.53}$$

$$(L/K)_2 = 162.9 \quad \text{Ec.54}$$

Por lo tanto tomamos el análisis como si elemento fuera un puntal o elemento sometido a compresión.

$$L_{\max} = 311.36 \text{ in} \quad \text{Ec.56}$$

$$s_c = 142.5 \text{ Psi.} \quad \text{Ec.57}$$

Por los resultados anteriores, la sección escogida y la longitud predeterminada cumplen con los requerimientos para un elemento corto sometido a compresión.

3.2.2 Diseño de juntas soldadas. Cada junta soldada presente en la estructura une dos tramos de la misma, el siguiente ítem, busca calcular el esfuerzo aplicado en el nodo, producto de las reacciones que se presentan en él, para después verificar si el electrodo de soldadura utilizado es el correcto para la aplicación.

Juntas soldadas aplicadas al nodo N6. La junta aplicada al nodo N6 es del tipo de junta a tope con ranura en V sencilla, bisel doble a 60° (detalle a), entre los tramos M9 y M10 y, el mismo tipo de soldadura mencionado anteriormente entre la unión de los dos tramos y el tramo M6 (detalle b)

Calculamos la fuerza aplicada para cada tipo de junta, producto de las reacciones presentes en el nodo, y se compara con la fuerza producida al aplicar la soldadura utilizando un electrodo E6010.

Junta a tope. (detalle a)

Como el nodo presenta la unión entre dos tramos que están bajo situaciones de carga distintas, tomaremos en cuenta la fuerza cortante y el momento flector mas critico aplicado en el nodo. Teniendo en cuenta la fuerza cortante y el momento flector aplicado en el nodo, calculamos el esfuerzo cortante y el esfuerzo flexionante:

$$t = \frac{V}{At}$$

Ec. 59

$$s = \frac{M}{Ssec}$$

Ec. 58

V 293.58 Lb

M 7308.23 Lb – in

At 3.61 in² Área de la sección.

Ssec 2.42 in³ Modulo de la sección.

t 81.28 Psi Ec.59

s 3019.95 Psi Ec.58

Calculamos la fuerza aplicada en la soldadura producto del mayor esfuerzo presentado en el nodo.

$$= s \times A_{\text{soldadura}}$$

Ec. 60

Donde el área de soldadura es igual a.

$$A_{\text{soldadura}} = t \times l$$

Ec. 61

$$t = 3/8 \text{ in}$$

$$l = 15.75 \text{ in}$$

$$A_{\text{soldadura}} = 5.91 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.61}$$

Remplazamos el resultado de las ecuaciones Ec.58 y Ec.61 en la ecuación Ec.60 y obtenemos.

$$F_1 = 17836.61 \text{ Lb} \quad \text{Ec.60}$$

Calculamos la fuerza aplicada (F2) en la junta empleando una soldadura con electrodo E6010 en el nodo.

$$F_2 = s \times A_{\text{soldadura}}$$

Ec. 62

s 60000 Psi

Asoldadura 5.91 in² Ec.61

F2 354600 Lb Ec.62

Observamos que la fuerza F1 es menor que F2 por lo que si aplicamos una junta a tope con las características ya mencionadas anteriormente, utilizando un electrodo E6010, garantizamos que la unión no fallara.

Junta a tope. (detalle b)

Como en este punto del nodo se presenta la unión entre los tramos M9 y M10 con el tramo M6 en su parte superior, el cual actúa como una columna, la soldadura esta sometida a cargas a tensión debido a la reacción presente en el tramo M6 la cual es la suma de las reacciones de M9 y M10.

Calculamos el esfuerzo a tensión al cual estará sometida la sección.

$$\frac{P}{At}$$

Ec. 63

P 313.67 Lbs. Suma de Ra (Ec.41) + Ra (Ec.49)

At 3.61 in² Área de la sección.

s 86.89 Psi Ec.63

Calculamos la fuerza aplicada en la soldadura producto del mayor esfuerzo presentado en el nodo.

t 3/8 in

l 10 in

Asoldadura 3.75 in² Ec.61

F1 325.72 Lb Ec.60

Calculamos la fuerza aplicada (F2) en la junta empleando una soldadura con electrodo E6010 en el nodo.

s 60000 Psi

Asoldadura 3.75 in² Ec.61

F2 225000 Lb Ec.62

Observamos que la fuerza F1 es menor que F2 por lo que si aplicamos una junta a tope con las características ya mencionadas anteriormente, utilizando un electrodo E6010, garantizamos que la unión no fallara.

Junta soldada aplicadas al nodo N2. La junta aplicada al nodo N2 es del tipo de junta a tope con ranura en V sencilla, bisel doble a 60° (detalle a), entre la unión de los tramos M1 y M2 y el tramo M6, (detalle b)

Calculamos la fuerza aplicada para cada tipo de junta, producto de las reacciones presentes en el nodo, y se compara con la fuerza producida al aplicar la soldadura utilizando un electrodo E6010.

Junta a tope. (detalle a)

Aplicamos la secuencia de calculo descrita para la junta a tope del ítem nodo N6 junta a tope (detalle b); sin embargo, como en este punto del nodo se presenta la unión entre los tramos M1 y M2 con el tramo M6 en la parte inferior de este, el cual actúa como una columna, la soldadura esta sometida a cargas a tensión debido a la reacción presente en el tramo M6 la cual es la suma de las reacciones de M9 y M10 adicionando el peso del tramo M6.

Calculamos el esfuerzo a tensión al cual estará sometida la sección.

P 313.67 Lbs. Suma de R_a (Ec.41) + R_a (Ec.49)

At 3.61 in² Área de la sección.

s 86.89 Psi Ec.63

Calculamos la fuerza aplicada en la soldadura producto del mayor esfuerzo presentado en el nodo.

$$t = 3/8 \text{ in}$$

$$l = 10 \text{ in}$$

$$A_{\text{soldadura}} = 3.75 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.61}$$

$$F1 = 325.72 \text{ Lb} \quad \text{Ec.60}$$

Calculamos la fuerza aplicada (F2) en la junta empleando una soldadura con electrodo E6010 en el nodo.

$$s = 60000 \text{ Psi}$$

$$A_{\text{soldadura}} = 3.75 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.61}$$

$$F2 = 225000 \text{ Lb} \quad \text{Ec.62}$$

Observamos que la fuerza F1 es menor que F2 por lo que si aplicamos una junta a tope con las características ya mencionadas anteriormente, utilizando un electrodo E6010, garantizamos que la unión no fallara.

