



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA**

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
III PROMOCIÓN**

TESIS DE GRADO MAESTRIA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**TEMA: “ESTUDIO Y SELECCIÓN DE UN FLUIDO TÉRMICO PARA
APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA
CON CONCENTRADORES PARABÓLICOS”**

**AUTORES: AGUILAR PARDO, ROBERTO EDUARDO
FERNÁNDEZ GUARNIZO, DIDIO GUSTAVO**

DIRECTOR: ING. MSC. IBARRA JACOME, OSWALDO ALEXANDER

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

El suscrito Ing. Oswaldo Alexander Ibarra Jácome MSc., con cedula de identidad No. 1719535427, en calidad de Director de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

CERTIFICA

Que el presente proyecto de grado que lleva como título, **“ESTUDIO Y SELECCIÓN DE UN FLUIDO TÉRMICO PARA APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CONCENTRADORES PARABÓLICOS”** realizado por los Ingenieros Roberto Eduardo Aguilar Pardo, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1712442282, y Didio Gustavo Fernández Guarnizo, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad No. 1103305346, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, III Promoción de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, 19 de mayo de 2015



ING. OSWALDO ALEXANDER IBARRA JACOME., MSc.

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**ROBERTO EDUARDO AGUILAR PARDO,
DIDIO GUSTAVO FERNANDEZ GUARNIZO**

DECLARAN QUE:

El proyecto de posgrado denominado “**ESTUDIO Y SELECCIÓN DE UN FLUIDO TÉRMICO PARA APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CONCENTRADORES PARABÓLICOS**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 19 de mayo de 2015



ING. ROBERTO E. AGUILAR P.



ING. DIDIO G. FERNANDEZ G.

AUTORES

AUTORIZACIÓN

Nosotros,

ROBERTO EDUARDO AGUILAR PARDO,
DIDIO GUSTAVO FERNANDEZ GUARNIZO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el trabajo titulado “**ESTUDIO Y SELECCIÓN DE UN FLUIDO TÉRMICO PARA APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CONCENTRADORES PARABÓLICOS**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 19 de mayo de 2015



ING. ROBERTO E. AGUILAR P.



ING. DIDIO G. FERNANDEZ G.

AUTORES

DEDICATORIA

*A Dios y a la Virgen Santísima,
a mis Padres y hermanos por su inmenso amor y dedicación.*

A mi esposa, por su paciencia.

Roberto Aguilar

Mayo, 2015

Este Trabajo lo dedico a Dios, que es la fuerza que me impulsa todos los días.

A mi esposa Claudia, que representa la fortaleza que sostiene.

A mis hijos Nicole, Camilita y Pablito, mi alegría diaria

A mis padres Didio y Judith, que siempre me brindan su apoyo incondicional.

Didio Fernández

Mayo, 2015

AGRADECIMIENTOS

**A Dios,
A la Escuela de las Fuerzas Armadas,
A Alex Ibarra y José Guasumba.**

*Roberto Aguilar
Didio Fernández*

Mayo, 2015

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
INDICE DE CONTENIDO	vii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 GENERAL	3
1.3.2 ESPECÍFICOS	4
1.4 ALCANCE	4
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 RADIACIÓN SOLAR.....	5
2.2 APROVECHAMIENTO SOLAR.....	6
2.2.1 SISTEMAS PASIVOS	6
2.2.2 SISTEMAS ACTIVOS	7
2.3 EN FUNCION DEL INDICE DE CONCENTRACION.....	7
2.4 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FLUIDO.....	12
2.5 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO	12
2.5.1 EN CCP	13
2.5.2 SISTEMA DE RECEPTOR CENTRAL CON CAMPO DE HELIOSTATOS.....	13
2.5.3 SISTEMAS DE DISCO PARABÓLICO	13

2.6	COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS CCP	14
2.6.1	COMPONENTES	15
2.7	EXPERIENCIAS DE PLANTAS TERMOSOLARES CON CCP INSTALADAS A NIVEL MUNDIAL.....	20
CAPÍTULO 3		31
FLUIDOS TÉRMICOS.....		31
3.1	AGUA	31
3.2	ACEITE TÉRMICO.....	32
3.2.1	ACEITES MINERALES.....	32
3.2.2	ACEITES SINTÉTICOS.....	39
3.3	SALES FUNDIDAS	47
3.4	SODIO LÍQUIDO	49
3.5	AGUA – VAPOR.....	49
3.6	GASES A PRESION	51
3.7	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE FLUIDOS	51
3.7.1	FLUIDO TÉRMICO EN COMPARACIÓN CON EL AGUA.....	51
3.7.2	ACEITE SINTÉTICO EN COMPARACIÓN CON EL ACEITE MINERAL.....	52
3.7.3	ACEITE SINTÉTICO EN COMPARACIÓN CON OTROS FLUIDOS	53
3.7.4	AGUA – VAPOR EN COMPARACIÓN CON FLUIDO TÉRMICO	53
3.8	SELECCIÓN DEL ACEITE TÉRMICO.....	54
3.9	ACEITES VEGETALES COMO ALTERNATIVA AL FLUIDO DE TRABAJO	56
CAPÍTULO 4		57
ANÁLISIS DE RESULTADOS CON ACEITES VEGETALES COMESTIBLES		57
4.1	PROTOTIPO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS	58
4.2	PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y PRESIÓN.....	60
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE CALENTAMIENTO.....	61
4.3.1	ACEITE MARCA “SABROSÓN”	62
4.3.2	ACEITE DE GIRASOL	67
4.3.3	ACEITE VIVI SOYA	72
4.3.4	ACEITE TEGRA ISO 68.....	77
4.4	CARACTERIZACIÓN DE RESULTADOS	79
4.5	ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO.....	82
4.6	PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LABORATORIO.....	83
4.7	RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO	85

CAPÍTULO 5	90
DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	90
5.1 BOMBA DE RECIRCULACIÓN	92
5.1.1 VELOCIDAD DEL FLUIDO, CAUDAL Y NÚMERO DE REYNOLDS	93
5.1.2 PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS, TUBERÍAS Y EN INTERCAMBIADOR:.....	96
5.2 CÁLCULO BOMBA DE ALIMENTACIÓN:	104
5.3 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE EXPANSIÓN	106
CAPÍTULO 6	112
ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN	112
6.1 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO PARA CALENTAMIENTO DE MUESTRAS	112
6.1.1 SISTEMA DE MEDICIÓN Y AUXILIARES	113
6.2 COSTOS DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES	114
6.3 COSTOS DE LOS ENSAYOS EN LABORATORIO	115
6.4 COSTOS VARIOS	116
CAPÍTULO 7	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
7.1 CONCLUSIONES	118
7.2 RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:	121
ANEXOS	124
ANEXO 1 TEXATHERM 46.....	125
ANEXO 2 SHELL THERMIA	129
ANEXO 3 MOBILTHERM 600.....	133
ANEXO 4 THERMINOL VP-1.....	135
ANEXO 5 SYLTHERM 800	140
ANEXO 6 DOWTHERM A	142
ANEXO 7 TEGRA SYNTHETIC	144

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los sistemas solares térmicos en función de la concentración.....	8
Figura 2. Concentrador Tipo Cilindro Parabólico.....	9
Figura 3. Colector demostración Fresnel lineal MAN, en la plataforma Solar de Almería (PSA).....	9
Figura 4. Sistema de Receptor central.....	10
Figura 5. Concentrador Tipo Disco Parabólico.....	10
Figura 6. Principio de funcionamiento y componentes de un CCP.	14
Figura 7. Sección transversal de la estructura del diseño LS-2 y LS-3.....	15
Figura 8. Colector de Sener en la Planta Andasol-1.	16
Figura 9. Componentes del Tubo Receptor.....	17
Figura 10. Diferentes tipos de mecanismos de accionamiento.	18
Figura 11. Componentes del Tubo Receptor.....	19
Figura 12. Componentes del concentrador cilindro parabólico.	19
Figura 13. Una de las centrales SEGS en el desierto de Mojave en California.	21
Figura 14. Planta Solar Andasol 1.....	23
Figura 15. Plantas Solares Andasol 1 y 2.....	23
Figura 16. Planta Solar Puerto Llano.	24
Figura 17. Planta Solar Nevada Solar One.....	25
Figura 18. Planta Solar Solnova.....	26
Figura 19. Plantas Solares Helioenergy 1 y 2.	26
Figura 20. Planta Solar El Carpio.	27
Figura 21. Plantas Solares Helios 1 y 2.....	28
Figura 22. Plantas Solares Solaben 2, 3, 1, 6.	28
Figura 23. Planta Gas - Solar Hassi R´Mel.....	29
Figura 24. Planta Solar Shamn-1.	30
Figura 25. Planta Solar Solana.	30
Figura 26. Variación de la densidad del Shell Thermia B y del Texatherm 46 con la temperatura.....	38

Figura 27. Variación del calor específico del Shell Thermia B y del Texatherm 46 con la temperatura.	38
Figura 28. Variación de la conductividad térmica del Shell Thermia B y del Texatherm 46 con la temperatura.	39
Figura 29. Variación de la densidad con la temperatura.	45
Figura 30. Variación del calor específico con la temperatura.	45
Figura 31. Variación de la conductividad térmica con la temperatura.	46
Figura 32. Variación de la viscosidad con la temperatura.	46
Figura 33. Propiedades físicas de la sal fundida Hitec XL, junto con las del aceite Therminol VP1 – Calor Específico.	48
Figura 34. Propiedades físicas de la sal fundida Hitec XL, junto con las del aceite Therminol VP1 - Densidad	48
Figura 35. Propiedades físicas de la sal fundida Hitec XL, junto con las del aceite Therminol VP1 – Conductividad térmica.	49
Figura 36. Bosquejo de equipo calentador de muestras de aceite.	59
Figura 37. Equipo construido para el calentamiento de aceite.	60
Figura 38. Presentación en funda de ½ litro de aceite “Sabrosón”.	62
Figura 39. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite marca “Sabrosón”.	66
Figura 40. Aceite sabrosón antes y después del calentamiento.	66
Figura 41. Aceite Girasol.	67
Figura 42. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite de Girasol.	71
Figura 43. Aceite Girasol antes y después del calentamiento.	71
Figura 44. Aceite Vivi soya.	72
Figura 45. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite de Vivi Soya.	76
Figura 46. Aceite Vivi Soya antes y después del calentamiento.	76
Figura 47. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite Tegra 68.	78
Figura 48. Aceite Tegra 68 antes y después del calentamiento.	79

Figura 49. Variación de la presión vs temperatura de los tres aceites comestibles y un aceite sintético en el primer mes de calentamiento.	80
Figura 50. Variación de la presión vs temperatura de los tres aceites comestibles y un aceite sintético en el segundo mes de calentamiento.	81
Figura 51. Ecuaciones polinómicas de los aceites sabrosón y girasol.	82
Figura 52. Equipos de laboratorio	84
Figura 53. Pesaje de muestra de aceite a ser calentada.	85
Figura 54. Relación Temperatura - densidad del aceite sabrosón.....	87
Figura 55. Relación 1/T versus viscosidad del aceite	88
Figura 56. Prototipo de central termo solar, ubicado en la terraza del laboratorio de energías renovables de la ESPE – Sangolquí.	90
Figura 57. Dimensiones y distribución de los 18 CCP del prototipo de central termo solar.....	91
Figura 58. Dimensiones del campo solar por tramos.....	96
Figura 59. Diagrama de Moody: Factor de fricción f para tubería de 25.4 mm a 150°C.....	97
Figura 60. Diagrama de Moody: Factor de fricción f para tubería de 32mm a temperatura de 150°C.....	98
Figura 61. Nomogramas de la longitud equivalente de elementos singulares	102
Figura 62. Selección de la bomba considerando la curva de rendimiento.	106
Figura 63 Dimensiones del intercambiador de calor.....	110
Figura 64. Dimensiones de tanque de expansión.	111
Figura 65. Cilindro para calentamiento de muestras de aceite.....	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características principales de las diferentes centrales termo solares.....	11
Tabla 2 Características básicas de las plantas SEGS-I a SEGS-IX	22
Tabla 3 Características típicas del aceite Texatherm 46	35
Tabla 4 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura.....	35
Tabla 5 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura (SI Unidades).....	35
Tabla 6 Características típicas del aceite Shell Thermia B	36
Tabla 7 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura.....	36
Tabla 8 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura (SI Unidades).....	37
Tabla 9 Características típicas del aceite Mobiltherm 605	37
Tabla 10 Características típicas del aceite Therminol VP-1	42
Tabla 11 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura, fase líquida	42
Tabla 12 Características típicas del aceite Syltherm 800.....	43
Tabla 13 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura, fase líquida	43
Tabla 14 Características típicas del aceite Dowtherm A	44
Tabla 15 Propiedades físicas y térmicas versus temperatura, fase líquida	44
Tabla 16 Comparación de diversos fluidos de trabajo alternativos al aceite térmico.....	53
Tabla 17 Productores de aceites de cocina.....	58
Tabla 18 Presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, primer mes de calentamiento.....	63
Tabla 19 Presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, segundo mes de calentamiento.....	64
Tabla 20 Promedio de Presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, primer mes de calentamiento.....	65
Tabla 21 Promedio de presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, segundo mes de calentamiento	65
Tabla 22 Presión a diferentes temperaturas del aceite Girasol, primer mes de calentamiento.....	68
Tabla 23 Presión a diferentes temperaturas del aceite Girasol, segundo mes de calentamiento.....	69

Tabla 24 Presión a diferentes temperaturas del aceite girasol, primer mes de calentamiento.....	70
Tabla 25 Presión a diferentes temperaturas del aceite Girasol, segundo mes de calentamiento.....	70
Tabla 26 Presión a diferentes temperaturas del aceite Vivi soya, primer mes de calentamiento.....	73
Tabla 27 Presión a diferentes temperaturas del aceite Vivi soya, segundo mes de calentamiento.....	74
Tabla 28 Presión a diferentes temperaturas del aceite Vivi soya, primer calentamiento.....	75
Tabla 29 Presión a diferentes temperaturas del aceite vivi soya, segundo mes de calentamiento.....	75
Tabla 30 Características típicas del aceite Tegra Iso 68	77
Tabla 31 Presión a diferentes temperaturas del aceite Tegra 68, primer mes de calentamiento.....	77
Tabla 32 Presión a diferentes temperaturas del aceite Tegra 68, segundo mes de calentamiento.....	78
Tabla 33 Valores de densidad de las muestras de aceite.....	86
Tabla 34 Densidad y viscosidad del aceite sabrosón proyectada.....	89
Tabla 35 Variación de Re con diámetro de tubería de 0.0254 m (1”) de acuerdo a la temperatura	94
Tabla 36 Número de Reynolds para el aceite sabrosón para tubería de diámetro interno = 0.0254 m y 0.032 m a diferentes temperaturas	95
Tabla 37 Longitud total de tubería en el campo solar	99
Tabla 38 Número de accesorios utilizados en la planta	101
Tabla 39 Perdidas de carga en accesorios	103
Tabla 40 Longitud de tubería en el intercambiador	103
Tabla 41 Densidad del aceite sabrosón a 20°C y 300°C.....	108
Tabla 42 Volumen de aceite en tuberías del campo solar	109
Tabla 43 Costos de fabricación del prototipo para calentamiento de muestras	112
Tabla 44 Costos de implementación de equipos	113
Tabla 45 Costos de ensayos experimentales	114

Tabla 46 Costos de ensayos en laboratorio	115
Tabla 47 Costos varios	1166
Tabla 48 Costos totales de la investigación	116

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se realizó la selección de los fluidos térmicos que se pueden emplear en una central termosolar con colectores cilindro parabólicos (CCP), específicamente para un prototipo comprendido de 18 receptores parabólicos, distribuidos en tres filas en paralelo de 6 receptores en serie cada uno, mediante experiencias obtenidas en otras plantas termosolares que se encuentran actualmente en funcionamiento, además se realizó análisis experimentales a cuatro tipos de aceites que se encuentran disponibles en el país, tres de ellos son aceites comestibles y uno es aceite sintético industrial, el tiempo de análisis con los aceites ha sido realizado durante dos meses, las pruebas consistieron en incrementar la temperatura, partiendo de temperatura ambiente 20°C hasta 250°C, para esto se construyó un prototipo para poder elevar la temperatura del aceite, en los cuales se obtuvieron valores de presión y densidad. Con los valores obtenidos se realizó el análisis y presentación de resultados de la investigación y posteriormente el dimensionamiento de la bomba de circulación y tanque de expansión, para finalizar con conclusiones y recomendaciones del proyecto.

PALABRAS CLAVE:

- **CENTRALES TERMOSOLARES,**
- **CONCENTRADOR CILÍNDRICO PARABÓLICO,**
- **FLUIDO TÉRMICO,**
- **HTF.**

ABSTRACT

In this research project the selection of thermal fluids that can be used in a solar power plant with parabolic trough collectors (CPC), specifically for a parabolic understood prototype 18 receivers, distributed in three parallel rows 6 receptors was carried out in series each, using experience gained in other solar thermal plants are currently in operation, in addition experimental analyzes four types of oils that are available in the country took place, two of them are edible oils and two are industrial synthetic oils, analysis time with oils has been performed for two months, the tests consisted of raising the temperature starting from room temperature 20 ° C to 250 ° C, for this prototype in order to raise the oil temperature was constructed, in which values of pressure, density, flash point is obtained and boiling, with the obtained values the analysis and presentation of research results and then sizing the circulation pump to finish with conclusions and recommendations of the project was completed.