Junta a tope. (detalle b)

Aplicamos la secuencia de calculo descrita para la junta a tope del nodo N6 junta a tope (detalle a); sin embargo, como el nodo presenta la unión entre dos tramos que están bajo situaciones de carga distintas, tomaremos en cuenta la fuerza

cortante, adicionando la reacción P del caso anterior, y el momento flector mas critico aplicado en el nodo.

calculamos el esfuerzo cortante y el esfuerzo flexionante:

$$F = 361.52 \text{ Lb} \quad V (25.75 \text{ Lb}) + P (335.77 \text{ Lb})$$

$$M = 214 \text{ Lb} - \text{in}$$

$$A_t = 3.61 \text{ in}^2 \quad \text{Área de la sección.}$$

$$S_{\text{sec}} = 2.42 \text{ in}^3 \quad \text{Modulo de la sección.}$$

$$t = 100.14 \text{ Psi} \quad \text{Ec.58}$$

$$s = 88.43 \text{ Psi} \quad \text{Ec.59}$$

Calculamos la fuerza aplicada en la soldadura producto del mayor esfuerzo presentado en el nodo.

$$t = 3/8 \text{ in}$$

$$l = 12.07 \text{ in}$$

$$A_{\text{soldadura}} = 4.53 \text{ in}^2 \quad \text{Ec.61}$$

$$F_1 = 453.65 \text{ Lb} \quad \text{Ec.60}$$

Calculamos la fuerza aplicada (F2) en la junta empleando una soldadura con electrodo E6010 en el nodo.

$$s = 60000 \text{ Psi}$$

Asoldadura 4.53 in2 Ec.61

F2 271599.03 Lb Ec.62

Observamos que la fuerza F1 es menor que F2 por lo que si aplicamos una junta a tope con las características ya mencionadas anteriormente, utilizando un electrodo E6010, garantizamos que la unión no fallara.

En conclusión se utiliza para cualquier tipo de junta soldada, electrodos E6010, no solo por el tipo de material utilizado en la estructura (acero A 36), si no, por que garantiza una junta segura.

Como complemento se empleo un procedimiento calificado de soldadura para electrodos E6010 y E7018. El cual sirve para procesos de soldadura de tipo GWPS y SMAW. Este procedimiento es un documento controlado, suministrado por la empresa CBI durante el desarrollo del proyecto "TANKE DE ETILENO", en la empresa POLIPROPILENO DEL CARIBE, PROPILCO S.A.

Este documento consta de dos partes, el WPS (Weld Procedure Specification) y el PQR (Procedure Qualification Record). La primera parte describe la información general acerca de la calificación de la soldadura y de todos los elementos involucrados en el proceso, como los códigos y normas de soldadura empleados, características del material base, características de los electrodos empleados, características técnicas de los equipos y de las condiciones en las cuales se debe desarrollar el proceso de soldadura. Además describe las características técnicas

de la soldadura y las posiciones a las cuales se efectuara la calificación. Todo lo anterior esta contemplado en el documento anexo, paginas 1 – 4.

La segunda parte es el record o resultado del proceso de calificación, en donde se visualiza las condiciones del proceso de la soldadura, las variables esenciales, el procedimiento aplicado y los resultados del test o proceso de calificación para cada tipo de electrodo evaluado. Todo lo anterior esta contemplado en el documento anexo, paginas 5 – 8.

3.3 CALCULO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE ACEITE MINERAL DIELECTICO.

El sistema de bombeo cumple dos funciones, las cuales se traducen en etapas, dentro del mismo proceso de recuperación de aceite.

1. Transporte. Función que es refleja en el bombeo del aceite mineral sucio desde el transformador hasta el tanque de proceso y el bombeo de descarga del aceite recuperado al retorno del transformador.
2. Recirculación. Función que se traduce en mantener la temperatura del aceite mineral uniforme en todo el fluido durante el proceso de termo vacío.

Este calculo de divide en tres etapas.

- Etapa de llenado.
- Etapa de recirculación.
- Etapa de descarga.

Parámetros iniciales de diseño.

Tipo de fluido.	Aceite mineral dieléctrico.
Densidad del fluido a 20°C	0.875Kg/dm ³
Densidad del fluido a 60°C	0.857Kg/dm ³
Peso específico del fluido (<i>g</i>) a 20°C	0.0316 Lb/in ³
Peso específico del fluido (<i>g</i>) a 60°C	0.0309 Lb/in ³
Viscosidad a 40°C	10.5cSt = 60.38 SSU
Caudal a manejar.	5 G.P.M.
Volumen a manejar.	55 Gal
Tubería de succión.	Acero inoxidable A304 1" cedula 40std.
Tubería de descarga.	Acero inoxidable A304 ½ " cedula 40std.
Aceleración de la gravedad	32.174ft/s ² (386.88in/s ²)

3.2.1 Cálculo del sistema de bombeo para la etapa de llenado.

Etapa de succión.

Condiciones.

Caudal (Q)	5 GPM = 19.25 in ³ /s
Presión de succión (P1)	14.7Psig
Elevación (Z1)	3.58 in
Tubería de succión	A 304 cedula 40S, 1"
Diámetro interno de tubería (do)	1.049 in
Área interna de tubería (A1)	0.8640 in ²
Accesorios	
3 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 codos de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
1 tee	(l/do = 20)
Longitud de tubería recta (L)	31.7 in
Factor de fricción (f)	0.023

Cálculos de variables de la etapa de succión.

Calculamos la velocidad (V1) presente en el tramo de succión.

$$= \frac{Q}{A1}$$

Remplazando los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec. 64, obtenemos.

$$V1 = 22.28 \text{ in/s}$$

Calculamos las pérdidas por tubería (hf_1) en el tramo de succión.

$$= f \left(\frac{L}{do} \right) \left(\frac{V1^2}{2g} \right)$$

Ec. 65

3 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 codos de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
1 tee	(L/do = 20)
Longitud de tubería recta	(31.7 in/ 1.049 in = 30.21)

Multiplicamos todos los valores de las relaciones (L/do) por el número de unidades del respectivo accesorio y sumamos todas las relaciones (L/do) totales para obtener la relación L/do total. Véase tabla 7

TABLA 6. Tubería de succión, etapa de llenado.

ACCESORIO	L/D	UNIDADES	TOTAL L/D
VALVULA DE CIERRE RAPIDO	8	3	24
TEE	20	1	20
CODOS DE 90 GRADOS r/d=12	34	1	34
TUBERÍA RECTA	30.21		30.21
		SUMA	108.21

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec. 65, obtenemos

$$h_{f1} = 1.6 \text{ in}$$

Etapas de descarga.

Condiciones.

Caudal (Q)	5 GPM = 19.25 in ³ /s
Presión de succión (P2)	16 Psig
Elevación (Z2)	30.68 in
Tubería de descarga	A 304 cedula 40S, ½ ”
Diámetro interno de tubería (do)	0.622 in
Área interna de tubería (A2)	0.3040 in ²
Accesorios	
2 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 tee	(L/do = 60) funciona como codo.
3 codos de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
Longitud de tubería recta (L)	55.734 in
Factor de fricción (f)	0.027

Cálculos de variables de la etapa de descarga.

Calculamos la velocidad (V2) presente en el tramo de succión.

$$= \frac{Q}{A^2}$$

Ec. 66

Remplazando los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec.66, obtenemos.

$$V_2 = 63.38 \text{ in/s}$$

Calculamos las pérdidas por tubería (hf_2) en el tramo de succión.

$$hf_2 = f \left(\frac{L}{do} \right) \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$$

Ec. 67

2 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 tee	(L/do = 20)
3 codos de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
Longitud de tubería recta	(55.734 in/ 0.622 in = 89.60)

Multiplicamos todos los valores de las relaciones (L/do) por el número de unidades del respectivo accesorio y sumamos todas las relaciones (L/do) totales para obtener la relación L/do total. Véase tabla 8

TABLA 7. Tubería de descarga, etapa de llenado.

ACCESORIO	L/do	UNIDADES	TOTAL L/do
VALVULA DE CIERRE RAPIDO	8	2	16
TEE	60	1	60
CODOS DE 90 GRADOS r/d=12	34	3	102
TUBERIA RECTA	89.60		89.60
		SUMA	267.6

Remplazando los valores mencionados en la ecuación Ec. 67, obtenemos

$$hf_2 = 37.59 \text{ in}$$

Calculamos la cabeza de la bomba (H_b) requerida para la etapa de llenado del tanque de proceso.

$$+\frac{V_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - (hf_2 + hf_1) + H_b$$

Ec. 68

$$P_2 = 16 \text{ Psig}$$

$$V_2 = 63.38 \text{ in/s}$$

$$Z_2 = 30.68 \text{ in}$$

$$hf_2 = 37.59 \text{ in}$$

$$P_1 = 14.7 \text{ Psig}$$

$$V_1 = 22.28 \text{ in/s}$$

$$Z_1 = 3.58 \text{ in}$$

$$hf_1 = 1.6 \text{ in}$$

$$g = 0.0316 \text{ Lb/in}^3$$

$$g = 386.88 \text{ in/s}^2$$

Remplazando los datos anteriores en la ecuación Ec. 68, tenemos.

$$H_b = 16444.13 \text{ in}$$

Calculamos la potencia requerida por la bomba de acuerdo a la cabeza hallada.

$$P_{\text{requerida}} = Q \times g \times H_b$$

Ec. 69

Remplazamos los valores de la ecuación Ec. 69 y obtenemos.

$$P_{\text{requerida}} = 10005.51 \text{ Lb-in/s} = 1.52 \text{ Hp}$$

3.2.2 Calculo del sistema de bombeo para la etapa de recirculación.

Etapas de succión.

Condiciones.

Caudal (Q)	5 GPM = 19.25 in ³ /s
Presión de succión (P1)	10 Psig
Elevación (Z1)	29.554 in
Tubería de succión	A 304 cedula 40S, 1"

Diámetro interno de tubería (do)	1.049 in
Área interna de tubería (A1)	0.8640 in ²
Accesorios	
2 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 tee	(l/do = 20)
1 codo de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
Longitud de tubería recta (L)	28.192 in
Factor de fricción (f)	0.023

Utilizamos el mismo procedimiento descrito en la sección 3.2.1

Cálculos de variables de la etapa de succión.

$$V1 = 22.28 \text{ in/s} \quad \text{Ec.64}$$

Calculamos las pérdidas por tubería (hf1) en el tramo de succión.

TABLA 8. Tubería de succión, etapa de recirculación.

ACCESORIOS	L/do	UNIDADES	TOTAL L/do
VALVULA DE CIERRE RAPIDO	8	2	16
TEE	60	1	60
CODO DE 90 GRADOS. R/d =12	34	1	34
TUBERIA RECTA	26.88		26.88
		SUMA	136.88

$$hf1 = 2.02 \text{ in} \quad \text{Ec.65}$$

Etapas de descarga.**Condiciones.**

Caudal (Q)	5 GPM = 19.25 in ³ /s
Presión de succión (P2)	16 Psig
Elevación (Z2)	30.7 in
Tubería de descarga	A 304 cedula 40S, ½ ”
Diámetro interno de tubería (do)	0.622 in
Área interna de tubería (A2)	0.3040 in ²
Accesorios	
2 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 tee	(L/do = 60) funciona como codo.
3 codos de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
Longitud de tubería recta (L)	55.734 in
Factor de fricción (f)	0.027

Cálculos de variables de la etapa de descarga.

$$V_2 = 63.38 \text{ in/s} \quad \text{Ec.66}$$

Calculamos las pérdidas por tubería (hf_2) en el tramo de succión.

TABLA 9. Tubería de descarga, etapa de recirculación.

ACCESORIO	L/do	UNIDADES	TOTAL L/do
VALVULA DE CIERRE RAPIDO	8	2	16
TEE	60	1	60
CODOS DE 90 GRADOS r/d=12	34	3	102
TUBERIA RECTA	89.60		89.60
		SUMA	267.60

$$hf_2 = 37.59 \text{ in} \quad \text{Ec.67}$$

Calculamos la cabeza de la bomba (H_b) requerida para la etapa de llenado del tanque de proceso.

$$P_2 = 16 \text{ Psig}$$

$$V_2 = 63.38 \text{ in/s}$$

$$Z_2 = 30.68 \text{ in}$$

$$hf_2 = 37.59 \text{ in}$$

$$P_1 = 10 \text{ Psig}$$

$$V_1 = 22.28 \text{ in/s}$$

$$Z_1 = 29.55 \text{ in}$$

$$hf_1 = 2.02 \text{ in}$$

$$g = 0.0309 \text{ Lb/in}^3$$

$$g = 386.88 \text{ in/s}^2$$

$$H_b = 16570.42 \text{ in} \quad \text{Ec.68}$$

Calculamos la potencia requerida por la bomba de acuerdo a la cabeza hallada.

$$\text{Prequerida} = 9871.07 \text{ Lb-in/s} = 1.49 \text{ Hp} \quad \text{Ec.69}$$

3.2.3 Calculo del sistema de bombeo para la etapa de descarga.

Etapa de succión.

Condiciones.

Caudal (Q)	5 GPM = 19.25 in ³ /s
Presión de succión (P1)	10 Psig
Elevación (Z1)	29.55 in
Tubería de succión	A 304 cedula 40S, 1"
Diámetro interno de tubería (do)	1.049 in
Área interna de tubería (A1)	0.8640 in ²
Accesorios	
2 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 tee	(l/do = 20)
1 codo de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
Longitud de tubería recta (L)	28.19 in
Factor de fricción (f)	0.023

Utilizamos el mismo procedimiento descrito en la sección 3.2.1

Cálculos de variables de la etapa de succión.

$$V1 = 22.28 \text{ in/s} \quad \text{Ec.64}$$

Calculamos las pérdidas por tubería (hf_1) en el tramo de succión.