KEY WORDS:

- **SOLAR THERMAL POWER PLANTS,**
- **CYLINDRICAL PARABOLIC CONCENTRATOR,**
- **THERMAL FLUID,**
- **HTF.**

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE UN FLUIDO TÉRMICO PARA APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR DE MEDIA TEMPERATURA CON CONCENTRADORES PARABÓLICOS

Los procesos de generación de energía eléctrica se los realiza normalmente utilizando recursos fósiles que no son renovables y además son contaminantes, tales como bunker, diésel, es por este motivo que una alternativa es emplear como combustible la energía solar a través de su aprovechamiento en sistemas de concentración, para el caso de este proyecto se lo realiza mediante captadores cilindro parabólicos, para que calienten un fluido de trabajo denominado fluido caloportador o fluido térmico, el cual pasa por un intercambiador de calor pudiendo ser aprovechado como trigeneración (trabajo mecánico, frío, calor) según sea la necesidad, y ser instalado en diversas localidades del país. En este proyecto de investigación se analizan los fluidos térmicos que actualmente se encuentran instalados y en funcionamiento en diversas centrales termosolares a nivel mundial, para poder seleccionar el fluido más idóneo que puede ser aplicado en un prototipo de central termosolar con concentradores cilindro parabólicos de media temperatura, ubicado en la ESPE Sangolquí, conformada por una estructura de 18 captadores formados en tres filas en paralelo de 6 captadores en serie cada uno, en donde se manejaran temperaturas que puedan alcanzar hasta los 250°C, para esto se presenta el siguiente trabajo que se encuentra dividido en varios capítulos, en el Capítulo 1 se describen las generalidades del proyecto presentando antecedentes, definición del problema, objetivos, alcance y justificación e importancia de la investigación, en el Capítulo 2 se presenta el estado del arte de centrales termosolares utilizando colectores cilindro parabólicos y teoría del aprovechamiento solar, en el Capítulo 3 se realiza el estudio de los fluidos térmicos y la selección, en el Capítulo 4 se presenta el análisis de resultados de ensayos realizados con tres aceites vegetales comestibles y un aceite sintético, en el Capítulo 5 se presenta el dimensionamiento del sistema hidráulico, en el Capítulo 6 se genera el análisis de costos y finalmente en el Capítulo 7 se presentan conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

A partir de la crisis energética de 1972 debido al incremento repentino del precio del petróleo, muchos países tomaron como política de estado el fomentar y aplicar energías renovables tanto para el sector industrial como para la comunidad. Dentro de éste ámbito se han realizado implementaciones de grandes, pequeñas y medianas centrales para aprovechamiento de la energía solar térmica de media y alta temperatura utilizando fluidos térmicos como: agua, aceite térmico, sales fundidas, vapor sobrecalentado.

Las plantas con colectores cilindro parabólicos (CCP) son las que cuentan actualmente con una mayor experiencia comercial, gracias a las nueve plantas SEGS (Solar Electricity Generating Systems) actualmente en operación en el desierto de Mojave California - Estados Unidos, con sus más de 2,5 millones de metros cuadrados de CCP, son el mejor ejemplo del estado del arte de esta tecnología. Con una capacidad de producción en régimen comercial de 354 MWe, las plantas SEGS han acumulado una gran experiencia en el diseño e implementación de este tipo de centrales.

La primera planta termosolar conectada a la red se llamó “SEGS I” y entró en operación en el año 1984, con una potencia nominal de 13.8MWe, el campo de

colectores se encontraba en un área aproximada de 82969m², compuesta por 560 colectores, instalados en 140 filas paralelas

Luego en 1992 el precio de la electricidad baja en EEUU, y no se construyó ninguna central durante aproximadamente dieciseis años, hasta que Solargenix junto con Acciona ponen en operación la planta solar Nevada Solar One con 64 MW, ubicada en Nevada Estados Unidos en el año 2007. Y luego hasta finales del año 2012 ya se encontraban en operación 53 centrales termosolares (Zarza E. , 2013). Este elevado número de centrales hace que el riesgo tecnológico sea menor que en las otras tecnologías.

En lo referente a la tecnología de concentración desarrollados en el Ecuador, en el laboratorio de Energías Renovables de la ESPE - Sangolquí, concretamente en el año 2005, se implementó una pequeña cocina solar con concentradores parabólicos, la cual utilizaba aceite térmico como fluido de trabajo. Posteriormente en el año 2008 se implementa un concentrador parabólico de revolución para concentrar la radiación solar en un foco por donde circula aceite térmico en un intercambiador de calor de forma espiral

Con estos antecedentes se pretende desarrollar como parte del “Mega proyecto de investigación y desarrollo de aplicaciones de la energía solar térmica de media y alta temperatura para trigeneración utilizando sistemas de concentración” un estudio de los fluidos térmicos disponibles en el país, y que se puedan incorporar al prototipo de una central termosolar con concentradores cilindro parabólicos, que facilite mejores prestaciones para la investigación y el desarrollo de aplicaciones para beneficio de las comunidades Ecuatorianas.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el desarrollo de las energías renovables en el área de sistemas de concentración solar en el país es incipiente, a diferencia de otros países en los cuales utilizan esta tecnología para la generación de electricidad a gran escala a través de

plantas termosolares. Esta tecnología tiene un gran interés social, económico y ambiental, al encontrar la viabilidad necesaria por el gran potencial solar que existe en la región.

Para que en el país esta alternativa energética tenga un auge comercial, es necesario contribuir y profundizar las investigaciones en el campo de la concentración de la energía solar. Ante esto es necesario dar el primer paso en el diseño y construcción de prototipos que deben estar orientadas al aprovechamiento de la energía solar, la concentración de la radiación solar y su conversión en energía térmica para producir energía mediante ciclos termodinámicos.

Para cumplir con este cometido en esta tesis se estudian los fluidos caloportadores o conocido también como tecnología HTF, existente en el medio y así lograr un adecuado uso y manejo de los propios recursos.

El principal problema en cuanto a los fluidos térmicos es encontrar un fluido que pueda ser operado a temperaturas superiores a los 200°C, manteniéndose estable térmicamente, debido a la degradación parcial que sufren los aceites y al riesgo de incendio que conlleva de producirse fugas cuando están calientes.

En la presente investigación se va a determinar el fluido que permita trabajar en el prototipo de central termo solar con concentradores cilindro parabólicos, cuya temperatura oscile un rango de 150°C a 250°C, sin riesgo de congelamiento ni de inflamación del fluido.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Investigar los fluidos térmicos existentes en el medio y seleccionar el más idóneo para su aplicación en una central solar térmica de media temperatura.

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Realizar pruebas experimentales a fluidos existentes en el país, para determinar la factibilidad de su uso en centrales termosolares prototipo.
- Determinar la metodología de operación del fluido para la aplicación en la planta solar térmica de media temperatura.
- Realizar el dimensionamiento del sistema hidráulico para circulación del fluido térmico en el prototipo de concentrador cilindro parabólico.

1.4 ALCANCE

A través de análisis de laboratorio determinar la posibilidad de utilizar aceite comestible como fluido caloportador e indicar el fluido térmico que cumpla con los requerimientos energéticos de manera eficiente en la captación y transferencia de calor en el prototipo de la central térmica solar de media temperatura.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

Siendo la radiación solar una fuente de energía renovable e inagotable y de gran incidencia en el Ecuador, es necesario aprovechar este recurso mediante la construcción de plantas solares fotovoltaicas y térmicas de media y alta temperatura. En lo referente a este último, uno de los componentes principales en el dimensionamiento y aplicación de plantas solares térmicas es el fluido de proceso, por esta razón es necesaria la investigación sobre materiales térmicos presentes en el medio que permitan maximizar el aprovechamiento de la energía solar captada mediante concentradores solares.

Es necesario indicar que el fluido térmico debe cumplir con algunas condiciones de mercado como son: disponibilidad, costo, eficiencia de almacenamiento de energía, fácil manejo y de bajo impacto ambiental. Además se deben considerar algunas características propias del fluido como son: coeficiente de expansión, viscosidad, capacidad térmica, punto de congelación y punto de inflamación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo, se introducen conceptos básicos de la energía solar y del tipo de sistemas de centrales termosolares desarrolladas hasta el momento, para un mejor entendimiento del trabajo de investigación, ya que en este trabajo se presenta tan solo un componente (fluido térmico) que forma parte de un gran sistema como es una central termo solar de media temperatura.

2.1 RADIACIÓN SOLAR

Se considera al sol como un cuerpo negro que radia energía a temperatura aproximada de 5780K, y su energía en forma de radiación mantiene casi en su totalidad la vida en la Tierra. (Montes, 2008)

No toda la radiación solar que incide sobre la atmósfera llega a la superficie terrestre, debido a los fenómenos físicos generados por la atmósfera, tales como: (AVEN, 2009)

Reflexión: Una parte de la radiación es reflejada en la parte superior de las nubes.

Difusión: Los rayos solares chocan con las moléculas gaseosas y partículas de polvo difundiéndose en todas direcciones, de forma que una parte vuelve al espacio.

Absorción: Una parte de la radiación es absorbida por las moléculas presentes en la atmósfera.

De tal forma que en la superficie terrestre se tendrá la radiación global (H_g) formada por las siguientes componentes:

- a. **Radiación Directa (H_b):** Es la proveniente directamente del sol sin perturbaciones o alteraciones, suponiéndose alrededor del 90% en días soleados.
- b. **Radiación Difusa (H_d):** Es la que se encuentra dispersada debido a los componentes atmosféricos.
- c. **Radiación Reflejada (H_r):** Conocida también como “albedo”, es aquella radiación reflejada en el suelo y otros elementos de la superficie terrestre.

2.2 APROVECHAMIENTO SOLAR

El aprovechamiento de la energía solar por medio de su captación puede dividirse en dos sistemas:

2.2.1 SISTEMAS PASIVOS

No necesita ningún tipo de dispositivo para captar la energía solar, únicamente se lo hace aplicando elementos arquitectónicos, se introduce el concepto de arquitectura bioclimática en el diseño de edificaciones para aprovechar al máximo los recursos disponibles tales como el sol, viento, y otros, para reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental.

Un diseño pasivo es un sistema que capta la energía solar, la almacena y la distribuye de forma natural, sin necesidad de elementos mecánicos. Sus principios están basados en las características de los materiales empleados y en la utilización de fenómenos naturales de circulación del aire. Los elementos básicos usados por la arquitectura solar pasiva son:

- **Acristalamiento:** capta la energía solar y retiene el calor, creando el efecto invernadero.
- **Masa térmica:** constituida por los elementos estructurales del edificio o por algún material acumulador específico (agua, tierra, piedras). Tiene como misión almacenar la energía captada.

Las aplicaciones más importantes de los sistemas solares pasivos son la calefacción y la refrigeración. En estos sistemas las temperaturas de almacenamiento son usualmente menores a 40°C, es necesario conocer las propiedades de los materiales como la densidad y el calor específico para aprovechar los recursos disponibles.

2.2.2 SISTEMAS ACTIVOS

Son aquellos en los que se necesita de dispositivos llamados colectores para captar la radiación solar, dentro de esta clasificación la energía solar puede ser aprovechada principalmente de dos maneras, la primera es en función del efecto fotoeléctrico, con el que se consigue generar electricidad directamente a través de paneles fotovoltaicos. La segunda forma de aprovechamiento es transformar la energía radiante procedente del sol en energía térmica, utilizada para el calentamiento de algún fluido.

Dentro del aprovechamiento solar térmico se pueden obtener varias clasificaciones, en función del índice de concentración, de la temperatura del fluido, del tipo de fluido, etc.

2.3 EN FUNCION DEL INDICE DE CONCENTRACION

La concentración de la radiación solar se consigue con dispositivos ópticos, generalmente conocidos como colectores de concentración, que constan de un concentrador y de un receptor, el factor o razón de concentración normalmente

denominado con la letra “C”, se define como el cociente entre el área de apertura del concentrador y el área de absorción del receptor (Paredes, 2012)

$$C = \frac{\text{Área de apertura}_{\text{del concentrador}}}{\text{Área de absorción}_{\text{del receptor}}} \quad (1)$$

Dónde:

C Razón de concentración (adimensional);

Área de apertura, m²;

Área de absorción, m².

El concentrador es el sistema óptico, que dirige o refleja la radiación hacia el receptor.

El receptor, es el elemento donde la radiación es absorbida y se convierte en energía térmica o química.

A continuación se presenta un esquema de la clasificación de los colectores solares en función de la concentración “C”.

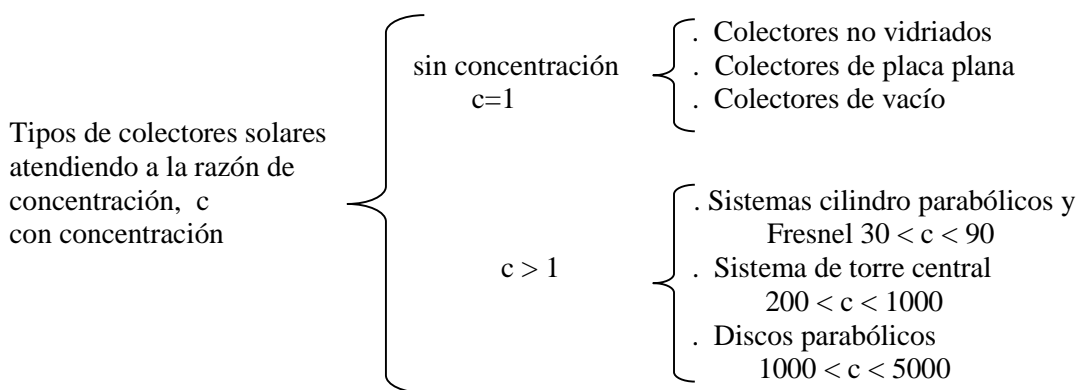


Figura 1. Clasificación de los sistemas solares térmicos en función de la concentración.

Fuente: (Muñoz, 2008)

De la figura anterior se puede mencionar que, generalmente se diseñan los colectores sin concentración $C=1$, para aplicaciones de baja temperatura (de 100 a 130C), son sistemas que no presentan complejidad en la parte mecánica ya que no necesitan de

seguimiento de la trayectoria solar y se puede aprovechar la radiación directa y la radiación difusa. Para los sistemas con concentración mayor a uno $C > 1$, se tiene:

- a. **Sistemas cilindro parabólicos** consisten en espejos cilíndricos cuya sección transversal es una parábola, permitiendo que la radiación solar se concentre en el eje focal. Se consiguen razones de concentración entre 30 y 90.



Figura 2. Concentrador Tipo Cilindro Parabólico.
Fuente: (Briceño, 2011).

- b. **Concentradores lineales tipo Fresnel** tiene seguimiento en un solo eje, el absorbedor se encuentra fijo en el espacio, en la zona focal. Utiliza reflectores planos, simulando un espejo curvo por variación del ángulo ajustable de cada fila individual de espejos, en relación con el absorbedor, su valor de concentración está de 30 a 90.



Figura 3. Colector demostración Fresnel lineal MAN, en la plataforma Solar de Almería (PSA).

Fuente: (PSA, 2015).

- c. **Los sistemas de torre central** están formados por espejos casi planos denominados helióstatos, distribuidos en una superficie horizontal, e inclinados de tal forma que reflejen la radiación solar hacia la parte superior de la torre, donde generalmente se coloca el receptor. Tiene seguimiento solar en dos ejes, los factores de concentración que se consiguen en este caso oscilan entre 200 y 1000.



Figura 4. Sistema de Receptor central.
Fuente: (Briceño, 2011).

- d. **Los discos parabólicos** son espejos tipo paraboloide de revolución, que se mueven de forma que siempre están orientados al Sol. se consiguen razones de concentración más altas, entre 1000 y 5000. (Paredes, 2012)



Figura 5. Concentrador Tipo Disco Parabólico.

Fuente: (Briceño, 2011).

Los cuatro tipos de sistemas solares térmicos de concentración descritos anteriormente han sido probados y su viabilidad técnica ha sido demostrada en distintos proyectos experimentales y comerciales, contándose con experiencias de referencia en todas estas tecnologías en las instalaciones que el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) posee en la Plataforma Solar de Almería (PSA), y en otros centros públicos de investigación, como Sandia National Laboratories (Estados Unidos). (Zarza E. , 2013)

A continuación se presenta una tabla resumen comparativa de las tecnologías mencionadas.

Tabla 1

Características principales de las diferentes centrales termosolares

Tipo de Central	CCP	Receptor Central	Discos Parabólicos	CLF
Potencia unitaria	15–200 MW	15–150 MW	3–25 kW	15–200 MW
Temperatura de Operación	395°C	550°C	650°C	390°C
Eficiencia Pico (solar-eléctrica)	20%	23%	30%	18%
Eficiencia Neta anual	11-16%	7-20%	12-25%	12%
Estado comercial	Disponible	Disponible	Prototipos	Disponible
Riesgo Tecnológico	Bajo	Medio	Alto	Medio
Almacenamiento disponible	Si	Si	No	Si
Posibles diseños híbridos	Si	Si	Si	Si
Costo W instalado (€/W)	4 – 6	4 – 6	9 – 11	3 – 4

Fuente: (Zarza E. , 2013)

Las únicas tres plantas comerciales de receptor central que existían en funcionamiento a finales del año 2012 eran españolas: PS-10 (10 MWe), PS-20 (20 MWe) propiedad de Abengoa, y la planta GEMASOLAR (19,9 MWe) de TORRESOL Energy.

2.4 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FLUIDO

Esta clasificación se obtiene de la temperatura del fluido transportador que se mueve a través del receptor, pudiendo ser de baja media y alta temperatura. (Paredes, 2012) (Muñoz, 2008)

Baja Temperatura (30 a 130C): Estos sistemas tienen un índice de concentración igual a uno $C=1$, su funcionamiento se basa en el aprovechamiento de la radiación directa y de la radiación difusa, sus aplicaciones básicamente están dirigidos a calentamiento de agua sanitaria, calefacción, piscinas, labores de secado y mas.

Media Temperatura (100 a 400C): Estos sistemas tienen el índice de concentración entre 30 y 90, se basan principalmente en concentradores lineales tipo Fresnel y colectores cilíndrico parabólicos, siendo esta última la que actualmente se encuentra más desarrollada, se utiliza principalmente en procesos industriales, refrigeración, procesos químicos, desalinización.

Alta Temperatura (400 a 3000C): Estos sistemas tienen el índice de concentración entre 200 y 5000, los sistemas de torre central están constituidos por espejos levemente convexos, denominados helióstatos, que reflejan la radiación solar hacia la parte superior de la torre donde se ubica al receptor, el factor de concentración se encuentra entre 200 y 1000. Mientras que los discos parabólicos son espejos tipo paraboloide de revolución que siempre se encuentran orientados hacia el sol, se obtienen factores de concentración entre 1000 y 5000.

2.5 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE FLUIDO

El tipo de fluido de trabajo utilizado depende de la tecnología con la que se trabaje y de la temperatura a la que se desee alcanzar.

2.5.1 EN CCP

Si las temperaturas que se desean son moderadas ($<175^{\circ}\text{C}$) se puede utilizar agua desmineralizada como fluido de trabajo al no tener grandes problemas, ya que la presión de trabajo no es excesiva. En cambio, se utiliza aceite sintético en aquellas aplicaciones donde se desean temperaturas más altas ($125^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$).