TABLA 40. Tramo de succión, etapa de descarga de producto.

ACCESORIO	L/do	UNIDADES	TOTAL L/do
VALVULA DE CIERRE RAPIDO	8	2	16
TEE	60	1	60
CODO DE 90 GRADOS. R/d =12	34	1	34
TUBERIA RECTA	26.88		26.88
		SUMA	136.88

$hf_1 = 2.02$ in Ec.65

Etapa de descarga.

Condiciones.

Caudal (Q)	5 GPM = 19.25 in ³ /s
Presión de descarga (P2)	14.7 Psig
Elevación (Z2)	3.58 in
Tubería de descarga	A 304 cedula 40S, ½ "
Diámetro interno de tubería (do)	0.622 in
Área interna de tubería (A2)	0.3040 in ²
Accesorios	
4 válvulas de cierre rápido	(L/do = 8)
1 tee	(L/do = 60) funciona como codo.
2 codos de 90° (r/do = 12)	(L/do = 34)
Longitud de tubería recta (L)	60.58 in
Factor de fricción (f)	0.027

Cálculos de variables de la etapa de descarga.

$$V2 = 63.38 \text{ in/s} \quad \text{Ec.66}$$

Calculamos las pérdidas por tubería (hf_2) en el tramo de succión.

TABLA 51. Tramo de descarga, etapa de descarga de producto.

ACCESORIO	L/do	UNIDADES	TOTAL L/do
VALVULA DE CIERRE RAPIDO	8	4	32
TEE	60	1	60
CODOS DE 90 GRADOS $r/d=12$	34	2	68
TUBERIA RECTA	97.41		97.41
		SUMA	257.41

$$hf_2 = 36.16 \text{ in} \quad \text{Ec.67}$$

Calculamos la cabeza de la bomba (H_b) requerida para la etapa de llenado del tanque de proceso.

$$P_2 = 14.7 \text{ Psig}$$

$$V_2 = 63.38 \text{ in/s}$$

$$Z_2 = 3.58 \text{ in}$$

$$hf_2 = 36.16 \text{ in}$$

$$P_1 = 10 \text{ Psig}$$

$$V_1 = 22.28 \text{ in/s}$$

$$Z_1 = 29.55 \text{ in}$$

$$hf_1 = 2.02 \text{ in}$$

$$g = 0.0309 \text{ Lb/in}^3$$

$$g = 386.88 \text{ in/s}^2$$

$$H_b = 16558.74 \text{ in.} \quad \text{Ec.68}$$

Calculamos la potencia requerida por la bomba de acuerdo a la cabeza hallada.

$$\text{Prequerida} = 10075.24 \text{ Lb-in/s} = 1.5 \text{ Hp} \quad \text{Ec.69}$$

Analizando los tres cálculos anteriores, la potencia requerida por la bomba del dispositivo debe ser mayor o igual a 1.5 Hp, para poder garantizar las condiciones de operación de la maquina.

Seleccionamos la siguiente bomba y su motor de acuerdo a las condiciones de operación y a las condiciones del fluido a transportar.

Bomba: TUTHILL. Serie: L.

Size: 2 a 1800 R.P.M.

G.P.M. 4.3, 1½ Hp

Motor: TUTHILL de 1 ½ Hp

Frame: 56, 3 phase 50/60 Hz.

Voltaje: 208 – 230 /460.

Velocidad: 1425 – 1725 R.P.M.

Aplicaciones:

Para fluidos con viscosidades de 0 a 200 SSU. 0 – 200PSI.

Aceites hidráulicos, aceites calientes, aceites lubricantes, aceites quemados, aceites minerales.

3.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVO TÉRMICO.

La finalidad del dispositivo térmico es proporcionar a la mezcla de agua y aceite mineral un calor que permita evaporar el agua y gases de la mezcla a una temperatura menor que la temperatura de evaporación del agua a 100°C. para lograr lo anterior se necesita una menor presión a la presión atmosférica dentro de la cámara de proceso. Véase figuras 26

3.4.1 Calor necesario a transmitir a la mezcla agua – aceite. El calor necesario a transmitir se determina por la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_{aceite} + Q_{agua}$$

Ec. 70

El calor a transmitir al aceite es igual a.

$$Q_{aceite} = m_{aceite} \times C_{p_{aceite}} \times \Delta T$$

Ec. 71

maceite = 178.43Kg de aceite presentes en 55 Gal de mezcla.

Cpaceite = 2.01KJ/Kg°K (0.48Btu/Lbm°R) a 60°C

?T = 30°C

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación Ec.71, obtenemos.

Qaceite = 10759.05 KJ = 10197.61 BTU

El calor transmitido al agua es igual a.

$$Q_{agua} = m_{agua} \times C_{p_{agua}} \times \Delta T$$

Ec. 72

magua = 0.053 Kg de H2O presentes en 55 Gal de mezcla.

Cpaceite = 1.863KJ/Kg°K (0.45Btu/Lbm°R) a 60°C

?T = 30°C

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación Ec.72, obtenemos.

Qagua = 2.96 KJ = 2.81 BTU

Reemplazando los valores hallados en Ec.71 y Ec.72, en la ecuación Ec.70, obtenemos.