2.5.2 SISTEMA DE RECEPTOR CENTRAL CON CAMPO DE HELIOSTATOS

En los sistemas desarrollados en España, dentro de las instalaciones que CIEMAT tiene en la Plataforma Solar de Almería, los fluidos térmicos utilizados en el receptor han sido sodio líquido, vapor saturado o sobrecalentado, sales de nitratos fundidas y aire (Romero, s.f.), en este tipo de sistemas se puede llegar a temperaturas de 1000°C siendo por lo general la temperatura de operación promedio de 600°C .

2.5.3 SISTEMAS DE DISCO PARABÓLICO

Habitualmente, se usan dos métodos para la transferencia de la radiación solar al gas de trabajo. En el primero se ilumina directamente un panel de tubos por el interior de los cuales circula el gas que suele ser helio, hidrógeno o aire. En el segundo método, se utiliza el concepto de tubo de calor o heat pipe, vaporizándose un metal líquido (normalmente sodio) que luego condensa en la superficie de los tubos por los que circula el gas de trabajo y refluye nuevamente al absorbedor. (Romero, s.f.)

Esto permite alcanzar muy altas temperaturas de operación entre 650 y 800°C , dando lugar a eficiencias en el motor Stirling del orden del 30 al 40 %.

2.6 COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS CCP

Los colectores cilindro parabólicos, permite reflejar la radiación solar incidente sobre una superficie reflectante en forma de parábola, denominada “concentrador”, hacia un tubo absorbente de menor dimensión denominado “receptor”, ubicado en la línea focal de la parábola, permitiendo concentrar la radiación solar a lo largo de un eje.

La radiación concentrada sobre el tubo absorbente hace que el fluido que circula por su interior se caliente, transformando de esta forma la radiación solar en energía térmica, en forma de calor sensible o latente del fluido. (Romero, s.f.)

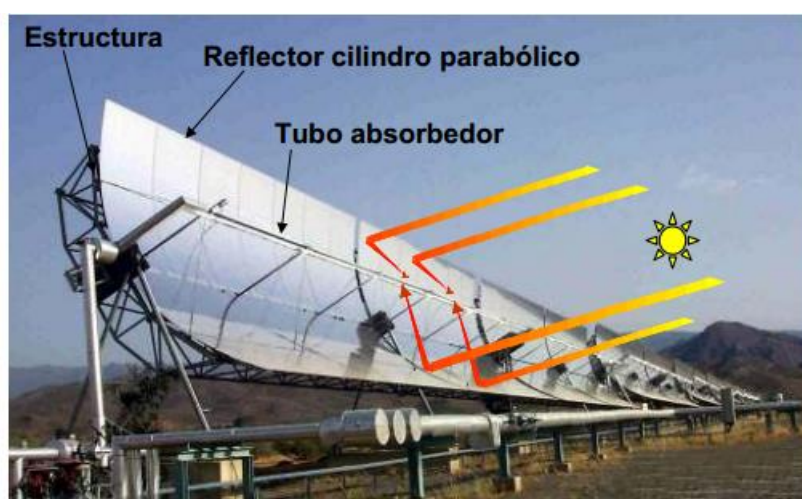


Figura 6. Principio de funcionamiento y componentes de un CCP.

Fuente: (Zarza E. , Generación directa de vapor con colectores solares cilindro parabólicos Proyecto (DISS), 2003).

Los colectores cilindro parabólicos (CCP) son captadores solares de concentración, que calientan al fluido de trabajo hasta temperaturas aproximadas a los 400°C, por tal motivo se denominan colectores solares de media temperatura. (Paredes, 2012)

2.6.1 COMPONENTES

- **Cimentación y Estructura Soporte**

La cimentación es construida principalmente de hormigón armado, con la función de permitir soportar y fijar la estructura de los colectores al piso, además de soportar el peso.

La estructura tiene por misión dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen y además sirve como la conexión con la cimentación.



Fig. 7.a Colector LS-2

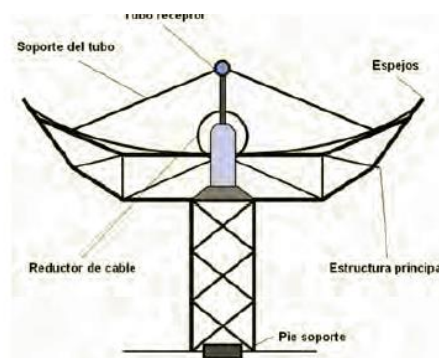


Fig. 7.b Colector LS-3

Figura 7. Sección transversal de la estructura del diseño LS-2 y LS-3

Fuente: (Montes, 2008).

- **Reflector Cilindro Parabólico**

Tiene la misión de reflejar la radiación solar directa que incide en su superficie y concentrarla sobre el tubo receptor, su forma es de una parábola de forma que concentra sobre su línea focal casi la totalidad de la radiación reflejada. Para llevar a cabo la reflexión se utilizan películas de plata o de aluminio ubicadas en el soporte para tener rigidez. La razón de utilizar la plata y no el aluminio es debido a la reflectividad de la plata que es mayor a la del aluminio. En las plantas SEGS se ha utilizado espejos de vidrio con película de plata, con los que se obtienen en un inicio reflectividad solar del 93,5% (Montes, 2008)



Figura 8. Colector de Sener en la Planta Andasol-1.

Fuente: (Montes, 2008).

- **Tubo Receptor**

Es el encargado de convertir la radiación solar concentrada en energía térmica que transporta el fluido calorífero. Se encuentra ubicado en la línea focal del concentrador sujeto a la estructura mediante unos brazos soporte. De este elemento consiste en gran medida el rendimiento global del colector.

Puede constar de un solo tubo o de dos tubos concéntricos, en el segundo caso, el tubo interior es metálico con un recubrimiento selectivo por el que circula el fluido calorífero de elevada absorptividad ($> 90\%$) y de baja emisividad ($< 30\%$) en el espectro infrarrojo, lo que mejora el rendimiento térmico.

El tubo exterior es de cristal y su función es la de reducir las pérdidas térmicas por convección del tubo metálico además de proteger al tubo metálico de las condiciones meteorológicas. Ambos tubos suelen tener un tratamiento para elevar la transmisividad de la radiación solar, para mejorar el rendimiento óptico del colector.

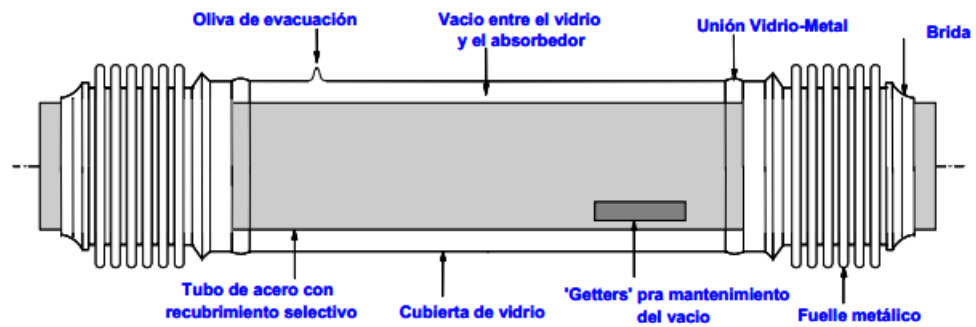


Figura 9. Componentes del Tubo Receptor.

Fuente: (Zarza E. , Generación directa de vapor con colectores solares cilindro parabólicos Proyecto (DISS), 2003).

- **Sistema de seguimiento solar**

Los CCP al necesitar captar la radiación solar directa durante el día para poder concentrarla sobre el tubo absorbedor, requieren de un sistema de seguimiento solar, para cambiar la posición del colector con el movimiento del sol.

En este tipo de tecnología se realiza el seguimiento solar generalmente en un solo eje, debido a que es más económico y sencillo de implementar, es también más robusto resistiendo cargas de viento muy superiores, lo que genera un menor índice de averías, mantenimiento y aumenta el tiempo de operación, el accionamiento puede ser eléctrico, hidráulico o mecánico. El sistema de seguimiento más común es el que gira los captadores alrededor de un eje, la orientación se la puede realizar de norte a sur o de este a oeste.



Figura 10 a. Motor eléctrico con reductor



Figura 10 b. Mecanismo hidráulico

Figura 10. Diferentes tipos de mecanismos de accionamiento.

Fuente: (Zarza E. , 2003).

De la figura anterior 2.10.a.a por lo general es utilizada en mecanismos de dimensiones pequeñas o medias y la 2.10.b.b es requerido para estructuras grandes que necesitan un alto torque de giro. Estos mecanismos de accionamiento deben ser capaz de mover varios módulos concentradores conectados en serie, de tal forma que se muevan como un solo elemento, tal como se muestra en la figura 11 el número de módulos a mover dependerá del diseño constructivo, el tamaño de las estructuras, velocidad del viento, entre otros.

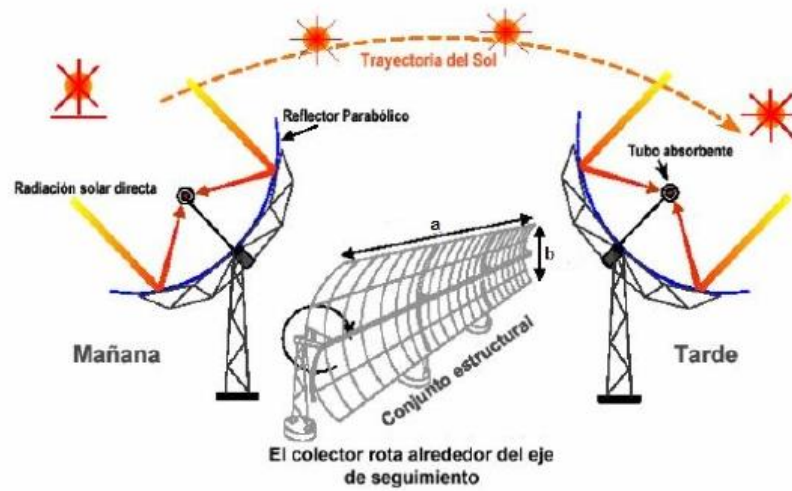


Figura 11. Componentes del Tubo Receptor.

Fuente: (Zarza E. , 2013).

Una vez mencionado los componentes de los concentradores cilindro parabólicos, en la figura 12 se presenta el conjunto formado por sus componentes.

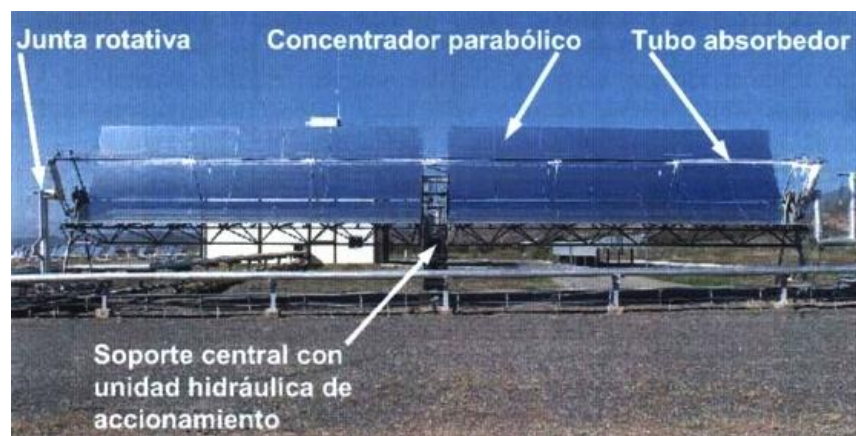


Figura 12. Componentes del concentrador cilindro parabólico.

Fuente: (Zarza E. , 2003).

2.7 EXPERIENCIAS DE PLANTAS TERMOSOLARES CON CCP INSTALADAS A NIVEL MUNDIAL

De las tecnologías actuales de Centrales Solares Termoeléctricas (Receptor Central, Colectores Cilindro Parabólicos y los Discos Parabólicos), las plantas con colectores cilindro parabólicos (CCP) son las que cuentan actualmente con una mayor experiencia comercial, gracias a las nueve plantas SEGS (Solar Electricity Generating Systems) actualmente en operación en el desierto de Mojave California - Estados Unidos, con sus más de 2,5 millones de metros cuadrados de CCP, son el mejor ejemplo del estado del arte de esta tecnología. Con una capacidad de producción en régimen comercial de 354 MWe, las plantas SEGS han acumulado una gran experiencia en el diseño e implementación de este tipo centrales. (Romero, s.f.)

La tecnología de las plantas termosolares con captadores cilindro parabólicos (CCP) ha sido mejorada significativamente desde las primeras plantas, que se instalaron a principios de los años 80. A pesar de la clara reducción de costes, este tipo de centrales aún se encuentran fuera del rango de competitividad con las plantas convencionales de ciclo combinado que consumen gas natural. Esto obliga a abaratar aún más el coste de la electricidad generada con las plantas termosolares con CCP.

La compañía Luz Internacional Limited, fundada en 1979, fue la que diseñó, comercializó e instaló las nueve grandes plantas solares de generación eléctrica, denominadas Solar Electric Generating System (SEGS), uno de los mejores exponentes de la viabilidad de la tecnología de colectores cilindro parabólicos para la producción de electricidad.

De las nueve plantas SEGS instaladas por Luz en California (USA), existen en la actualidad ocho en operación diaria, con una potencia nominal de 340MWe. Ya que una quedó fuera de funcionamiento (SEGS-I) debido a un incendio ocurrido en febrero de 1999. (Montes, 2008)



Figura 13. Una de las centrales SEGS en el desierto de Mojave en California.

Fuente: (Briceño, 2011).

La tecnología utilizada en las plantas SEGS se denomina HTF, fluido de transferencia de calor (en Inglés: Heat Transfer Fluid), que consiste en utilizar un medio de transferencia de calor (generalmente aceite sintético) que transporta la energía térmica suministrada por un campo solar CCP hasta el bloque de potencia en el cual, mediante un intercambiador de calor, se aprovecha dicha energía para alimentar un ciclo Rankine de agua-vapor (Montes, 2008). En la siguiente tabla se presenta un resumen de las plantas SEGS, detallándose los parámetros más importantes.

Tabla 2

Características básicas de las plantas SEGS-I a SEGS-IX

	SEG S I	SEGS II	SEGS III	SEGS IV	SEGS V	SEGS VI	SEGS VII	SEGS VIII	SEGS IX
Primer año de operación	1985	1986	1987	1987	1988	1989	1989	1990	1991
Potencia Neta (MWe)	13.8	30	30	30	30	30	30	80	80
Potencia Bruta (MWe)	14.7	33	33	33	33	33	33	88	88
Área de apertura colectore s (ha)	8.296	19.03	23.03	23.03	25.05	18.8	19.42	46.43	48.39
Rendimie nto térmico neto solar (%)	-	26.7	27.8	27.8	27.8	34.1	34.1	34.2	34.2
Fluido de trabajo (Aceite)	ESS O 500	Mons anto VP1	Monsa nto VP1	Monsa nto VP1	Monsa nto VP1	Monsa nto VP1	Monsa nto VP1	Monsa nto VP1	Monsa nto VP1

Fuente: (Montes, 2008).

Además hasta finales del año 2012 ya se encontraban en operación 53 centrales termosolares (Zarza E. , 2013). Este elevado número de centrales hace que el riesgo tecnológico sea menor que en las otras tecnologías.

A continuación se presenta otras experiencias desarrolladas con concentradores cilindro parabólicos tales como:

ANDASOL

Andasol es el primer complejo termosolar del mundo con almacenamiento térmico, ubicado en la provincia de Granada, que consta de tres centrales de cilindro parabólicos, de 50 MWe cada una, llamadas Andasol-1, Andasol-2 y Andasol-3, completados en el 2008, 2009 y 2011 respectivamente.



Figura 14. Planta Solar Andasol 1.

Fuente: (Energías renovables, 2015).

Las plantas Andasol 1 y 2 han sido desarrollados por ACS / grupo Cobra, mientras que Andasol-3 ha sido desarrollado por Ferrostal AG, todas tienen almacenamiento indirecto en tanques de sales fundidas con una capacidad total de 7.5 horas. Este hecho, junto con el sobredimensionamiento del campo (El campo solar es capaz de suministrar hasta 2 veces la energía térmica que es capaz de absorber la turbina) hace posible un mayor control en la producción de la central, pudiendo entregar energía a la red eléctrica en función de las necesidades. [9]



Figura 15. Plantas Solares Andasol 1 y 2.

Fuente: (Energías renovables, 2015).

CENTRAL TERMOSOLAR PUERTOLLANO

Ubicada en la ciudad Real en la localidad de Puerto Llano, inicia su operación en el 2009, con una potencia de 50MW, tiene participación en un 90% por Iberdrola Renovables y en un 10% por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2015).

El campo solar de la instalación consta de 88 lazos, formado cada uno por cuatro colectores cilindro parabólicos de aproximadamente 150 metros de largo. El campo solar presenta un área de captación solar de 287.760 metros cuadrados. En total, la planta incorpora 118.272 facetas de espejos parabólicos y 12.672 tubos absorbedores (equivalentes a unos 50 kilómetros de tubo).



Figura 16. Planta Solar Puerto Llano.

Fuente: (Puerto Llano, 2015).

NEVADA SOLAR ONE

La planta propiedad de Solargenix y Acciona, tiene una capacidad de 64MWe y se encuentra ubicada en Boulder City, Nevada (EE.UU.), fue puesta en marcha en junio del 2007 en una superficie de 130 hectáreas. Fue la mayor planta termosolar instalada desde 1991, representando el resurgimiento de esta tecnología en el sistema energético. (Energía, 2015)



Figura 17. Planta Solar Nevada Solar One.

Fuente: (Energía, 2015)

ACCIONA

Energía cuenta actualmente con cinco plantas termosolares operativas adicionales a Nevada Solar One, que totalizan 314MW de potencia nominal, las otras plantas operativas se encuentran en España y son Alvarado (Bajadoz), Majadas (Cáceres), **Palma del Río I y II**, (Córdoba) y **Orellana** (Badajoz), todas ellas de 50 MW de potencia.

A continuación se detallan algunos de los proyectos realizados por ABENGOA SOLAR, ubicados dentro y fuera de España. (solar, 2014). El contenido presentado a continuación ha sido recopilado directamente de la página web de Abengoa Solar.

SOLNOVA

Solnova 1, 3 y 4 son tres centrales de 50 megavatios (MW) cada una y tecnología cilindro parabólica situadas en la Plataforma Solúcar, Sanlúcar La Mayor (Sevilla).

Son las tres primeras centrales de colectores cilindro parabólicos en operación comercial en la Plataforma Solúcar. Estas centrales incluyen tecnología cilindro parabólica desarrollada por Abengoa Solar y han ido incorporando sucesivamente mejoras en su diseño. Cada central está compuesta por unos 300.000 metros cuadrados de espejos que ocupan una superficie total de unas 115 hectáreas.



Figura 18. Planta Solar Solnova.
Fuente: (solar, 2014)

ÉCIJA

La Plataforma Solar Écija está formada por dos centrales de 50 MW cada una y de tecnología cilindro parabólica. La primera central, Helioenergy 1, entró en operación en septiembre 2011 y la segunda, Helioenergy 2, en enero 2012. Las centrales Helioenergy 1 y Helioenergy 2 son operadas conjuntamente por Abengoa Solar y E.ON, que crearon una alianza en 2009. Las dos centrales cuentan con un total de 121.000 espejos instalados en el campo solar que concentran la luz del sol para generar vapor a unas temperaturas de hasta 400 grados, en una superficie de más de 220 hectáreas, el equivalente a unos 300 campos de fútbol.



Figura 19. Plantas Solares Helioenergy 1 y 2.

Fuente: (solar, 2014).

EL CARPIO

La Plataforma Solar El Carpio, está formada por dos centrales de 50 MW cada una y tecnología cilindro parabólica. Ambas centrales están en operación comercial desde principios de 2012. Abengoa Solar, que opera ambas centrales, cuenta con una participación del 74%. Cada central tiene un total de 360 colectores (colector cilindro parabólico ASTRØ), ocupando una superficie aproximada de 110 hectáreas cada una.



Figura 20. Planta Solar El Carpio.

Fuente: (solar, 2014).

CASTILLA – LA MANCHA

La Plataforma Solar Castilla-La Mancha, está formada por dos centrales de 50 MW cada una y tecnología cilindro parabólica. Las dos centrales, Helios 1 y Helios 2, han entrado en operación durante el verano de 2012.



Figura 21. Plantas Solares Helios 1 y 2.

Fuente: (solar, 2014)

EXTREMADURA

La Plataforma Solar Extremadura está formada por cuatro centrales cilindro parabólicas de 50 MW cada una. De estas cuatro centrales, dos de ellas están participadas por Abengoa Solar en un 70 %, quien opera las centrales, y por la japonesa Itochu Corporation en un 30%. Solaben 2 y Solaben 3 empezaron su operación en 2012. La segunda fase de esta plataforma, compuesta por Solaben 1 y Solaben 6, opera desde agosto de 2013.



Figura 22. Plantas Solares Solaben 2, 3, 1, 6.

Fuente: (ingeniería, 2015)

HASSI R'MEL EN ARGELIA

La planta híbrida de ciclo combinado gas - solar de Hassi R'Mel en Argelia, cuenta con 150 megavatios (MW) de potencia de los que 20 MW proceden de un campo compuesto por 224 colectores cilindro parabólicos (CCP). La planta está en operación desde julio de 2011. Esta planta de tecnología solar híbrida con ciclo combinado, tiene 150 MW de potencia, de los que 20 MW proceden de un campo de colectores cilindro parabólicos con aceite térmico de 180.000 m² de superficie reflectante. La novedad del proyecto es el aprovechamiento eléctrico del calor generado en la misma turbina de vapor que aprovecha el calor residual de la turbina de gas.

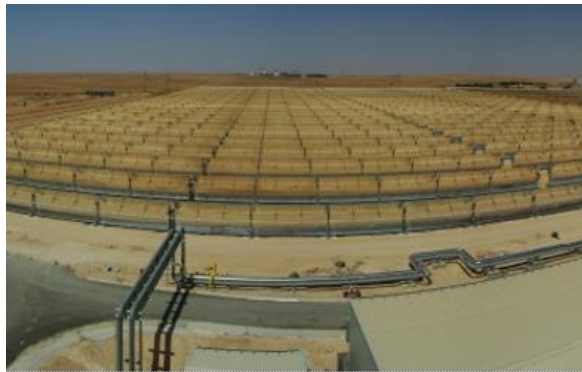


Figura 23. Planta Gas - Solar Hassi R'Mel.

Fuente: (solar, 2014).

SHAMS 1 EN EMIRATOS ÁRABES UNIDOS

La planta Shams-1 tiene 100 megavatios (MW) de potencia usando tecnología cilindro parabólica. La planta, localizada en Madinat Zayed, a unos 120 kilómetros al suroeste de Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos), comenzó su construcción el verano de 2010. La central Shams-1, que ocupa unas 300 hectáreas en el desierto de Abu Dhabi, tiene una potencia de 100 MW, gracias a los casi 600.000 m² de campo solar en los que operan 768 colectores cilindro parabólicos suministrados por Abengoa Solar.



Figura 24. Planta Solar Shamm-1.

Fuente: (solar, 2014)

SOLANA – ESTADOS UNIDOS

Solana, la mayor central cilindro parabólica del mundo, tiene una potencia de 280 megavatios (MW) con seis horas de almacenamiento de energía térmica, lo que permite producir electricidad durante los períodos nublados y tras la puesta del sol, satisfaciendo el pico de demanda de electricidad que existe en esta zona en los meses de verano.. La central está ubicada a unos 100 kilómetros al suroeste de Phoenix, cerca de Gila Bend, Arizona. Comenzó su construcción a finales de 2010 y ha entrado en operación en 2013.



Figura 25. Planta Solar Solana.

Fuente: (solar, 2014)

CAPÍTULO 3

FLUIDOS TÉRMICOS

Los fluidos térmicos o caloportadores, son aquellos fluidos capaces de transportar energía en forma de calor desde el punto donde se produce hasta el punto donde se transfiere este calor. En los colectores cilindro parabólicos, el fluido térmico capta la energía radiante del sol en forma de energía térmica al circular a través del tubo receptor y lo transporta hasta el intercambiador de calor. Al trabajar con colectores cilindro parabólicos el intervalo de temperatura se encuentra entre 150 C y 400 C, este rango de temperatura es determinado por el tipo de fluido térmico. A continuación se presentan los principales fluidos caloportadores.

3.1 AGUA

Es un fluido caloportador muy utilizado a nivel industrial para una extensa gama de finalidades debido a sus beneficios que presenta hasta ciertas temperaturas, se lo puede utilizar como fluido térmico en forma líquida (agua caliente, agua sobrecalentada), en forma gaseosa (vapor sobrecalentado) o en forma bifásica (vapor saturado). (García, 2012)

VENTAJAS

- Es barata y existe en abundancia.
- No es tóxica.
- No es inflamable.
- Posee un alto calor específico lo que le convierte en un excelente medio transmisor de calor.

DESVENTAJAS

- Es oxidante y produce corrosión.
- La presión de vapor aumenta considerablemente al incrementarse la temperatura.
- A presión ambiente cambia de fase a los 100°C.
- Utilización de tuberías de espesores elevados para trabaja con altas presiones.

Sin embargo las propiedades termodinámicas y fisicoquímicas del agua, hacen a esta un medio de transferencia térmica ideal. Circuitos cerrados de agua caliente y sistemas de soluciones de glicol en fase líquida son ambos una excelente opción para procesos de calentamiento indirecto de hasta aproximadamente 150°C. Ya que el agua es usada en un circuito cerrado sin alimentación directa de una fuente de agua externa.

3.2 ACEITE TÉRMICO

Para altas temperaturas se aplican fluidos que son estables en el rango de temperatura del proceso, es decir, que tengan un punto de fusión bajo y un punto de evaporación y descomposición alto. Fluidos con semejantes características son sales fundidas, aceites minerales o sintéticos y metales fundidos como el sodio.

El aceite térmico puede ser de origen mineral o sintético, los primeros se extraen del petróleo y están formados por cadenas de hidrocarburos, además este tipo de fluidos son utilizados frecuentemente en calderos cuyo sistema de funcionamiento lo realizan en base a aceite térmico.

3.2.1 ACEITES MINERALES

Los aceites minerales son ampliamente usados como lubricantes debido a que poseen tres propiedades crucialmente importantes:

- Tienen características de viscosidad adecuadas.
- Son refrigerantes efectivos debido a su alta conducción del calor y alto calor específico.
- Tienen la capacidad de proteger contra la corrosión.

VENTAJAS

- Son relativamente de bajo coste.
- Son estables térmicamente.
- Son compatibles con la mayoría de los componentes usados en los sistemas de lubricación.
- Son virtualmente poco peligrosos a la salud.
- Buenas características viscosidad – temperatura.
- Baja presión de vapor.

Los aceites minerales pueden ser usados como fluidos térmicos, si no se excede el valor permisible de temperatura, si tiene baja viscosidad, baja tensión de vapor y alta resistencia a la oxidación. Pueden ser mezclados con otros aceites y una gran variedad de aditivos para extender o modificar sus propiedades y pueden ser fabricados para producir las características físicas requeridas.

DESVENTAJAS

- Son obtenidos por destilación fraccionada del petróleo, formados por un conjunto de cadenas de diferente longitud.
- Durante el ciclo de trabajo, las cadenas más cortas (hidrocarburos más volátiles) se vaporizan con mayor facilidad, lo que tiende a aumentar la viscosidad del fluido restante y con el tiempo, la degradación y coquización del mismo.

Los aceites minerales están sujetos a dos tipos de degradación al encontrarse a temperaturas elevadas (Shell, 2004):

- **Craqueo**, llamado también rotura de las cadenas de hidrocarburos por efecto del calor. Las cadenas largas se dividen en cadenas más pequeñas en

sucesivas etapas. Algunas de ellas se eliminan como gases, pero otras son inestables y polimerizan dando lugar a compuestos insolubles que forman depósitos.

- **Oxidación**, o la reacción del hidrocarburo con el oxígeno atmosférico. A temperatura ambiente la reacción ocurre con una velocidad relativamente lenta, pero esta se acelera conforme aumenta la temperatura. La oxidación produce la acidificación del aceite y generalmente va acompañada de un incremento de la viscosidad.

APLICACIONES

- Sistemas cerrados de calefacción, ya sea por convección natural o circulación forzada, que utilizan fluidos que operan con temperaturas de hasta 320°C.
- Tratamientos térmicos de metales, como por ejemplo templado y revenido de aceros.

Existen algunas variedades de aceites minerales disponibles en el país, entre ellos están:

TEXATHERM 46

Se encuentra disponible en el país en presentaciones de 55 galones a un precio promedio de 835 dólares. Es un aceite parafínico altamente refinado y térmicamente estable, recomendado para unidades de transferencia de calor por circulación que no exceda los 190°C para sistemas abiertos (expuestos al aire) y 315°C para sistemas cerrados (sin entrada de aire) y con una temperatura inferior desde los -15°C (Texaco, 2004). Sus principales características se muestran en las siguientes tablas, en el Anexo N.1 se presenta mayor información sobre este aceite.

Tabla 3

Características típicas del aceite Texatherm 46

	Método ASTM	ISO 46
Densidad @ 15.5°C kg/l	D-4052	0.868
Viscosidad cinemática cSt @ 40°C	D-445	46
cSt @ 100°C	D-445	6.78
Índice de viscosidad	D-2270	101
Punto de inflamación, °C	D-92	235
Punto de fluidez, °C	D-97	-15

Fuente: (Conauto, 2015)

Las propiedades físicas y térmicas del aceite Texatherm 46 se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura

Texatherm 46	a 40°C (104°F)	a 150°C (104°F)	a 260°C (104°F)
Viscosidad cSt	46.9	2.91	-
Conductividad térmica BTU/hr-ft-F	0.0769	0.0722	0.0675
Calor específico BTU / lb-F	0.4683	0.5642	0.6602
Densidad kg/l	0.809	0.6836	0.5583

Fuente: (Conauto, 2015).

En la siguiente tabla se presenta la tabla anterior con unidades SI, esto con el fin de poder comparar luego los tipos de aceite en las mismas unidades.

Tabla 5

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura (SI Unidades)

Texatherm 46	a 40°C (104°F)	a 150°C (104°F)	a 260°C (104°F)
Viscosidad cSt	46.9	2.91	-
Conductividad térmica W/mK	0.1330	0.1249	0.1167
Calor específico kJ / KgK	1.9594	2.3606	2.7623
Densidad kg/m ³	809.0	683.6	558.3

SHELL THERMIA OIL B

Se encuentra disponible en el país en presentaciones de tanques de 55 galones a un precio promedio de 800 dólares. Tiene una estabilidad térmica excepcionalmente buena a temperaturas de hasta 320°C, la temperatura de película o de film no debe superar los 340°C, la temperatura inferior puede ser desde -12°C (Shell, 2004). Sus principales características se muestran en las siguientes tablas, en el Anexo N.2 se presenta mayor información.

Tabla 6

Características típicas del aceite Shell Thermia B

	Método ISO	
Densidad @ 15°C kg/l	ISO 12185	0.868
Viscosidad cinemática cSt @ 40°C	ISO 3104	24.8
cSt @ 100°C	ISO 3104	4.6
Punto de inflamación, °C	ISO 2592	230
Punto de fluidez, °C	ISO 3016	-12

Fuente: (Shell, 2004).

En la siguiente tabla se presentan las propiedades físicas y térmicas del aceite de este aceite.

Tabla 7

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura

Thermia B	a 15.5°C (60°F)	a 93.3°C (200°F)	a 204.4°C(400°F)
Viscosidad cSt	-	4.7	1.2
Conductividad térmica BTU/h.ft.F	0.1339	0.1282	0.1200
Calor específico BTU/lb.F	0.445	0.513	0.610
Densidad kg / l	0.85	0.811	0.746

Fuente: (Shell, 2004)

En la siguiente tabla se presenta la tabla 7 con unidades SI, para poder comparar luego los tipos de aceite en las mismas unidades.

Tabla 8

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura (SI Unidades)

Thermia B	a 15.5°C (60°F)	a 93.3°C (200°F)	a 204.4°C(400°F)
Viscosidad cSt	-	4.7	1.2
Conductividad térmica W /m K	0.0774	0.0741	0.0694
Calor específico kJ / Kg K	1.8619	2.1464	2.5522
Densidad kg/m ³	850.0	811.0	746.0

MOBILTHERM 605

Se encuentra disponible en el país en presentaciones de tanques de 55 galones a un precio promedio de 730 dólares. Tiene un alto rendimiento diseñado para ser usado en instalaciones cerradas con calentamiento indirecto, altamente refinado y resistente a la degradación térmica y a la oxidación química, su rango de temperatura en sistemas cerrados va de -7°C a 315°C y en sistemas abiertos de -7°C a 180°C, (Mobil, 2015). Sus principales características se muestran en la siguiente tabla, en el Anexo N.3 se presenta mayor información.

Tabla 9

Características típicas del aceite Mobiltherm 605

	Método ASTM	ISO 46
Densidad @ 15.5°C kg/l	D-4052	0.86
Viscosidad cinemática cSt @ 40°C	D-445	30.4
cSt @ 100°C	D-445	5.4
Punto de inflamación, °C	D-92	230
Punto de fluidez, °C	D-97	-12

Fuente: (Mobil, 2015).

A continuación se presentan las gráficas comparativas de las propiedades físicas y térmicas de los aceites Texatherm 46 y Shell Thermia B en función de la temperatura.

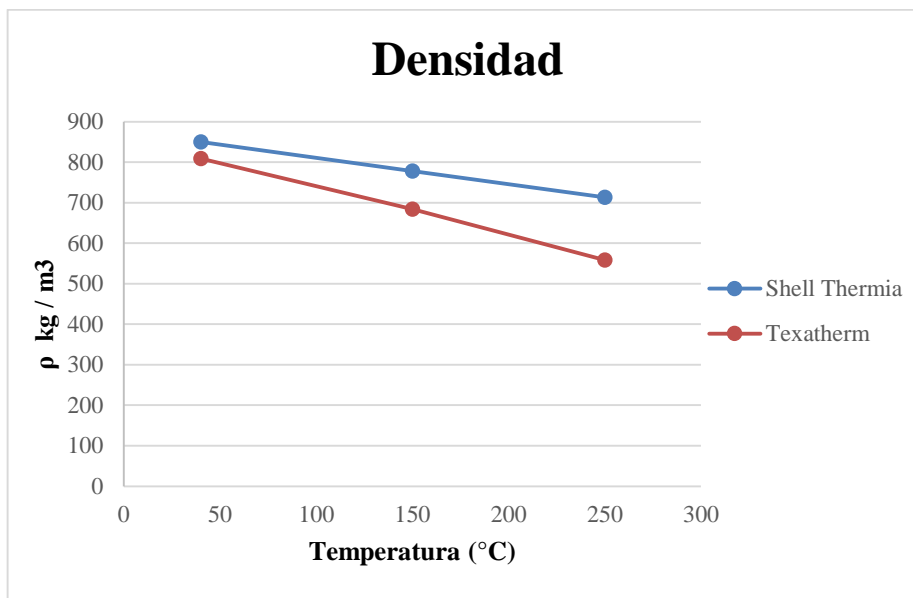


Figura 26. Variación de la densidad del Shell Thermia B y del Texatherm 46 con la temperatura

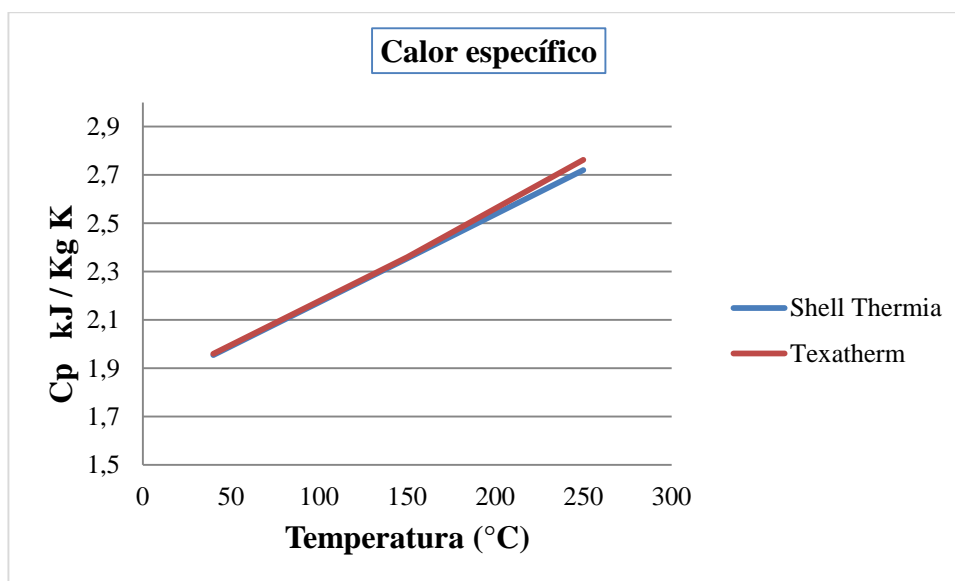


Figura 27. Variación del calor específico del Shell Thermia B y del Texatherm 46 con la temperatura.