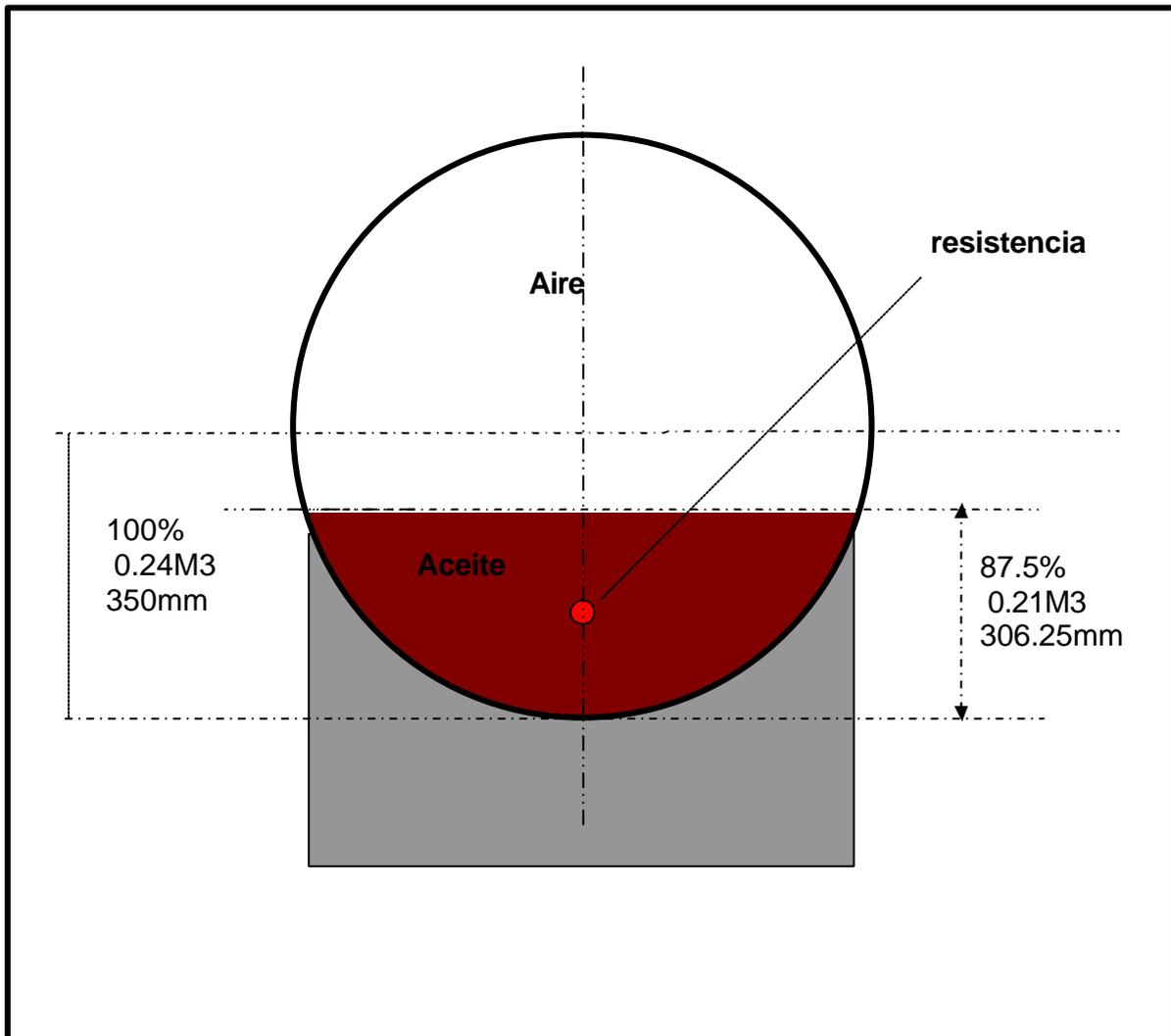


Figura 20. Vista frontal del equipo, posición del dispositivo térmico.

$$Q_{\text{total}} = 10762.01 \text{ KJ} = 10200.42 \text{ BTU}$$

Para hallar la potencia necesaria para eliminar la cantidad de agua se divide el calor total entre el tiempo necesario para el proceso. Véase tabla 13

TABLA 12. Potencia necesaria para un tiempo de proceso determinado.

Q KJ	Q BTU	Tiempo	P Btu/h	P KW	HP
10762.01	10200.42	1h	10200.42	2.99	4.01
10762.01	10200.42	50 min	12240.50	3.59	4.81
10762.01	10200.42	40 min	15300.63	4.48	6.00
10762.01	10200.42	30 min	20400.84	5.98	8.01
10762.01	10200.42	20 min	30601.26	8.97	12.02
10762.01	10200.42	10 min	61202.52	17.94	24.04

3.4.2 Calculo de la perdida de calor si el tanque no esta aislado térmicamente.

Asumimos las siguientes consideraciones:

- El tanque tiene una temperatura de 140°F uniforme en su parte interior debido a la recirculación de aceite presente en el proceso.

- El tanque esta expuesto a condiciones ambientales normales. ($T_{amb} 68^{\circ}F$)
- El viento al cual esta expuesto tiene una velocidad de 15 mi/h. (Condiciones normales)

Para nuestro caso en particular se presentan tres tipos de perdida de calor:

- Perdida por radiación entre la superficie del tanque y el medio ambiente.
- Perdida por convección entre la superficie del tanque y el viento.
- Perdida por conducción entre el interior y el exterior del tanque.

Calculamos la perdida de calor en el tanque por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = UA(T_s - T_a)$$

Ec. 73

- Q Calor perdido en Btu/h
- UA Coeficiente global de transferencia de calor, Btu/h $^{\circ}F$
- Ts Temperatura del fluido.
- Ta Temperatura del aire.

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula de la siguiente manera:

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{2pLr_{int} \times h_i}\right) + \left(\frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2pLK}\right) + \left(\frac{1}{2pLr_{ext}h_o}\right)}$$

Ec. 74

$r_{ext} = 1.099 \text{ Ft}$	Radio exterior del tanque.
$r_{int} = 1.0833 \text{ Ft}$	Radio interior del tanque.
$L = 3.25 \text{ Ft}$	Longitud entre líneas de tangencia.
$K = 8.7 \text{ Btu}/(\text{Ft})(\text{h})(^\circ\text{F})$	Conductividad térmica del material.
$h_i = 176.47 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})$	Coefficiente convectivo del aceite mineral dieléctrico. ⁴⁶
$h_o = h_r + h_c$	Suma entre el coeficiente convectivo del aire a 15 mi/h (24Km/h) y el coeficiente por radiación térmica del aire.

Calculamos el coeficiente por convección a 15 mi/h⁴⁷:

Calculamos la velocidad de la masa G de aire:

$$G = \rho_{aire} \times V_{lineal}$$

Ec. 75

$$G = \rho_{aire} \times V_{lineal} = 0.075 \text{ Lb}/\text{Ft}^3$$

⁴⁶ Dato suministrado por NYNAS Naphthenics, SUECIA.

⁴⁷ CHOPEY, Nicholas. Handbook of chemical engineering calculations, MacGRAW-HILL., p.7-13,7-14.

V lineal del aire 79200 Ft/h

Reemplazamos los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec.75, obtenemos:

$$G = 5940 \text{ Lb}/(\text{Ft}^2)(\text{h})$$

Determinamos el coeficiente convectivo del aire a 15 mi/h por la siguiente ecuación:

$$= 0.11c \times \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}}$$

Ec. 76

$c = 0.24 \text{ Btu}/(\text{in})(^\circ\text{F})$ Calor específico del aire.

$D = 2.20 \text{ Ft}$ Diámetro exterior del tanque.

Reemplazamos los valores mencionados anteriormente en la ecuación Ec.76, obtenemos:

$$hc = 3.54 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})$$

Coeficiente por radiación, $hr = 1.0 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})$, aproximadamente.