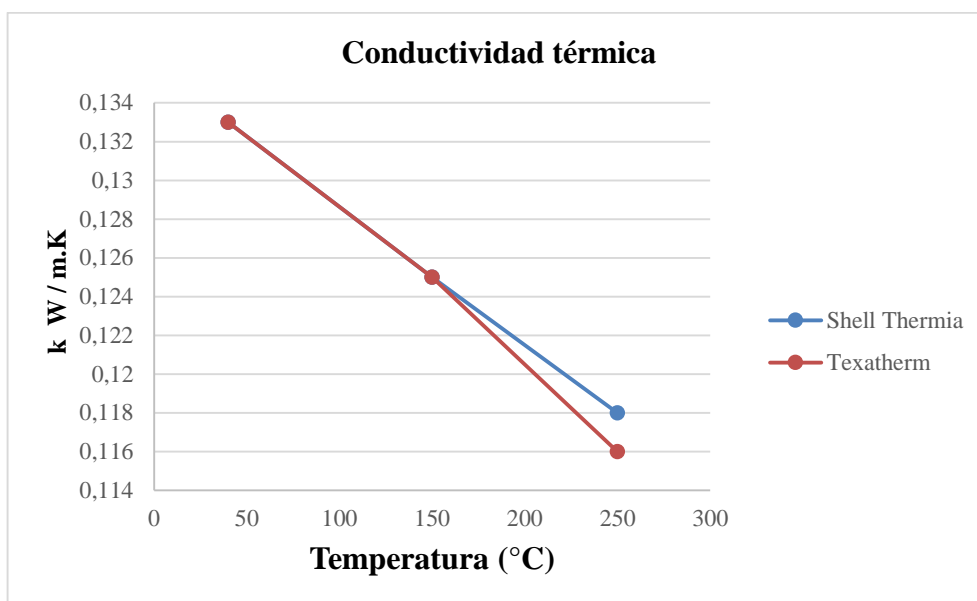


Figura 28. Variación de la conductividad térmica del Shell Thermia B y del Texatherm 46 con la temperatura.

De las figuras 26 a la 28 se puede ver que las características de los dos aceites son muy similares, teniendo únicamente una variación mayor en la densidad donde el texatherm tiene menor densidad con el incremento de la temperatura respecto al Shell termia, lo que significa que tendrá mayor volumen mientras permanezca caliente, lo que conlleva a la necesidad de construir un tanque de expansión de mayor capacidad.

3.2.2 ACEITES SINTÉTICOS

Los aceites sintéticos son lo que se generan únicamente por síntesis química, no existen de forma natural, la diferencia entre los fluidos térmicos sintéticos y los minerales es que presentan una estructura molecular conocida, definida, reproducible y en consecuencia, las propiedades son predecibles. Es decir, los fluidos sintéticos son diseñados para conseguir cadenas homogéneas, obteniendo mínimo desprendimiento, vaporización inferior y un tiempo de vida notablemente superior.

De todos los fluidos posibles, los fluidos orgánicos sintéticos son los que mayores ventajas presentan, y entre ellos destaca la mezcla eutéctica compuesta por un 26,5% en peso de óxido de di fenilo y un 73,5% de bifenilo. Esta mezcla presenta

el mejor compromiso entre coste y prestaciones, aunque presenta grandes dificultades en su manejo que condicionan enormemente los resultados de explotación de las plantas, este fluido se le denomina habitualmente HTF (Heat Transfer Fluid).

Con el aceite térmico se puede alcanzar temperaturas cercanas a los 400°C con presiones relativamente bajas, estos valores dependerán de los aceites utilizados, uno de los principales aceites utilizados en las plantas termosolares con CCP es el Therminol VP-1, se tiene otra alternativas como el aceite el Syltherm, con mejores prestaciones pero con un precio unas tres veces superior (Muñoz, 2008), además se tiene el Dowtherm A, entre otros.

Las principales propiedades que debe cumplir un fluido térmico son: (García, 2012)

- a. **Temperatura máxima.** Temperatura a la que las reacciones de degradación por craqueo térmico de hidrocarburos son muy rápidas, 430°C, por encima de esta temperatura, las moléculas se rompen para formar radicales libres que a su vez cataliza la reacción de craqueo, aumentando aún más la tasa de reacciones. Por lo tanto, debe asegurarse que en ningún momento se llegue a esta temperatura, especialmente en el interior de los tubos de absorción o en la caldera auxiliar.
- b. **Temperatura de congelación.** La mezcla de todos los hidrocarburos usados tiene un punto eutéctico a 12°C, es decir, un punto de congelación inferior a cada uno de los componentes separados. Esta es la razón fundamental de utilizar mezclas.
- c. **Densidad.** Al igual que otros hidrocarburos, muestra un cambio brusco de la densidad con la temperatura. Así el HTF, a 25 °C, la densidad es similar a la del agua 1060 kg/m³, es decir, una tonelada ocupa 943 litros. En contraste, a 393° C, la densidad es sólo de 690 kg/m³, o su equivalencia, una tonelada ocupa 1.450 litros, es decir, mucho más. Por esta razón, es necesario

proporcionar un tanque capaz de absorber los cambios de volumen de expansión.

- d. **La presión de vapor.** A temperatura ambiente, la presión es muy baja, casi 0, lo que significa que no es volátil. Pero a 393 °C la presión de vapor es de 10,6 bar. Eso significa que si la presión es inferior a 10,6 bar y la temperatura está por encima de 393°C existirá un cambios de estado de líquido a vapor, un efecto no deseado. Por lo tanto, la presión debe ser en todos los puntos por encima de 10,6 bar, lo que garantiza que en todo momento el fluido permanece en estado líquido. Hay que tener en cuenta que cualquier fuga de alta temperatura de HTF causa una descompresión, y por lo tanto una vaporización instantánea: así una fuga provocará que el fluido de inmediato entre en ebullición, que en contacto con el aire y una chispa provocara un incendio.
- e. **Calor específico.** Los rangos del calor específico del HTF, están entre 2.300 y 2.700 kJ / kg K, es decir, para elevar la temperatura de un kg de HTF un grado es necesario suministrar 2300 kJ de energía.
- f. **Entalpía.** La entalpía es una medida de la energía interna del fluido bajo ciertas condiciones. Su variación es una medida de la cantidad de energía que el fluido ha ido intercambiado (absorbida o cedida) con su medio ambiente. La entalpía del HTF a 293°C es de aproximadamente 540 kJ/kg. A 393°C es de aproximadamente 800 kJ/kg. Eso significa que si un kilogramo de HTF se eleva su temperatura desde 293 ° C a 393 ° C, tiene que absorber alrededor de 260 KJ.
- g. **Viscosidad.** La viscosidad HTF cambia abruptamente entre 25°C y 400°C. A 25°C es un fluido viscoso que fluye de una manera incorrecta, siendo necesario que la temperatura nunca descienda por debajo de 40°C. A 393°C su viscosidad es 0,12 mPas, es todavía mucho mayor que la del agua a 20°C.

A continuación se presenta las principales características de los aceites sintéticos con mejores prestaciones como fluido térmico, y también se presenta los empleados con mayor frecuencia en las plantas termosolares.

THERMINOL VP-1

Su precio promedio en España es de 2,5 euros el kilogramo, no se encuentra disponible en el país, para su obtención se debe realizar mediante importación lo que ocasiona un incremento en el precio. Este aceite puede trabajar en un rango de temperatura de 12°C a 400°C, (VP-1, 2015). El Therminol VP-1 ha sido implementado en las plantas solares SEGS, Andasol, entre otras. En el Anexo N.4 se presenta mayor información sobre este fluido.

Tabla 10

Características típicas del aceite Therminol VP-1

	Método	
Densidad @ 15°C kg/m ³	DIN 51757	1068
Viscosidad cinemática cSt @ 40°C	DIN 51562-1	2.48
Punto de inflamación, °C	DIN 51376	124
Punto de fluidez, °C	ISO 3016	12

Fuente: (VP-1, 2015).

Tabla 11

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura, fase líquida

Therminol VP-1	a 20°C	a 100°C	a 200°C	a 350°C
Viscosidad cinemática cSt	4.03	0.986	0.432	0.233
Conductividad térmica W/m.k	0.136	0.128	0.114	0.086
Calor específico kJ/kgK	1.546	1.775	2.048	2.454
Densidad kg / m ³	1064	999	913	761

Fuente: (VP-1, 2015).

SYLTHERM 800

Su precio promedio en España es de 10 euros el kilogramo, no se encuentra disponible en el país, para su obtención se debe realizar mediante importación lo que ocasiona un incremento en el precio. Tiene un rango de operación recomendado de -40°C hasta 400°C, el rango más amplio de todos los fluidos de transferencia de calor disponible actualmente en el mercado (Syltherm, 2001). En el Anexo N.5 se presenta mayor información sobre este fluido.

Tabla 12

Características típicas del aceite Syltherm 800

	Método	
Densidad @ 25°C kg/m ³	ASTM D92	936
Viscosidad cinemática cSt @ 25°C	DIN 51562-1	2.48
Punto de inflamación, °C	DIN 51376	193
Punto de fluidez, °C	ISO 3016	-60

Fuente: (Dow, Fluidos de transferencia de calor, 2011)

Tabla 13

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura, fase líquida

Syltherm 800	a 20°C	a 100°C	a 200°C	a 350°C
Viscosidad cinemática cSt	4.03	0.986	0.432	0.233
Conductividad térmica W/m.k	0.136	0.128	0.114	0.086
Calor específico kJ/kgK	1.546	1.775	2.048	2.454
Densidad kg / m ³	1064	999	913	761

Fuente: (Dow, Fluidos de transferencia de calor, 2011).

DOWTHERM A

Su precio promedio en España es de 7 euros el kilogramo, no se encuentra disponible en el país, para su obtención se debe realizar mediante importación lo que

ocasiona un incremento en el precio. Tiene excelente estabilidad térmica en aplicaciones de hasta 400°C, con temperatura de film máxima recomendada de 427°C, el rango de temperatura recomendado para uso en operación en fase líquida va desde 15°C a 400°C, posee una baja viscosidad que reduce los problemas de arranque (Dow, 2011) (Dow, Dowtherm A , 1997). En el Anexo N.6 se presenta mayor información sobre este fluido.

Este fluido térmico ha sido suministrado a nivel mundial para generar más de 700 MW de energía eléctrica a partir del sol, proyectos en España utilizan más de 20000 toneladas métricas de Dowtherm, con datos tomados hasta el 2010 este fluido de transferencia térmica producida en 12 plantas es suficiente para abastecer a cerca de 400000 viviendas (Dow, 4th Annual international csp summit seville, 2010).

Tabla 14

Características típicas del aceite Dowtherm A

	Método	
Densidad @ 25°C kg/m ³	ASTM D92	1056
Viscosidad cinemática cSt @ 25°C	DIN 51562-1	3.71
Punto de inflamación, °C	DIN 51376	257
Punto de fluidez, °C	ISO 3016	12

Fuente: (Dow, Dowtherm A , 1997).

Tabla 15

Propiedades físicas y térmicas versus temperatura, fase líquida

Dowtherm A	a 20°C	a 100°C	a 200°C	a 400°C
Viscosidad cinemática cSt	4.29	0.97	0.37	0.13
Conductividad térmica W/m.k	0.136	0.1259	0.1099	0.0779
Calor específico kJ/kgK	1.573	1.800	2.079	2.701
Densidad kg / m ³	1059.6	994.9	907.1	680.2

Fuente: (Dow, Dowtherm A , 1997).

En las siguientes figuras se muestran las variaciones de las propiedades físicas y térmicas de los aceites sintéticos mencionados en este apartado en función de la temperatura.

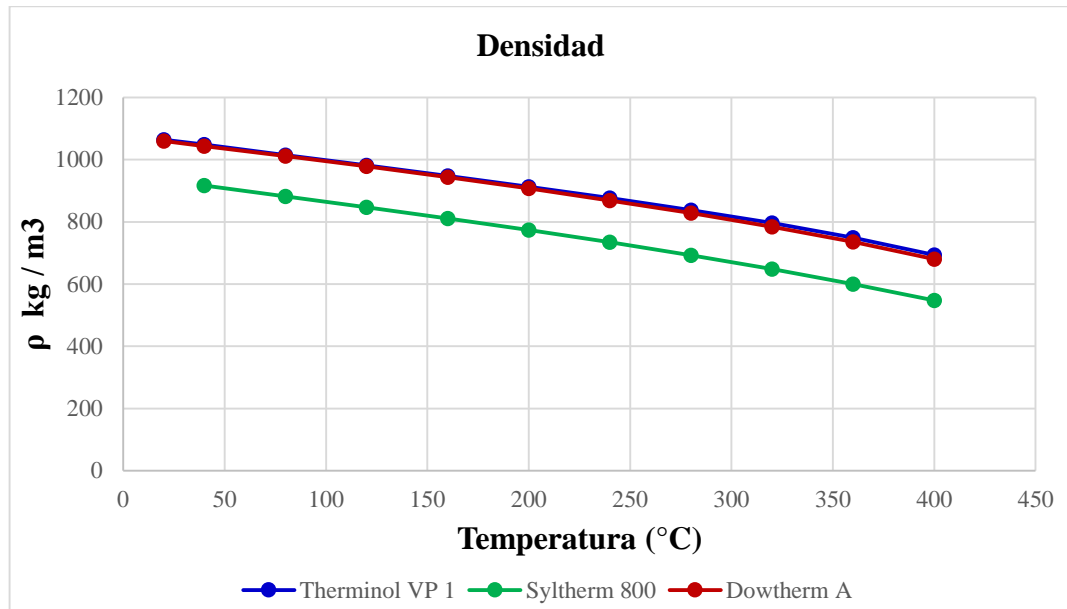


Figura 29. Variación de la densidad con la temperatura.

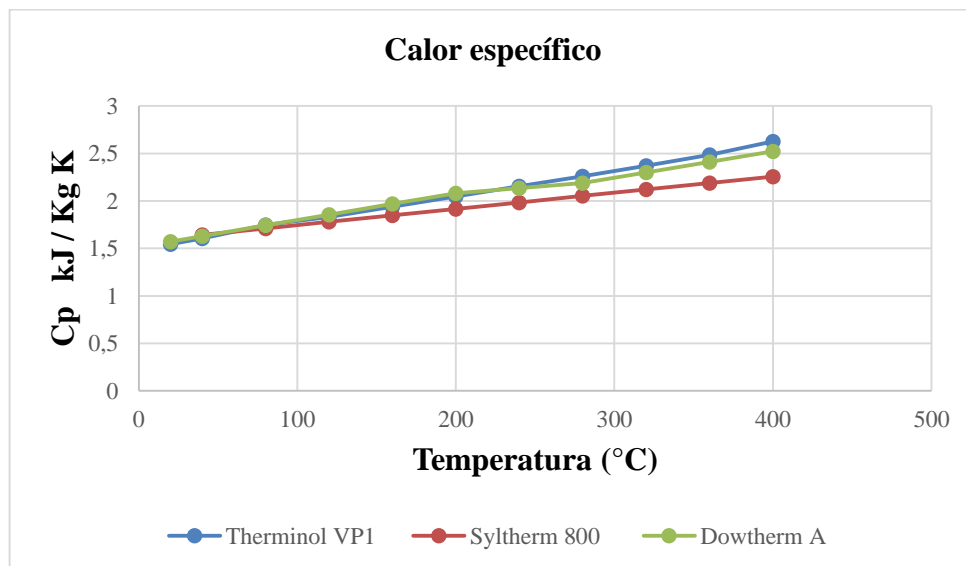


Figura 30. Variación del calor específico con la temperatura.

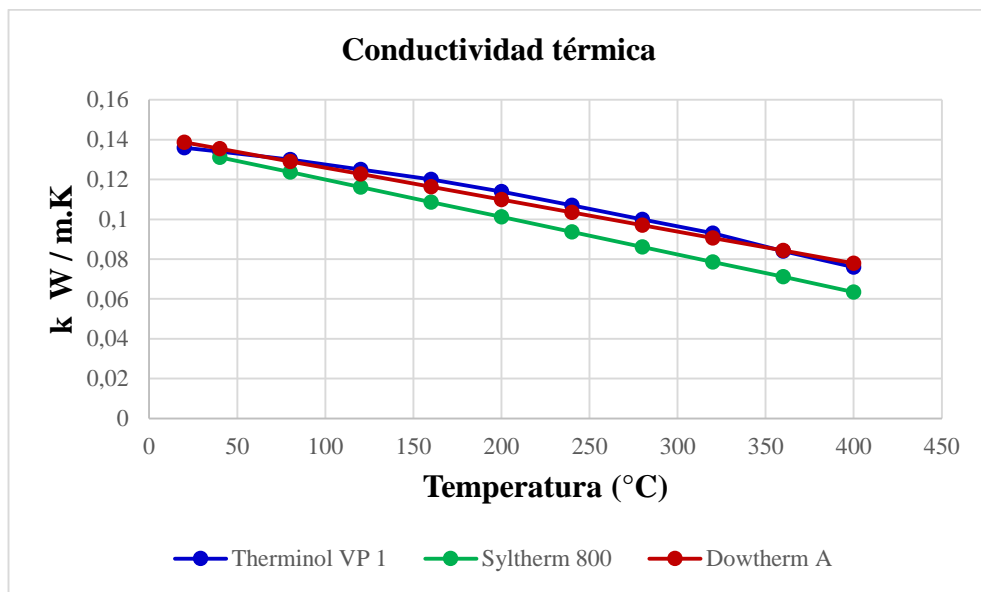


Figura 31. Variación de la conductividad térmica con la temperatura.

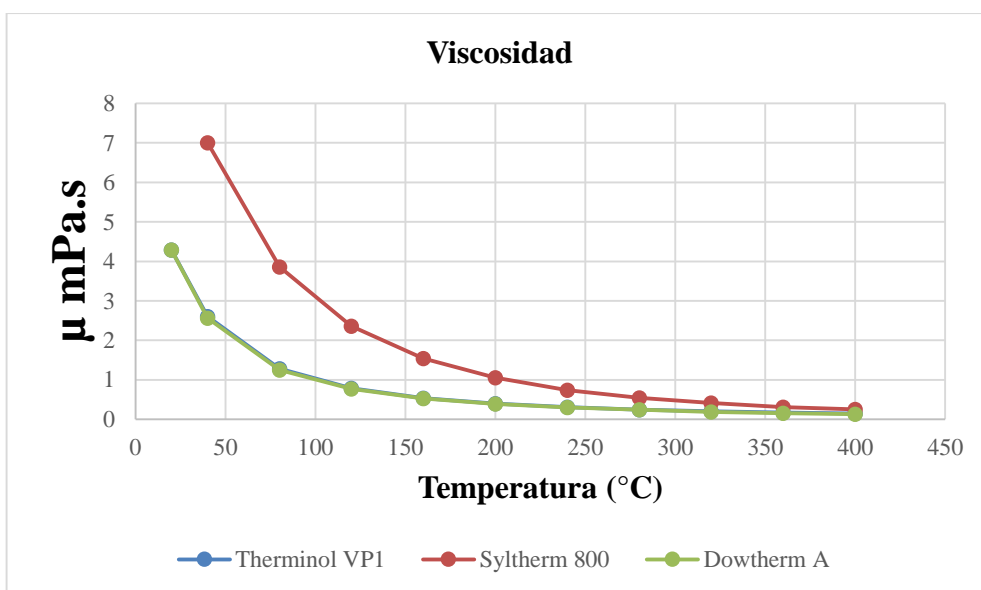


Figura 32. Variación de la viscosidad con la temperatura.

De las figuras 29 a la 32, se puede notar claramente que las propiedades de los aceites Therminol VP-1 y Dowtherm A son muy similares, debido a esto son los fluidos que tienen mayor presencia en las centrales termosolares con cilindro

parabólicos que se encuentran en pleno funcionamiento comercial, también se puede notar que el aceite Syltherm 800 tiene mejores prestaciones que los dos aceites mencionados anteriormente el inconveniente es su alto precio comparado con el Therminol y el Dowtherm.

3.3 SALES FUNDIDAS

Son fluidos basadas en mezclas eutécticas que se funden a altas temperaturas superiores a los 150°C, tienen un funcionamiento interesante desde el punto de vista térmico gracias a sus prestaciones a altas temperaturas y alta densidad, lo que permite que sean adecuados para ser utilizados como almacenamiento térmico. Las mezclas más utilizadas son las de nitrato de sodio – nitrato de potasio que pueden funcionar sobre los 560°C, este tipo de fluido es principalmente utilizado como almacenamiento térmico en las plantas solares con concentradores cilindro parabólicos, existen algunos estudios de investigación y desarrollo en base a las sales fundidas que se han implementado en varias plantas solares como son: CESA, Andasol 1, Solar Two (California - EEUU), Solar Tres (Andalucía - España).

Las limitaciones que presentan las sales fundidas es su alto punto de fusión alrededor de los 200°C, esto significa que al enfriarse por debajo de esta temperatura se solidifica, y el uso en grandes campos de captadores cilindro parabólicos requiere la instalación de sistemas auxiliares de calentamiento para todas las tuberías del campo solar cuando no haya radiación solar. Aunque se trata de un fluido medioambiental más benigno que el aceite, los altos puntos de cristalización disparan los autoconsumos de la central. Además presenta problemas de corrosión.

La entidad italiana ENEA, lleva trabajando en este campo del uso de sales fundidas como fluido de trabajo desde hace más de 12 años, habiendo comprobado su viabilidad técnica, pero aún pendiente determinar su viabilidad comercial, la cual se prevé que quede dilucidada con los resultados experimentales que se obtengan en la central de 5MWe que ENEA ha construido en Siracusa, con el nombre de Priolo. (Guía técnica de la energía solar termoelectrica, 2012)

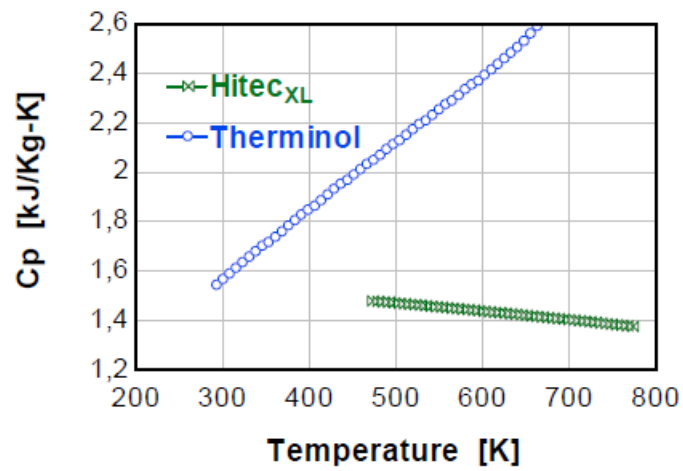


Figura 33. Propiedades físicas de la sal fundida Hitec XL, junto con las del aceite Therminol VP1 – Calor Específico.

Fuente: (Muñoz, 2008)

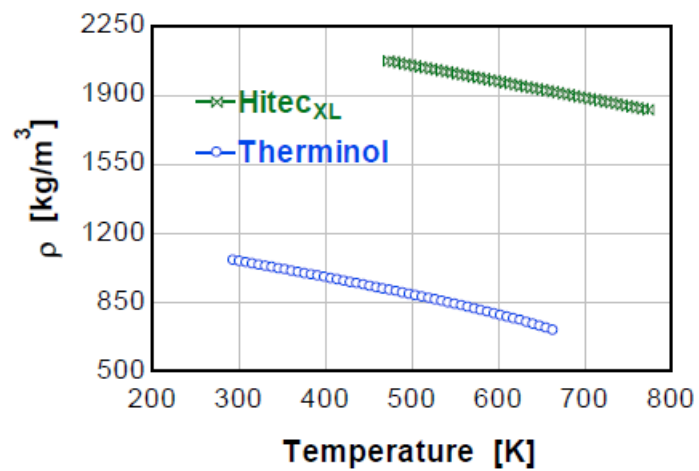


Figura 34. Propiedades físicas de la sal fundida Hitec XL, junto con las del aceite Therminol VP1 - Densidad

Fuente: (Muñoz, 2008)

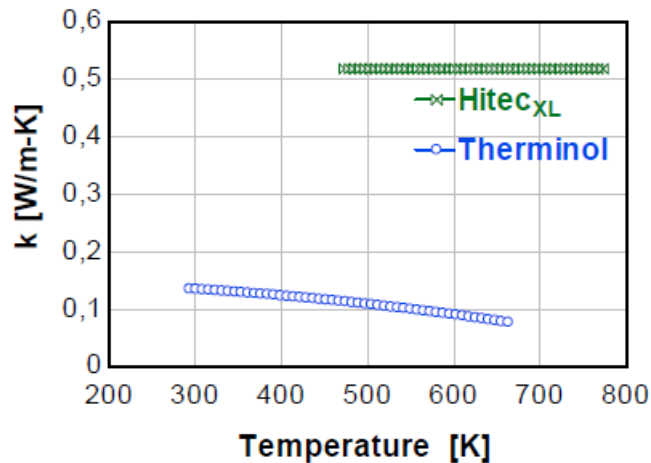


Figura 35. Propiedades físicas de la sal fundida Hitec XL, junto con las del aceite Therminol VP1 – Conductividad térmica.

Fuente: (Muñoz, 2008).

3.4 SODIO LÍQUIDO

El uso de sodio líquido se ha desarrollado en la industria nuclear, tiene excelentes propiedades de transferencia de calor debido a su alto coeficiente térmico, el problema del sodio es su alta reactividad con el agua y con el aire (García, 2012). El rango térmico del sodio líquido va desde los 97°C hasta valores superiores a los 880°C, el sodio fundido frente a los aceites térmicos presenta diferencias claras en sus propiedades tales como su calor específico y densidad son menores sumado a la menor inercia térmica y su alto punto de fusión lo hace no recomendable como fluido de almacenamiento. Por otro lado su baja viscosidad y menor inercia térmica hace que sea un fluido de rápido arranque, además posee una alta conductividad térmica, esto implica que en el seno del fluido la transferencia de energía no se realiza por convección (como en el agua o aceite) sino por conducción que es algo habitual en los metales líquidos (Muñoz, 2008), podría ser utilizado como fluido en discos Stirling.

3.5 AGUA – VAPOR

Consiste en alimentar el campo solar directamente con agua líquida a presión, de tal forma que esta agua se precalienta, evapora y se convierte en vapor

sobrecalentado conforme circula desde la entrada hasta la salida de las filas paralelas de captadores que componen el campo solar, este proceso es conocido como Generación Directa de Vapor (GDV por sus siglas en español, o DSG, Direct Steam Generation por sus siglas en Inglés).

El tener un flujo bifásico agua líquida / vapor, en una gran parte del campo solar generan una gran serie de obstáculos. Este tipo de fluido ya se encuentra en experimentación desde 1987 en España en la planta experimental DISS (Direct Solar Steam) de la Plataforma Solar de Almería (PSA) (Guía técnica de la energía solar termoelectrica, 2012)

A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas de este fluido (Muñoz, 2008), (Guía técnica de la energía solar termoelectrica, 2012), (Zarza E. , Generación directa de vapor con colectores solares cilindro parabólicos Proyecto (DISS), 2003)

VENTAJAS

- Es benigno medioambientalmente hablando ya que se trata de agua, no existe riesgo de incendios, contaminación por derrame del fluido en caso de fugas.
- Menor punto de congelación (0°C)
- Alto coeficiente de película que se genera con el cambio de fase y su alto calor de vaporización.

DESVENTAJAS

- Necesidad de disponer de un sistema especial de almacenamiento térmico mediante calor latente (cambio de fase).
- Falta de refrigeración por ausencia de fase líquida en la superficie refrigerada que evacúe de forma eficiente la energía térmica.
- Se puede romper el conducto por formación de excesivas tensiones térmicas.
- Se puede tener problemas de corrosión debido a infiltraciones de aire en el condensador.

3.6 GASES A PRESION

En el año 2007 se construyó en la Plataforma Solar de Almería (PSA) una planta experimental para el estudio de la viabilidad técnica de gases a presión (CO₂, N₂, etc.) como fluidos de trabajo para concentradores de foco lineal como son los captadores cilindro parabólicos y los concentradores lineales de Fresnel, los experimentos realizados en la PSA durante los últimos años con CO₂ a presiones del orden de 50 bar, han puesto de manifiesto la viabilidad técnica de esta opción (Rodríguez – García et al., 2009), pero es necesario aún determinar la viabilidad comercial, debido a la mayor caída de presión en las tuberías cuando el fluido de trabajo es un gas obliga a adoptar diseños modulares para el campo solar, lo cual podría aumentar su costo (Guía técnica de la energía solar termoelectrica, 2012).

La idea de utilizar gas como fluido caloportador siempre se ha restringido al campo nuclear, estos fluidos tienen como ventaja la estabilidad térmica en un amplio rango de temperaturas de trabajo, lo que ayuda a combatir problemas de corrosión, aunque no son eliminados totalmente.

3.7 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE FLUIDOS

A continuación se presenta comparaciones entre los fluidos mencionados anteriormente para determinar las principales ventajas y desventajas que se pueden obtener entre ellos.

3.7.1 FLUIDO TÉRMICO EN COMPARACIÓN CON EL AGUA

Las ventajas más evidentes del uso de un fluido térmico en comparación con el agua, son:

- Temperaturas de operación altas, hasta 300°C a presión atmosférica.
- Fácil ajuste de la temperatura de funcionamiento.
- No es necesario ningún equipo de pre-tratamiento o mantenimiento de agua de alimentación a calderas.
- No hay pérdida de calor debido a la condensación, y por consiguiente alta eficiencia.

- No hay riesgo de corrosión.
- Bajos costes de mantenimiento.
- Funcionamiento silencioso, sin trazos de vapor o ruido vapor flash - condensado.
- Mucho más fácil de manejar.

Entre las principales desventajas del uso de aceite térmico frente al agua están:

- Capacidad de calor muy alta en movimiento, que requiere de bombas recirculadoras y válvulas especiales, así como un alto grado de aislamiento térmico.
- Degradación con el tiempo del aceite térmico. No deben existir por ningún motivo fugas de aceite térmico.
- Peligro de fuego, contaminación y envenenamiento.
- Costo alto del aceite térmico.
- Control excesivo necesario del aceite térmico (degradación).

3.7.2 ACEITE SINTÉTICO EN COMPARACIÓN CON EL ACEITE MINERAL

Comparando el aceite sintético con el mineral, el primero brinda estabilidad térmica más elevada (cercana a los 400°C), particularmente en el rango superior de temperatura de uso y una mejora significativa de bombeabilidad en temperaturas bajas. (Guía técnica de la energía solar termoelectrica, 2012), mientras que los aceites minerales pueden llegar a soportar temperaturas de hasta 320°C, sus prestaciones tienden a ser menores que los aceites sintéticos. Para plantas termosolares que se encuentran en operación, uno de los limitantes es el fluido térmico que actualmente es de aproximadamente 400°C, si se llegara a trabajar a temperaturas superiores a esta el aceite se oxidaría.

3.7.3 ACEITE SINTÉTICO EN COMPARACIÓN CON OTROS FLUIDOS

En la tabla N. 16 se presenta la comparación de los fluidos de trabajo mencionados en el apartado anterior respecto al aceite térmico.

Tabla 16

Comparación de diversos fluidos de trabajo alternativos al aceite térmico

FLUIDO	VENTAJAS SOBRE EL ACEITE	DESVENTAJA SOBRE EL ACEITE
Sales Fundidas	Temperatura de vapor más alta	altas temperaturas de cristalización (>125C)
	Sin riesgo de contaminación o incendio	diseño de campo solar más complejo
	mejor almacenamiento térmico	mayores consumos
Generación Directa de Vapor	diseño simple de la planta	falta de un almacenamiento térmico adecuado
	temperatura de vapor más alta	sistema de control del campo solar más complejo
	sin riesgo de contaminación o incendio	mayor presión en el campo solar
Gases a Presión	temperatura de vapor más alta	baja refrigeración de los tubos receptores
	se mejora el sistema de almacenamiento térmico	sistema de control del campo solar más complejo
	sin riesgo de contaminación o incendio	mayor presión en el campo solar.

Fuente: (Guía técnica de la energía solar termoelectrica, 2012)

3.7.4 AGUA – VAPOR EN COMPARACIÓN CON FLUIDO TÉRMICO

Entre las principales ventajas que se pueden tener al utilizar la generación directa de vapor (Agua – vapor) respecto al fluido HTF (Rivas, 2011), se tiene:

- Desde el punto de vista medioambiental, ya que no es inflamable y es biodegradable.

- Aumenta el rendimiento del ciclo debido al aumento de temperatura máxima de trabajo del bloque de potencia, el sistema HTF se encuentra limitado a una temperatura de operación aproximada de los 400C, en ningún caso superior.
- Se reduce el tamaño del campo solar para una misma capacidad de generación, ya que desaparece el intercambiador de calor aceite térmico – agua, y se reduce también el costo de inversión.
- Se simplifica el esquema de la planta, ya que además de eliminar el intercambiador de calor aceite térmico – agua, se eliminan también los sistemas auxiliares asociados al sistema de aceite.
- Disminuye el costo de operación y mantenimiento.

Entre las desventajas que se tiene del sistema Agua – vapor frente al aceite térmico están:

- Tuberías, accesorios, y válvulas mucho más robustos en todo el campo solar debido a que se trabaja con altas presiones, lo que representa altos costos de inversión.
- Mantener mecanismos de protección contra la congelación en tubos absorbentes cuando las temperaturas ambientales sean negativas.
- Mantener caudales medios o altos de agua circulando por los tubos absorbentes para evitar tener régimen estratificado de flujo en la zona evaporativa.
- Sistemas de control más complejos y costosos.
- Falta de sistema de almacenamiento térmico adecuado.

3.8 SELECCIÓN DEL ACEITE TÉRMICO

Por lo mencionado en el apartado anterior, las sales fundidas quedan descartadas por su alto punto de fusión, valor que supera los 200°C que es prácticamente la temperatura promedio de funcionamiento que se ha planteado para esta investigación, además no está disponible en el país y requiere de calentamiento auxiliar.

De igual forma se tiene con el sodio líquido, gases a presión, y agua – vapor, para este proyecto en concreto tampoco son viables debido que se encuentran en etapa de investigación en pequeños campos termosolares implementadas, además que el prototipo de investigación es un una micro central compuesta únicamente por 18 colectores.

Las alternativas que quedan son el agua y el aceite térmico, de estas dos alternativas descartamos al agua, debido a su alta presión que presenta en temperaturas superiores a los 200°C, lo que implica tener sistemas de tubería, válvulas y protecciones más robustas además de realizar un tratamiento al agua para minimizar la dureza que habitualmente suele tener y que causa corrosión.

Por tal motivo para este proyecto de investigación la mejor alternativa es el fluido térmico, y dentro de estas son los aceites minerales de transferencia de calor (Texatherm 46 o el Shell termia Oil B), ya que estos tienen puntos de fusión (-12°C) inferiores al therminol VP1 (12°C) y al Dowtherm que son los que frecuentemente se utilizan para plantas termosolares de algunos megavatios de potencia (generalmente 50MW).

Los aceites minerales para transferencia de calor mencionados en el apartado 3.2.2 se encuentran disponibles en el país, además este tipo de fluidos son empleados en las calderas que funcionan con fluido térmico, ya que actualmente el aceite térmico es la alternativa tecnológica más apropiada para todo tipo de industria donde se precise del calentamiento indirecto, además no exige un nivel alto de mantenimiento como sucede con las calderas de vapor. Se trata de equipos que trabajan sin presión y sin agua, lo que evita gran parte de la problemática del vapor: fugas, corrosiones, tratamiento de agua, etc., y que conllevan a un elevado grado de mantenimiento.