Calculamos el coeficiente de transferencia de calor exterior (h_o) sumando el coeficiente por radiación mas el coeficiente por convección.

$$h_o = h_c + h_r = 4.54 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})$$

Reemplazamos los valores mencionados en la ecuación Ec.74, obtenemos:

$$UA = 98.5 \text{ Btu}/(\text{h})(^\circ\text{F})$$

Reemplazamos los valores mencionados en la ecuación Ec.73, obtenemos:

$$Q = (93.76 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})) \times (140^\circ\text{F} - 68^\circ\text{F}) = 7092.2 \text{ Btu/h}$$

Ahora, calculamos la perdida de calor si el tanque esta aislado térmicamente utilizando un espesor de $\frac{1}{2}$ in de fibra de vidrio.

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula para este caso en particular de la siguiente manera:

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{2pLr_{int} \times h_i} \right) + \left(\frac{\ln(r_{ext}/r_{int})}{2pLK} \right) + \left(\frac{\ln(r_{ais}/r_{ext})}{2pLK_{ais}} \right) + \left(\frac{1}{2pLr_{ais} h_o} \right)}$$

Ec. 77

$r_{ext} = 1.099 \text{ Ft}$	Radio exterior del tanque.
$r_{int} = 1.0833 \text{ Ft}$	Radio interior del tanque.
$r_{aisl} = 1.14 \text{ Ft}$	Radio exterior mas espesor de aislamiento.
$L = 3.25 \text{ Ft}$	Longitud entre líneas de tangencia.
$K = 8.7 \text{ Btu}/(\text{Ft})(\text{h})(^\circ\text{F})$	Conductividad térmica del material.
$K_{ais} = 0.022 \text{ Btu}/(\text{Ft})(\text{h})(^\circ\text{F})$	Conductividad térmica del material aislante.
$h_i = 176.47 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})$	Coefficiente convectivo del aceite mineral dieléctrico. ⁴⁸
$h_o = 4.54 \text{ Btu}/(\text{Ft}^2)(\text{h})(^\circ\text{F})$	Suma entre el coeficiente convectivo del aire a 15 mi/h (24Km/h) y el coeficiente por radiación térmica del aire.

Remplazamos los datos en la ecuación Ec.77 y obtenemos:

$$UA = 10.95 \text{ Btu}/(\text{h})(^\circ\text{F})$$

El anterior resultado se reemplaza en la ecuación Ec.73 y obtenemos:

$$Q = 10.96 \text{ Btu}/(\text{h})(^\circ\text{F}) \times (140^\circ\text{F} - 68^\circ\text{F}) = 788.3 \text{ Btu/h}$$

El resultado anterior es la potencia calorífica transmitida por el tanque a través de las paredes a sus alrededores.

Calculamos el porcentaje de calor perdido por el proceso para posteriormente sumarlo a la potencia requerida por la resistencia y obtener el calor total necesario para evaporar el contenido de agua en el aceite contaminado:

$$\text{Porcentaje de calor perdido} = ((778.3\text{Btu/h})/(10200.42\text{Btu/h})) \times 100\% = 7.73\%$$

$$\text{Potencia final requerida} = 10200.42 \text{ Btu/h} \times 1.077 = 10985.85 \text{ Btu/h}$$

Verificamos que la temperatura final del fluido, aplicando la potencia final requerida, no sobrepase el límite de temperatura del aceite⁴⁹.

$$Q = [(m_{\text{agua}} \times C_{p\text{agua}}) + (m_{\text{aceite}} \times C_{p\text{aceite}})] \times (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}})$$

Ec. 78

$$Q = 11590.68 \text{ KJ}$$

$$m_{\text{agua}} = 0.053 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{aceite}} = 178.43 \text{ Kg}$$

$$C_{p\text{agua}} = 1.863 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$C_{p\text{aceite}} = 2.01 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$T_{\text{entrada}} = 303^\circ\text{K} (30^\circ\text{C})$$

Remplazando los valores anteriores en la ecuación Ec.78 obtenemos:

⁴⁸ Dato suministrado por NYNAS Naphthenics, SUECIA.

$T_{\text{salida}} = 335.28^{\circ}\text{K} (62.3^{\circ}\text{C})$

La temperatura esta por debajo del limite permitido, lo que significa que nuestra resistencia eléctrica es de 3.2KW y trabajando con un voltaje de 220V el amperaje que hay que suministrar es 14 Amp.

3.5 CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE UNA BOMBA DE VACÍO SEGÚN EL CAUDAL DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO DE ACEITE AISLANTE.⁵⁰

Notación.

Q	Caudal de circulación de aceite en L/h.
?	Densidad del aceite a 60°C, 857Kg/m ³ .
?ppm	Remoción de agua en ppm (10 ⁻⁶)
?g	diferencial en remoción de gases en %
Va	volumen de gases a ser removidos.
V2	volumen de agua a ser removida.

Calculamos la cantidad de agua a ser removida.

⁴⁹ ICONTEC. Guía para el mantenimiento y la supervisión de los aceites minerales aislantes en servicio en equipos eléctricos. NTC 3284. 1991, p.577.

⁵⁰ GALLO, Ernesto. Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda.,1992. p.103-104.

$$= Q \times r \times \Delta ppm \times 10^{-3} \text{ gr}$$

Ec. 79

Volumen de agua a CSPT (condiciones standard de presión y temperatura (760 mm Hg, 0°C (273 °K))

18gr-mol de agua = 22.4L /gr – mol

$$H = X$$

Donde

$$= \frac{22.4(Q \times 0.857 \times \Delta ppm \times 10^{-3})}{18}$$

$$X = 1.07 \times Q \times \Delta ppm \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

Volumen de agua (a 605.06 mm Hg de presión y 60 °C, o 333 °K)

$$\frac{V_2}{2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

$$\times X = \frac{605.06 \times V_2}{333}$$

El volumen de agua a sacar es igual a

$$= 1.64 \times Q \times \Delta ppm \times 10^{-3} (L)$$

Ec. 80

Calculamos la cantidad de gases a ser removidos.

$$\frac{\Delta g \times 760}{100} = 1 mmHg \times Va$$

Ec. 81

La ecuación Ec.96 se resume a

$$Va = 0.04 \times ?g \times Q$$

El volumen total (Vt) a ser removido se denota por la siguiente ecuación:

$$= V2 + Va$$

Ec. 82

$$Q = 1135.62 \text{ L/h}$$

?g = 11.75 % Normalmente el rendimiento de la desgasificación consiste en rebajar el contenido de gases desde 12% a 0.25%, es decir un diferencial de 11.75%.

?ppm = 90 un equipo de tratamiento debe bajar de 100 ppm de agua hasta 10 ppm. o sea que el ?ppm de agua es de 90 ppm.

Remplazando los datos anteriores en las variables de las ecuaciones Ec.80, Ec. 81 y los resultados de las anteriores ecuaciones, en la ecuación Ec.82 y obtenemos.

$$V_t = 695.93 \text{ L/h.} = 0.39 \text{ C.F.M.} = 0.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

El desplazamiento mínimo que debe tener la bomba de vacío es de 0.39 C.F.M. o 0.65 m³/h.