Adicionalmente, la durabilidad de los equipos y de las instalaciones es prácticamente ilimitada, pudiéndose aplicar en todo tipo de sectores: químico, petroquímico, alimentario, hotelero, hospitalario, plástico, farmacéutico, etc.

Originalmente los primeros procesos que usaron aceite térmico fueron aquellos que requerían elevadas temperaturas de calentamiento. Dicho de otro modo, aquellos procesos donde la aplicación del vapor no representaba una alternativa cómoda. Es así que ahora la industria moderna utiliza estos equipos incluso en los casos en que las temperaturas son relativamente bajas (alrededor de los 100°C).

Es importante considerar que la temperatura del proceso es la temperatura promedio del líquido térmico, pero en las paredes del calentador de aceite, donde el aceite viaja en el interior de tubos que del otro lado están expuestos a la flama del quemador o en este caso a la radiación solar, se forma una pequeña capa de aceite que se encuentra a una temperatura mayor a la promedio, denominada temperatura de film. La selección correcta del aceite térmico, se debe hacer de acuerdo a la temperatura máxima de film y no de acuerdo a la promedio.

3.9 ACEITES VEGETALES COMO ALTERNATIVA AL FLUIDO DE TRABAJO

En la presente investigación se busca determinar también otra alternativa a la mencionada en la selección del fluido de trabajo, por esta razón se desarrolla análisis de parámetros y ensayos utilizando aceites vegetales comestibles, dentro de los aceites vegetales se trabaja con tres tipos de aceites comestibles que se encuentran comercialmente en el mercado como son aceite de girasol, aceite vivi soya y aceite sabrosón.

En el siguiente capítulo se presentan los ensayos realizados a los aceites comestibles mencionados obteniendo valores de presión a diferentes temperaturas, se realiza la tabulación de datos y se generan las gráficas respectivas.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS CON ACEITES VEGETALES COMESTIBLES

El presente capítulo corresponde al estudio de tres aceites vegetales comestibles que se utilizan en la cocina para las distintas actividades de preparación de alimentos, estos ensayos se los realiza para determinar su viabilidad de utilizarlos como fluido térmico, y luego realizar la comparación con un aceite sintético que cumplen con la función caloportadora mencionados en el capítulo 3 (Texatherm y Shell termia Oil B) y que fueron seleccionados como las mejores alternativas para este caso específico.

La oferta actual de aceites de cocina en el país es homogénea en su producción y procesos, lo único que los diferencia es la tecnología y materias primas que utilizan cada uno de ellos. Existen diferentes empresas que ofrecen en el mercado nacional aceites de cocina, y cada proveedor cuenta con varios tipos de aceites y presentaciones de acuerdo a la materia prima utilizada, los precios de venta son muy similares entre ellos y se encuentran en valores promedio de 2,50 dólares el litro de aceite, es importante mencionar que mientras el envase es más pequeño el precio aumenta, es decir si se pretende comprar la presentaciones de 500ml, el precio de este bordea 1,60 dólares, de igual manera sucede si el envase que se compra es de 2 litros, el precio está alrededor de 4,50 dólares.

A continuación se presenta en el siguiente cuadro, los aceites fabricados por tres diferentes proveedores con sus productos que tienen mayor disponibilidad en el país.

Tabla 17

Productores de aceites de cocina

Fabricante	Producto
DANEC	Aceite el cocinero
	Aceite el cocinero light
	Aceite vivi girasol
	Aceite vivi canola
	Aceite palma de oro
	Aceite mazorca de oro
	Aceite vivi soya
INDUSTRIAS	Aceite alesoya
ALES	Aceite alesol vitaminas
	Aceite duque de alba girasol
	Aceite alesoya olivado
	Aceite alesol
	Aceite dos coronas
LA FABRIL	Aceite Luigi
	Aceite girasol
	Aceite la favorita light
	Aceite la favorita
	Aceite la perla
	Aceite criollo
	Aceite sabrosón

Los aceites con los que se van a realizar los ensayos son aceite “Sabrosón” y aceite de “Girasol” de la empresa Lafabril, y el aceite “Vivi Soya” del fabricante Danec.

4.1 PROTOTIPO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS

Con la finalidad de determinar el comportamiento de los aceites a diferentes temperaturas, se construyó un prototipo para este fin, en este se realizaron diferentes pruebas de calentamiento, en la siguiente figura se muestra un bosquejo del equipo construido.

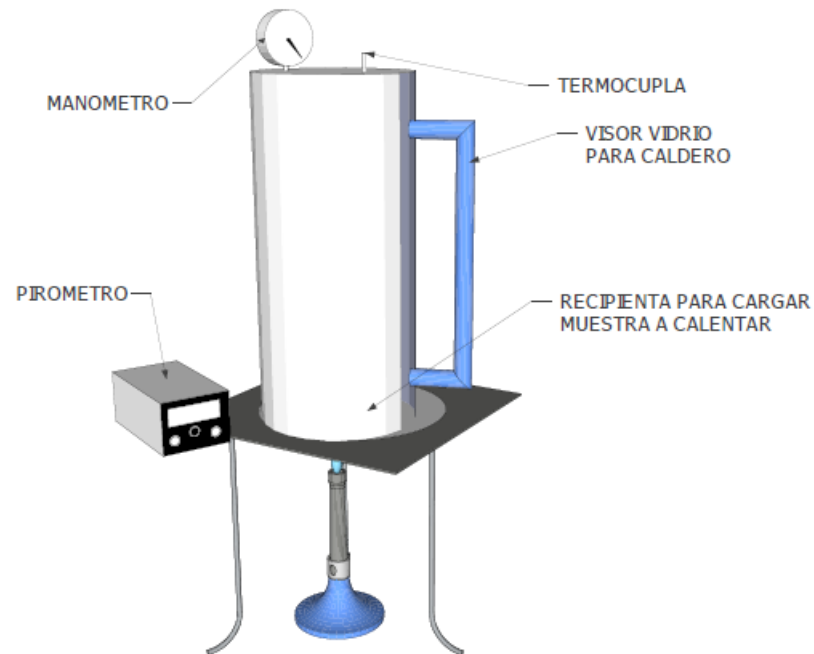


Figura 36. Bosquejo de equipo calentador de muestras de aceite.

El equipo construido consta de:

- Un cilindro en acero inoxidable de 1 litro de capacidad, realizado en este material para evitar contaminación del aceite con el material del cilindro, en la parte superior cuenta con un orificio para el llenado del aceite a calentar, y en la parte inferior cuenta con una válvula de drenaje para poder vaciar el aceite utilizado.
- Manómetro para medir la presión del aceite dentro del cilindro que se encuentra en calentamiento.
- Medidor de temperatura, es un controlador digital marca “Camsco” con su respectiva termocupla tipo J, que permite visualizar la temperatura en una pantalla LCD.
- Dos mecheros bunsen, utilizados para calentar al cilindro que contiene dentro al aceite.
- Trípode, es un aparato de tres patas de base circular o triangular, utilizado como herramienta de fijación o de sostén.

- Malla de amianto, este instrumento se coloca sobre el trípode para que a su vez sea este quien permita asentar el recipiente a calentar, esta malla permite que el calor se distribuya de forma uniforme sobre la base del recipiente

En la siguiente figura se muestra el prototipo construido.



Figura 37. Equipo construido para el calentamiento de aceite.

4.2 PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y PRESIÓN

El procedimiento realizado para el calentamiento de las muestras de aceite, es el descrito a continuación:

- a) Se coloca la muestra a ser analizada en una probeta con capacidad de 500ml.
- b) Se cierra la válvula de drenaje del prototipo calentador de muestras, ubicado en la parte inferior.
- c) Se vierte la muestra de la probeta de 500ml dentro del cilindro del prototipo calentador, a través del orificio para llenado.
- d) Se cierra el orificio de llenado con un tapón que contiene la termocupla, de tal forma que el cilindro queda sellado herméticamente y el instrumento de medición de temperatura también se encuentra en posición.

- e) Se coloca la malla de amianto sobre el trípode.
- f) Se coloca el cilindro con la muestra de aceite sobre la malla de amianto.
- g) Se colocan los dos mecheros bunsen bajo la malla de amianto, en medio del trípode y se encienden para iniciar la generación de calor al cilindro.
- h) Se toman mediciones de temperatura inicial que corresponde a la temperatura ambiente.
- i) Se realiza mediciones de presión con intervalos de 1 psi, y se anotan los valores de temperatura correspondientes. Este procedimiento se lo realiza hasta llegar a temperaturas cercanas a 300°C.
- j) Se procede a apagar los mecheros bunsen y se permite que la muestra se enfríe.
- k) Se destapa el orificio de llenado de aceite para eliminar la presión negativa que se encuentra en el interior del cilindro debido al enfriamiento del aceite.
- l) Una vez que el aceite se encuentra a la temperatura ambiente se realiza mediciones de densidad.
- m) Se vacía el cilindro en un recipiente de 500ml.
- n) Se limpia el cilindro con tal cuidado de no permitir que quede material sobrante dentro del cilindro para evitar que afecte a las condiciones de la siguiente muestra que va a ser ensayada.

Este procedimiento se lo realizó con los tres aceites vegetales

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE CALENTAMIENTO

Luego de realizar el procedimiento descrito anteriormente, se presenta a continuación los resultados obtenidos para cada aceite utilizado, las tablas generadas corresponden a los datos promedios recolectados durante el primero y segundo mes de pruebas de calentamiento, y finalmente se generan las curvas con estos datos obtenidos.

4.3.1 ACEITE MARCA “SABROSÓN”

Este aceite pertenece a la empresa fabricante La Fabril, cuyas características según el fabricante tienen excelente estabilidad frente al calor, no contiene ácidos grasos "trans". Está formado por una mezcla de aceite de soya y oleína de palma, viene en una variedad de presentaciones:

- Funda de 1/2 litro / Caja x 24 unidades.
- Funda de 1 litro / Caja x 12 unidades.
- Botella 900 ml / Caja x 15 unidades.
- Botella 1 litro / Caja x 15 unidades.
- Garrafa de 3.784 litros / Caja x 6 unidades.
- Bidón de 20 litros.



Figura 38. Presentación en funda de ½ litro de aceite “Sabrosón”.

Los datos que se presentan a continuación tablas 2 y 3 pertenecen al promedio del calentamiento del aceite vegetal “Sabrosón” correspondiente al primer y segundo mes respectivamente, los datos obtenidos durante todo el tiempo de ensayos se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 18

Presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, primer mes de calentamiento.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	20	20	21	21	20	20	21	21	20	20
2	46	48	52	51	52	50	48	52	53	52
3	76	79	80	78	79	83	80	80	82	84
4	106	106	110	115	115	112	112	110	110	112
5	124	126	132	130	136	140	136	130	134	134
6	148	150	150	152	154	150	152	156	156	152
7	170	174	174	172	180	182	178	178	176	182
8	194	200	198	204	200	200	202	206	210	202
9	228	230	232	228	234	230	238	232	236	238
10	268	270	270	274	270	272	276	272	276	274
11	285	290	288	292	292	290	288	290	290	288
12	300	304	300	302	304	302	306	304	306	302
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	19	20	19	20	21	20	21	20	19	19
2	51	53	50	51	50	53	48	48	47	52
3	86	84	80	80	82	84	83	85	80	84
4	115	118	115	114	116	110	110	112	112	110
5	130	136	138	138	134	136	138	134	134	136
6	154	156	154	156	158	156	158	156	158	156
7	182	180	178	178	174	176	176	180	178	178
8	204	206	210	210	204	206	210	204	206	210
9	240	238	240	238	238	242	238	244	238	238
10	278	276	274	278	274	274	276	278	278	276
11	286	290	288	288	292	290	292	290	294	296
12	304	300	304	300	302	304	306	306	304	306
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	20	20	19	20	19	21	21	20	20	19
2	52	50	51	54	50	48	48	46	52	52
3	86	84	82	84	86	84	86	82	84	86
4	112	115	115	114	112	112	110	112	114	116
5	138	140	134	134	136	138	136	136	130	134
6	158	160	158	160	156	160	156	156	158	160
7	176	176	174	180	180	178	176	180	180	180
8	206	210	208	208	206	210	206	208	210	208
9	240	242	246	240	240	242	244	244	246	246
10	276	274	274	276	274	274	272	276	276	278
11	290	290	288	294	292	292	294	288	290	294
12	304	302	302	304	306	306	304	306	304	304

Tabla 19

Presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, segundo mes de calentamiento.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	20	20	21	20	20	19	19	20	21	20
2	50	54	56	52	52	56	50	52	51	55
3	80	86	84	82	88	90	84	90	90	86
4	110	116	118	120	118	120	120	122	126	128
5	146	150	150	148	150	148	150	152	148	150
6	178	188	186	182	190	182	180	182	184	182
7	190	200	204	208	210	208	214	220	224	222
8	240	244	240	246	248	254	250	254	250	252
9	274	276	274	278	280	276	280	274	276	274
10	294	296	296	302	298	304	308	306	310	314
11	316	310	320	324	326	320	322	326	324	326
12	330	330	326	330	334	338	336	336	332	332
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	20	21	20	20	19	19	20	19	21	20
2	52	56	52	53	55	56	56	50	55	51
3	84	86	90	88	94	94	92	90	96	94
4	128	126	124	126	126	128	132	130	130	130
5	148	150	148	148	150	152	152	150	144	160
6	194	196	188	186	186	182	180	178	184	184
7	224	226	220	218	222	224	228	228	224	226
8	254	250	258	260	258	256	258	260	256	254
9	274	280	276	276	278	276	279	280	278	280
10	310	308	309	310	310	308	306	308	310	310
11	328	318	318	324	326	324	328	330	328	326
12	330	328	328	328	330	334	336	340	340	338
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	19	18	20	19	19	21	20	21	20	20
2	54	54	56	60	60	58	56	55	58	58
3	90	92	88	96	96	90	94	96	98	98
4	128	128	130	130	126	128	130	130	126	130
5	150	154	146	150	162	150	152	160	162	164
6	180	178	194	188	188	190	186	190	192	188
7	218	216	218	220	222	224	218	216	224	224
8	254	250	258	260	258	260	262	258	254	254
9	278	280	276	278	278	270	278	284	280	284
10	304	309	310	314	312	310	312	310	314	312
11	330	330	328	326	322	330	322	320	318	324
12	338	336	334	336	334	338	334	336	336	338

Tabla 20

Promedio de Presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, primer mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
20	0
50	2
82	3
112	4
134	5
156	6
180	7
206	8
238	9
275	10
290	11
304	12

Tabla 21

Promedio de presión a diferentes temperaturas del aceite sabrosón, segundo mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
20	0
54	2
90	3
126	4
152	5
186	6
218	7
254	8
278	9
308	10
324	11
334	12
338	13
348	14

De las tablas anteriores se genera la curva de comportamiento de la presión del aceite sabrosón en función de la temperatura, se realizó dos tablas promedios de

calentamiento para observar si la variación de presión que ejerce el aceite es directamente proporcional a la temperatura y al número de calentamientos.

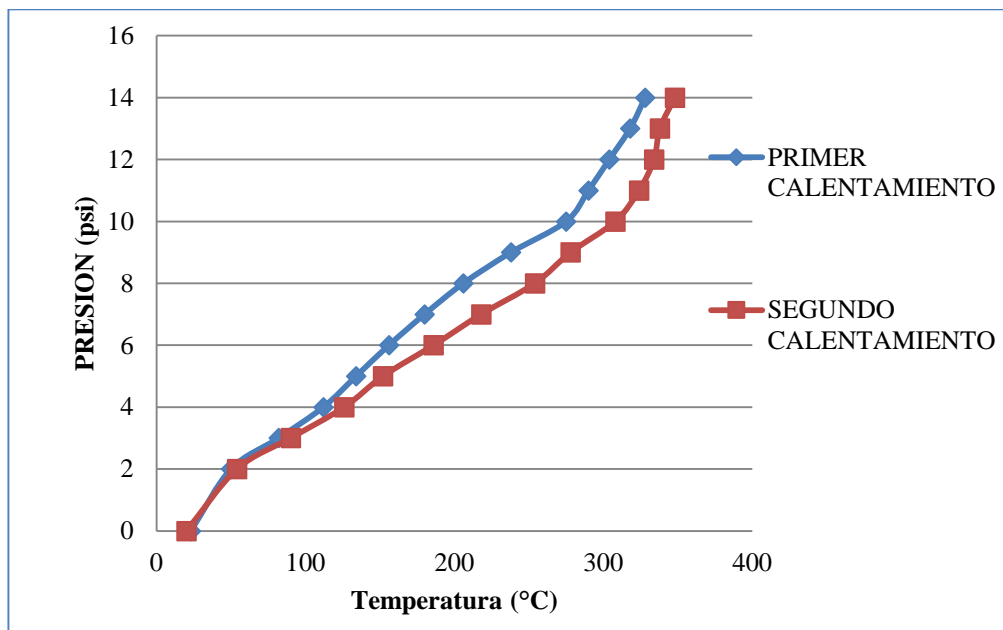


Figura 39. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite marca “Sabrosón”.

En el siguiente gráfico se presenta una comparación del aceite antes y después de las pruebas realizadas.



Figura 40. Aceite sabrosón antes y después del calentamiento.

4.3.2 ACEITE DE GIRASOL

Este aceite pertenece a la empresa fabricante La Fabril, cuyas características según el fabricante son aceite de color claro y brillante, rico en ácidos grasos poli – insaturados, contiene aceites vegetales como el Omega 6, no contiene aditivos ni preservantes, no contiene ácidos grasos "trans".

Viene en una variedad de presentaciones:

- Mini sol / 150 ml
- Doypack / 250ml
- Botella de 1/2 litro / Caja x 30 unidades.
- Botella de 1 litro / Caja x 12 unidades.
- Botella de 2 litros / Caja x 8 unidades.



Figura 41. Aceite Girasol.