Calculamos el tiempo de remoción de agua y gases para un volumen de 55 Gal de aceite sucio. Véase tabla 14

TABLA 63. Tiempo estimado para el desplazamiento hallado.

PARA UN VOLUMEN DE ACEITE CONTAMINADO. 55 Gal.		
V tanque	Q bomba de vacío	t remoción de gases a 60C Y P = 11.7Psig
12705 in ³	673.92 in ³ /min	18.85 min
7.35 Ft ³	0.39 Ft ³ /min	18.85 min
0.21 M ³	0.011 M ³ /min	18.85 min

Por el desplazamiento calculado escogemos el sistema de vacío siguiente:

Unidad KVAC. Bomba de paletas deslizantes de 2 etapas.

Modelo: KVAC-2

1.5CFM, ¼ Hp

Aplicaciones: apropiadas para uso industrial y laboratorios. Entre las aplicaciones típicas encontramos: filtración, evacuación de tubos y bombillos y cubiertas al vacío.

La tubería de succión del sistema de vacío (bomba de vacío) esta compuesta por un cheque que garantice el no retorno de los gases a la cámara. Esta tubería tiene un diámetro nominal de 1/2in y una longitud aproximada de 2.2 mts.

3.6 CALCULO DEL AMPERAJE REQUERIDO POR LA MAQUINA.

$A_{total} = A_{bomba\ de\ aceite} + A_{bomba\ de\ vacío} + A_{resistencia}$.

$A_{resistencia} = 14\ Amp$, a 220V.

$A_{bomba\ de\ aceite} = 5.08Amp$, a 220V.

$A_{bomba\ de\ vacío} = 0.847Amp$, a 220V.

$A_{total} = 20\ Amp$, a 220V.

Para el suministro de corriente se tiene que escoger una planta con una capacidad mayor a 50.5Amp, trabajando a una tensión de 220V.

4. MANUALES DE LA MAQUINA.

Las presentes instrucciones de uso tienen la misión de facilitar los conocimientos sobre la maquina y sus posibilidades de aplicación o uso. Dichas instrucciones comprenden informaciones importantes de cómo hacer funcionar la citada instalación de forma segura, adecuada y económica. Su observación contribuye a evitar peligros, disminuir los gastos de reparación y periodos muertos y aumentar la seguridad funcional y la vida útil del equipo.

Las presentes instrucciones han de complementarse introduciendo las pertinentes normas nacionales para la prevención de accidentes y de protección medio ambiental.

Las instrucciones de uso deben estar disponibles en todo momento en el lugar de uso de la maquina.

Dichas instrucciones han de ser estudiadas y aplicadas por toda aquella persona que este encargada de llevar a cabo los siguientes trabajos que tengan que ver con la maquina.

Servicio: inclusive preparación de la maquina, eliminación de fallos en régimen de funcionamiento, eliminación de residuos, conservación.

Conservación : mantenimiento, inspección, reparación.

Transporte.

4.1 MANUAL DE OPERACIÓN

PUESTA EN SERVICIO

Se debe seleccionar la manguera flexible apropiada de goma para hacer pasar el aceite de este a la maquina a través de la bomba de aceite.

Primero se ceba la bomba con la válvula No. 2 y 3 de la descarga cerrada.

A título de prueba, conectar la bomba de aceite y observar la dirección de giro. En caso de una dirección de giro falsa del motor, desconectar la red eléctrica y recambiar dos fases en la pieza de borne que se encuentra en la caja de distribución.

Por seguridad se debe observar que los tornillos de sujeción de la base de los filtros estén bien afianzados a la estructura del equipo. Si no es así, atornillarlos firmemente.

Verificar que la válvula No. 1 este abierta.

Encender bomba de aceite.

Se inicia la succión del aceite y se llena el tanque.

Es necesario tener especial cuidado con el nivel de aceite dentro del tanque.

Se debe garantizar que las resistencias queden sumergidas en el aceite a tratar.

Esto se puede controlar observando por la mirilla de nivel.

Se encienden las resistencias eléctricas y la aguja regulable del termómetro de contacto debe ser ajustada a 60°C para el aceite presente en el tanque.

Las bomba de vacío debe estar preparada para su uso.

Se abre la válvula No. 6 de la succión de gas de la bomba de vacío.

Se conecta la bomba de vacío.

Se observa que llegue a 11 psig y en ese momento cerrar la válvula no. 6.

Se toma la muestra de aceite y se mide su rigidez dieléctrica. Si no cumple con las normas se debe repetir el proceso.

Conectar la bomba de aceite nuevamente y recircular.

Si al comienzo, la bomba de aceite no aspira o aspira muy poco aceite del tanque de proceso, es necesario abrir, por breve tiempo, la válvula 6 de ventilación para bajar un poco el vacío.

A continuación se cierra nuevamente la válvula. El termómetro de contacto conecta y desconecta automáticamente la calefacción durante el servicio, impidiendo un sobrecalentamiento del aceite de transformador.

PUESTA FUERA DE SERVICIO

Desconectar, a mano la calefacción total.

Verificar que este realizada la conexión del tanque al transformador o en su defecto al recipiente donde se tendrá el aceite recuperado si se debe seguir con otro volumen de aceite sucio.

Cerrar la válvula de recirculación y abrir la válvula de descarga.

Como indicaciones importantes se debe tener en cuenta que la válvula de descarga de la bomba de vacío debe permanecer abierta siempre que la bomba se encuentre en servicio.

4.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO

GUIA PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS FILTROS

En caso de un ensuciamiento intenso del filtro grueso de aceite, el equipo debe ser puesto fuera de servicio, retirando la base del filtro para ser limpiado o en su defecto sustituido.

A fin de reconocer el momento para realizar la limpieza del filtro grueso de aceite, es necesario proveer la tubería de aspiración de aceite con un vacuo metro, colocado entre el filtro grueso de aceite y el calentador de aceite.

La limpieza del filtro debería realizarse en una depresión de aproximadamente 7.25psi. antes de la apertura del filtro, se quita el aceite, guiándolo a un cubo, mediante una manguera.

El filtro debe ser limpiado, al aumentar la presión en el filtro aproximadamente a 43.50psi.

Antes de la apertura del filtro sucio, se purga el aceite en un cubo, mediante un tubo flexible.

El filtro sucio puede ser limpiado con una presión máxima de aire comprimido de 14.504psi en contracorriente. El aire comprimido penetra desde adentro hacia fuera a través de los poros de las bujías de cerámica, de tal manera que el fango adherido en los lados, caiga en la caja del filtro.

Después de la limpieza, hay que cerrar primeramente el grifo de aire comprimido en el filtro. En caso de ser necesario este procedimiento puede ser repetido varias veces.

Si como consecuencia de no haberse realizado la limpieza en el momento correspondiente, se hubiera formado ya una costra dura en el filtro, entonces este debe ser desmontado y limpiado a mano. se puede realizar cepillando con aceite limpio.

GUIA PARA EL MANTENIMIENTO DE LA BOMBA DE VACIO

Es aconsejable cambiar el aceite de la bomba después de haber finalizado la evacuación de un sistema. El aceite utilizado en una bomba de vacío es de fundamental importancia para la máxima calidad de vacío alcanzable. Recorra siempre a aceites especialmente indicados para esta aplicación. (Baja presión) El tipo de aceite provisto con la bomba esta especialmente formulado para trabajar a alto vacío, manteniendo prestaciones de excelente viscosidad tanto a altas como a bajas temperaturas.

Si la bomba se le presenta

- a. Ruido inusual, las causas probables pueden ser: cojinetes del motor gastados, tornillos del motor flojos, acoplamiento defectuosos ,aceite contaminado, perdidas en conexiones. Soluciones: reemplace los cojinetes, ajuste los tornillos ajuste o reemplace los acoplamientos, reemplace o complete el nivel de aceite

- b. Temperatura elevada, la causa probable puede ser: bajo voltaje, cojinetes gastados, bajo nivel de aceite, aceite hidratado. Las soluciones pueden ser: revisar la tensión, reemplazar cojinetes gastados, completar el nivel de aceite, reemplazar aceite hidratado.

- c. Baja calidad de vacío final, las causas probables son: perdidas en el sistema, bajo nivel de aceite, aceite contaminado, modulo de bombeo gastado, entrada de aire por las conexiones entradas de aire por reten. Para solucionar se recomienda completar el nivel de aceite, reemplazar aceite, reemplazar el modulo de bombeo, verificar las entradas de aire.

- d. Perdidas de aceite, las posibles causas son: salida de aceite por la expulsión, salida de aceite por el reten, perdidas por la junta del carter, escape de presión del sistema a través de la bomba, bomba volcada.

Posibles soluciones a los problemas serian: nivel de aceite muy elevado, reemplazar el reten, ajustar tornillos o reemplazar juntas.

- e. Si la bomba no arranca, se debe a falta de suministro eléctrico, motor dañado. Para solucionarlo se debe revisar las conexiones, reemplazar el motor.

GUIA DE MANTENIMIENTO PARA LA BOMBA DE ACEITE

Las bombas rotatorias Tuthill's han ganado mucha aceptación en la industria para la lubricación, bajas presiones hidráulicas, transferencia, circulación entre otras aplicaciones. Diseñada con solo dos partes móviles, y sellos mecánicos, que garantizan su buen funcionamiento.

La eficacia de la bomba puede verse disminuida después de uso considerable. La eficacia de una bomba estropeada puede ser mejorada un poco quitando uno o más de las empaquetaduras de cabeza delgadas.

Desmontaje

Quite la bomba del motor.

Quite los cuatro tornillos y use tres como el guías.

Tire lentamente de la bomba que esta acoplada con el árbol del motor.

Quite la cabeza de la bomba.

Marque la cabeza, antes del desmontaje para asegurarse que se vuelven a montar apropiadamente.

Retire los empaques.

Retire el engranaje.

Retire el rotor de la carcaza.

Retire los sellos mecánicos.

Ensamble de la bomba

Para ensamblar este tipo de bomba se debe:

Instalar los sellos mecánicos.

Llenar los espacios entre los sellos mecánicos con grasa.

Instalar el rotor.

Instalar el engranaje.

Instalar los empaques.

La cabeza puede ser ensamblada en la bomba.

Revisar que haya ensamblado completamente.

Revisar que los tornillos ajusten igual que cuando se desensamblaron.

Ensamblar la bomba con el motor.

MANTENIMIENTO DEL TANQUE

Para realizar el mantenimiento del tanque basta con soplar aire por las tuberías para hacer un barrido del aceite que haya quedado en cualquier rincón del tanque. O hacer circular aceite limpio cada cierto periodo de uso.

4.3 MANUAL DE SEGURIDAD DEL EQUIPO

Para garantizar la seguridad de los operarios se recomienda:

De tener que realizar cualquier trabajo en los elementos eléctricos (resistencias), debe estar presente una segunda persona que en caso de emergencia pueda desconectar la tensión.

Todo trabajo de soldadura, oxicorte y rectificación que tengan que realizar al equipo, debe hacerse solamente previa autorización expresa obtenida al respecto. De tener que realizarse trabajos en locales poco espaciosos, debe cumplirse lo establecido por las respectivas normas nacionales colombianas al respecto.

Cualquier trabajo que tenga que realizarse en las tuberías, debe hacerse solamente por personas que dispongan de conocimiento y experiencias al respecto.

Deben revisarse periódicamente las tuberías, y uniones para comprobar si hay fugas y si tienen desperfectos que se puedan reconocer desde fuera.

Hay que proceder con el debido cuidado al manejar el aceite porque es combustible.

A la hora de tener que llevar a cabo trabajos de carga del equipo deben utilizarse solamente aquellos mecanismos de elevación y de recepción de carga adecuados.

No se debe tocar el tanque mientras este funcionando.

Realizar trabajos en lugares secos.

Utilizar zapatos para no hacer tierra con el equipo.

Revisar que el toma de la corriente se encuentre en buenas condiciones y que este presente salida a tierra.

Los equipos eléctricos del equipo deben someterse a inspección periódica. Cualquier defecto como elementos aflojados o cables quemados debe eliminarse sin demora.

BIBLIOGRAFÍA

BENLLOCH, José Maria, Los lubricantes. Características. Propiedades. Aplicaciones. Enciclopedia CEAC de electricidad. México: Limusa, 1989. 460 p.

CODIGO ASME, Pressure Vessel. General requirements for all methods of construction and all materials. Sección UG. 138 p.

CRANE. Flujo de fluidos en en válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill, 1987. 54 p.

DAGA, Pedro. Transformadores Convertidores. Enciclopedia CEAC de electricidad. México: Limusa, 1989. 320 p.

GALLO, Ernesto, Diagnostico y mantenimiento de transformadores en campo. Transequipos Ltda.. Bogotá: 1992. 59 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN .Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC., 1996.132 p. NTC. 1486

MEGYESY, Eugene F. Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo. México: Limusa, 1992. 482 p.

MILL, A. F. Transferencia de calor. Bogotá: McGraw-Hill/Irwin, 1999. 932p.

NYNAS Naphthenics AB, Manual de aceites de transformador. España: 2000. 64 p.

STREETER, Victor L. Mecanica de fluidos. México: 1997. 594 p.

www.tuthill.com. Guía para la selección de bombas de vacío

www.nynasnaftthenics.com. Guía para aceites minerales dieléctricos

Resistencias industriales Ltda.. e-mail: resista@epm.net.co

www.viking.com Manual técnico de servicio para bombas de aceite.