Los datos que se presentan a continuación corresponden al promedio del calentamiento del aceite vegetal “Girasol” correspondiente al primer mes, los datos obtenidos durante todo el tiempo de ensayos se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 22

Presión a diferentes temperaturas del aceite Girasol, primer mes de calentamiento.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	21	21	21	21	21	21	20	21	21	21
2	54	55	55	54	55	52	54	54	55	54
3	84	80	80	80	82	82	83	84	85	85
4	112	106	106	110	115	115	112	112	110	110
5	140	136	138	138	138	136	140	136	136	142
6	158	158	159	156	158	154	158	158	160	160
7	178	176	178	174	178	180	182	178	178	176
8	206	194	200	198	204	200	200	202	206	210
9	226	224	222	226	228	226	228	228	224	224
10	256	258	260	256	256	254	254	256	252	254
11	276	274	274	276	278	278	276	278	280	280
12	290	290	294	290	292	288	292	296	294	296
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	21	21	20	21	20	21	21	21	20	20
2	52	54	55	54	51	54	53	50	52	55
3	84	86	84	83	82	82	84	85	85	84
4	112	115	118	115	114	116	110	110	112	112
5	140	142	142	138	140	142	142	138	142	140
6	158	156	158	158	156	158	156	158	156	158
7	182	182	180	178	178	174	176	176	180	178
8	202	204	206	210	210	204	206	210	204	206
9	226	228	226	224	224	226	228	228	230	230
10	256	258	258	256	254	254	254	256	258	258
11	278	276	270	278	278	282	280	282	280	274
12	292	290	288	294	288	288	286	290	288	294
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	20	20	20	20	20	20	21	21	20	20
2	52	52	56	52	56	50	52	54	55	55
3	84	86	83	82	84	86	84	86	85	84
4	110	112	115	115	114	112	112	110	112	114
5	138	140	140	138	142	140	140	142	140	140
6	156	158	160	158	160	156	160	156	156	158
7	178	176	176	174	180	180	178	176	180	180
8	210	206	210	208	208	206	210	206	208	210
9	224	224	226	224	226	226	224	228	225	224
10	256	256	254	254	256	254	254	252	256	256
11	276	274	276	274	274	272	272	274	278	274
12	296	292	290	288	288	286	286	290	288	286

Tabla 23

Presión a diferentes temperaturas del aceite Girasol, segundo mes de calentamiento.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	22	23	23	23	22	23	23	23	23	22
2	54	56	56	58	58	58	56	58	59	60
3	90	92	92	94	94	96	94	94	95	95
4	128	130	126	130	130	125	130	124	128	129
5	150	156	158	158	158	156	150	156	156	152
6	170	176	179	176	178	174	178	178	180	180
7	200	206	208	204	208	200	202	208	202	202
8	226	224	230	228	228	230	230	232	226	230
9	256	254	262	260	258	260	258	258	254	254
10	286	288	280	286	286	284	284	286	282	284
11	296	294	294	296	298	298	296	298	300	290
12	310	310	308	310	308	308	308	306	304	306
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	23	23	23	23	23	22	23	23	22	23
2	60	60	58	58	58	59	60	60	58	58
3	94	96	94	93	92	92	94	95	95	94
4	130	125	128	128	130	126	126	130	122	124
5	150	152	152	158	160	162	162	158	162	160
6	178	176	178	178	180	178	176	178	180	178
7	202	206	204	206	208	204	206	206	200	208
8	232	224	226	230	230	224	226	230	224	226
9	256	258	262	254	254	262	258	258	260	260
10	286	288	288	286	284	284	284	286	288	288
11	298	296	300	298	298	298	300	302	300	300
12	310	308	308	304	308	308	306	310	308	304
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	22	23	22	23	22	23	23	22	22	22
2	56	60	60	60	58	58	56	54	58	58
3	94	96	93	92	94	96	94	96	95	94
4	124	122	125	125	130	130	132	132	128	130
5	158	160	160	168	160	160	162	162	160	160
6	176	178	180	178	180	176	180	176	176	178
7	208	206	206	204	200	200	208	206	200	200
8	232	226	230	228	228	226	230	226	228	230
9	254	254	260	256	256	260	260	258	255	258
10	286	280	284	280	286	280	284	282	280	280
11	296	294	296	300	294	298	298	300	298	300
12	306	308	310	308	308	306	306	310	308	306

Tabla 24

Presión a diferentes temperaturas del aceite girasol, primer mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
21	0
54	2
84	3
112	4
140	5
158	6
178	7
206	8
226	9
256	10
276	11
290	12
302	13

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos durante el segundo mes de ensayos

Tabla 25

Presión a diferentes temperaturas del aceite Girasol, segundo mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
23	0
58	2
94	3
128	4
158	5
178	6
204	7
228	8
258	9
284	10
298	11
308	12
314	13

De las tablas anteriores se genera la curva de comportamiento de la presión del aceite de Girasol en función de la temperatura.

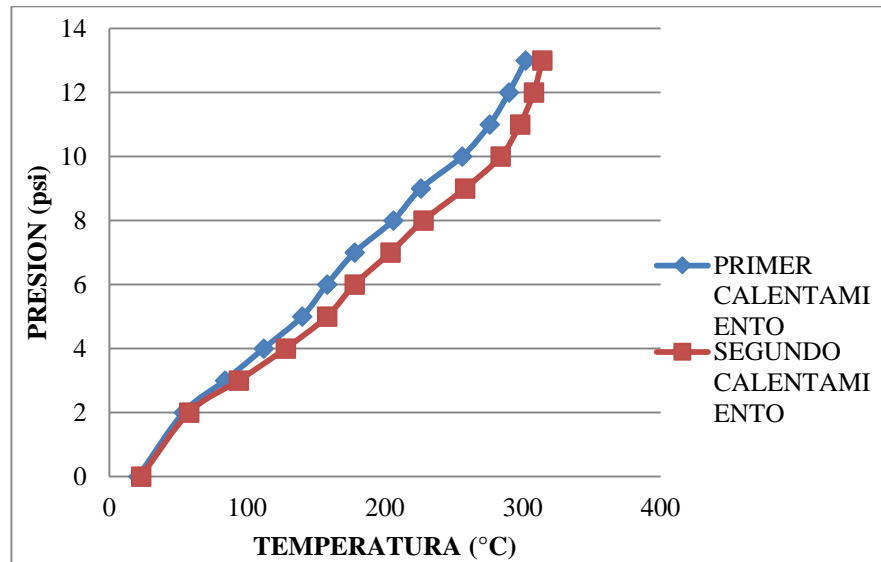


Figura 42. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite de Girasol.

En el siguiente gráfico se presenta una comparación del aceite antes y después de las pruebas realizadas.

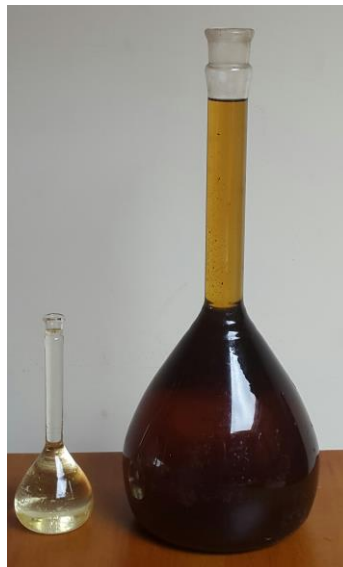


Figura 43. Aceite Girasol antes y después del calentamiento.

4.3.3 ACEITE VIVI SOYA

Este aceite pertenece a la empresa fabricante Danec, cuyas características según el fabricante tienen excelente estabilidad frente al calor, no contiene ácidos grasos "trans", composición: aceite vegetal comestible de soya y antioxidantes TBHQ (terbunil hidroquinona). Viene en una variedad de presentaciones:

- Botella de 1/2 litro / Caja x 24 unidades.
- Botella de 1 litro / Caja x 12 unidades.
- Botella de 1.8 litro / Caja x 6 unidades.



Figura 44. Aceite Vivi soya.

Los datos presentados en la Tabla N.6 corresponden al promedio del calentamiento del aceite vegetal “Vivi Soya” tomados el primer mes de ensayos, y los datos presentados en la Tabla N.7 corresponden al promedio del calentamiento obtenidos durante el segundo mes de ensayos, todos los valores obtenidos se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 26

Presión a diferentes temperaturas del aceite Vivi soya, primer mes de calentamiento.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	18	18	19	19	18	18	19	18	18	18
2	44	45	45	44	45	42	44	44	45	44
3	72	70	70	70	72	72	73	74	75	75
4	102	106	96	100	105	105	102	102	100	100
5	122	126	128	128	128	126	130	126	126	122
6	140	138	139	136	138	134	138	138	140	140
7	152	146	148	154	158	160	152	148	148	146
8	164	164	160	168	164	170	170	162	166	160
9	176	174	178	176	178	176	178	178	174	174
10	190	188	190	196	196	194	194	196	192	194
11	200	204	204	206	202	198	196	198	200	198
12	212	211	214	214	212	214	212	216	214	216
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	19	19	18	18	18	18	18	18	19	20
2	42	44	45	44	41	44	43	40	42	45
3	74	70	74	73	72	72	70	75	70	74
4	102	100	98	95	94	106	100	100	102	102
5	120	122	122	125	122	122	106	120	122	118
6	142	142	144	142	146	144	140	138	146	146
7	152	152	152	150	148	154	156	156	160	158
8	162	164	166	170	170	164	166	170	164	166
9	176	178	178	174	176	176	178	178	180	180
10	196	198	198	190	184	184	184	186	188	188
11	198	196	200	198	198	194	200	202	200	204
12	201	210	210	214	208	208	208	210	208	214
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2	42	42	46	42	46	41	42	44	45	45
3	74	70	73	72	74	70	70	72	75	72
4	104	102	104	104	104	102	102	100	102	104
5	118	120	124	120	122	120	120	122	120	120
6	138	138	140	138	140	136	140	140	136	136
7	158	158	148	154	150	150	148	150	150	150
8	160	166	160	168	162	166	160	160	158	160
9	174	174	176	174	180	180	174	178	175	146
10	186	186	184	184	186	184	186	190	180	200
11	200	202	206	204	204	202	202	204	198	194
12	216	212	210	218	218	218	216	210	218	206

Tabla 27

Presión a diferentes temperaturas del aceite Vivi soya, segundo mes de calentamiento.

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	23	23	23	22	23	23	22	22	23	23
2	38	35	35	34	38	42	38	38	40	38
3	62	60	60	60	62	62	63	64	65	65
4	84	86	86	90	85	85	82	82	80	80
5	108	106	108	108	108	106	110	106	106	112
6	120	118	119	120	120	124	126	122	120	120
7	138	136	138	134	138	140	142	138	138	136
8	150	151	150	148	148	150	150	152	149	150
9	162	164	166	166	160	162	164	166	154	154
10	170	168	170	166	166	164	164	168	170	170
11	186	184	184	186	188	188	186	188	180	188
12	194	194	194	192	192	194	192	196	194	196
DIA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	23	23	22	23	22	23	23	22	23	23
2	36	36	40	40	36	36	38	38	40	38
3	64	60	65	63	62	62	60	65	60	64
4	82	80	78	78	82	86	86	88	82	88
5	110	112	112	105	110	110	106	110	104	108
6	122	122	124	122	126	124	120	121	120	120
7	142	140	142	140	138	134	136	136	136	138
8	152	154	156	150	156	154	152	150	150	150
9	156	158	158	154	160	162	158	162	164	160
10	176	178	178	170	174	174	174	176	178	170
11	178	186	188	188	188	184	190	190	188	188
12	191	190	190	194	198	198	198	200	198	196
DIA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
P(PSI)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
0	23	23	23	23	23	23	23	22	23	23
2	40	38	38	40	36	39	42	38	40	35
3	64	60	63	62	64	60	60	62	65	62
4	84	84	84	84	84	82	82	86	88	86
5	108	110	114	110	104	110	110	108	104	106
6	118	118	120	118	118	116	120	120	116	116
7	138	138	138	134	140	140	138	138	140	136
8	152	148	148	146	150	146	150	150	148	150
9	164	164	166	164	160	160	164	168	168	166
10	166	166	174	174	171	164	166	168	170	170
11	180	188	186	184	184	182	182	184	188	184
12	196	192	196	196	198	198	196	190	190	190

Tabla 28

Presión a diferentes temperaturas del aceite Vivi soya, primer calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
18	0
44	2
72	3
102	4
122	5
140	6
152	7
164	8
176	9
190	10
200	11
212	12
224	13
244	14
256	15
266	16
284	17
292	18

Tabla 29

Presión a diferentes temperaturas del aceite vivi soya, segundo mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
23	0
38	2
62	3
84	4
108	5
120	6
138	7
150	8
162	9
170	10
186	11
194	12
204	13
220	14
237	15
252	16
270	17
278	18
290	19

De las tablas anteriores se genera la curva de comportamiento de la presión del aceite Vivi Soya en función de la temperatura.

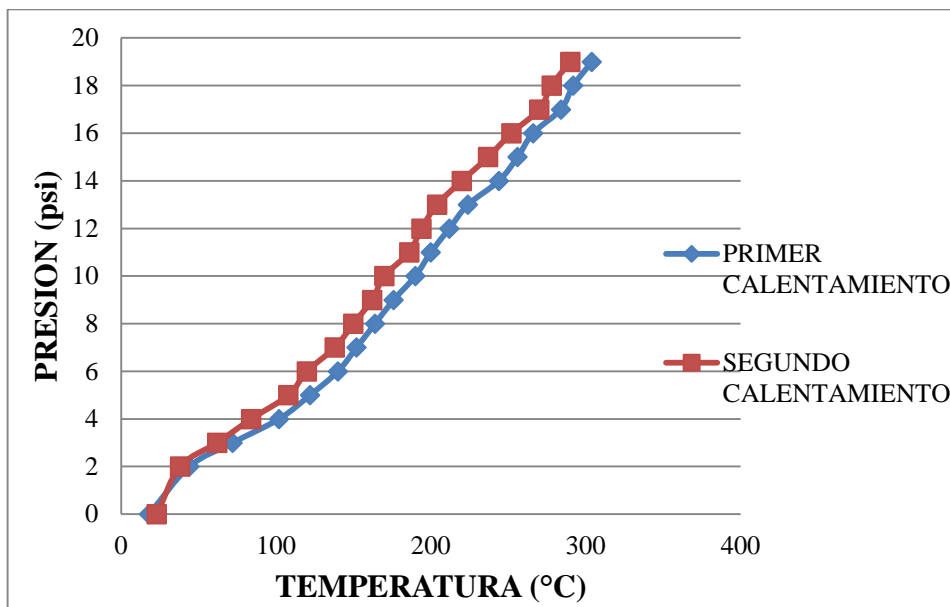


Figura 45. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite de Vivi Soya.

En el siguiente gráfico se presenta una comparación del aceite antes y después de las pruebas realizadas.



Figura 46. Aceite Vivi Soya antes y después del calentamiento.

4.3.4 ACEITE TEGRA ISO 68

Los Tegra synthetic compressor oils son lubricantes sintéticos para compresor, formulados con fluidos a base de polialfaolefina (PAO) de la más alta calidad, brinda excepcional estabilidad térmica y a la oxidación, esto genera larga vida del lubricante en operaciones de alta temperatura, también genera mantenimiento y tiempo de inactividad mínimos, lo que ayuda a promover largos intervalos de servicio lo que puede minimizar los costos de operación (Chevron, 2011). En el Anexo N.7 se presenta mayor información sobre este fluido.

Tabla 30

Características típicas del aceite Tegra Iso 68

Grado ISO	68
Gravedad API	36.5
Viscosidad cinemática	
cSt a 40°C	64.6
cSt a 100°C	10
Indice de viscosidad	139
Punto de inflamación, °C (°F)	252 (504)
Punto de escurrimiento, °C (°F)	< -56 (< -69)
Punto de Ignición, °C (°F)	282 (540)

Fuente: (Chevron, 2011)

Tabla 31

Presión a diferentes temperaturas del aceite Tegra 68, primer mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
20	0
54	2
84	3
112	4
136	5
156	6
174	7
202	8
222	9
238	10
262	11
274	12

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos durante el segundo mes de ensayos

Tabla 32

Presión a diferentes temperaturas del aceite Tegra 68, segundo mes de calentamiento.

TEMPERATURA °C	PRESION PSI
20	0
52	2
82	3
92	4
102	5
110	6
148	7
168	8
188	9
206	10
228	11
242	12

De las tablas anteriores se genera la curva de comportamiento de la presión del aceite Tegra 68 en función de la temperatura.

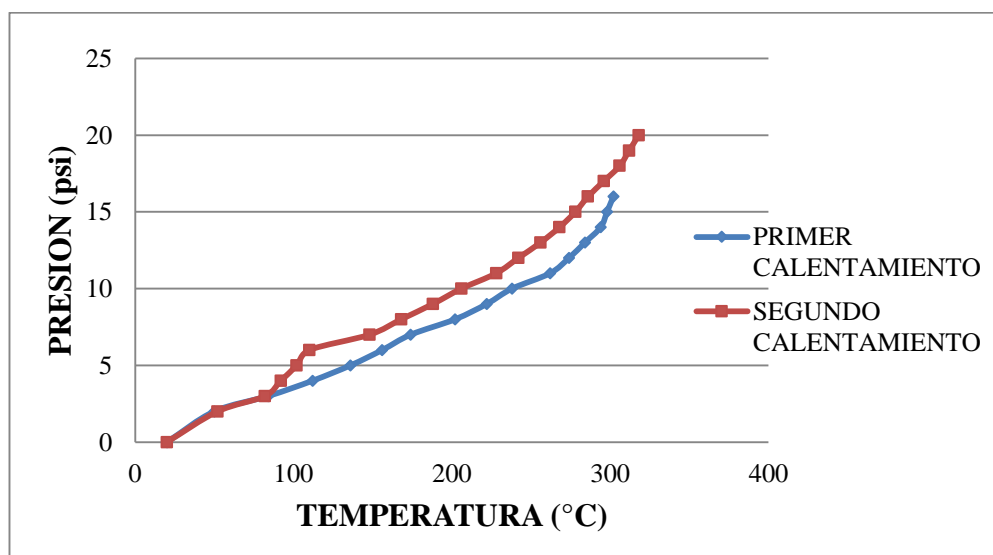


Figura 47. Variación de la presión debido al aumento de temperatura en el aceite Tegra 68.

En el siguiente gráfico se presenta una comparación del aceite antes y después de las pruebas realizadas.



Figura 48. Aceite Tegra 68 antes y después del calentamiento.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos y mostrados en las tablas anteriores de los aceites comestibles y del aceite sintético, se generan las curvas de comportamiento de la presión al variar la temperatura. En una misma gráfica se colocan las tres muestras para que el análisis sea más fácil de entender visualmente, y de esta forma poder plantear cuales tienen una tendencia parecida en el caso de haberlas, de igual forma se puede ver rápidamente hasta que valores se mantiene similares las curvas.

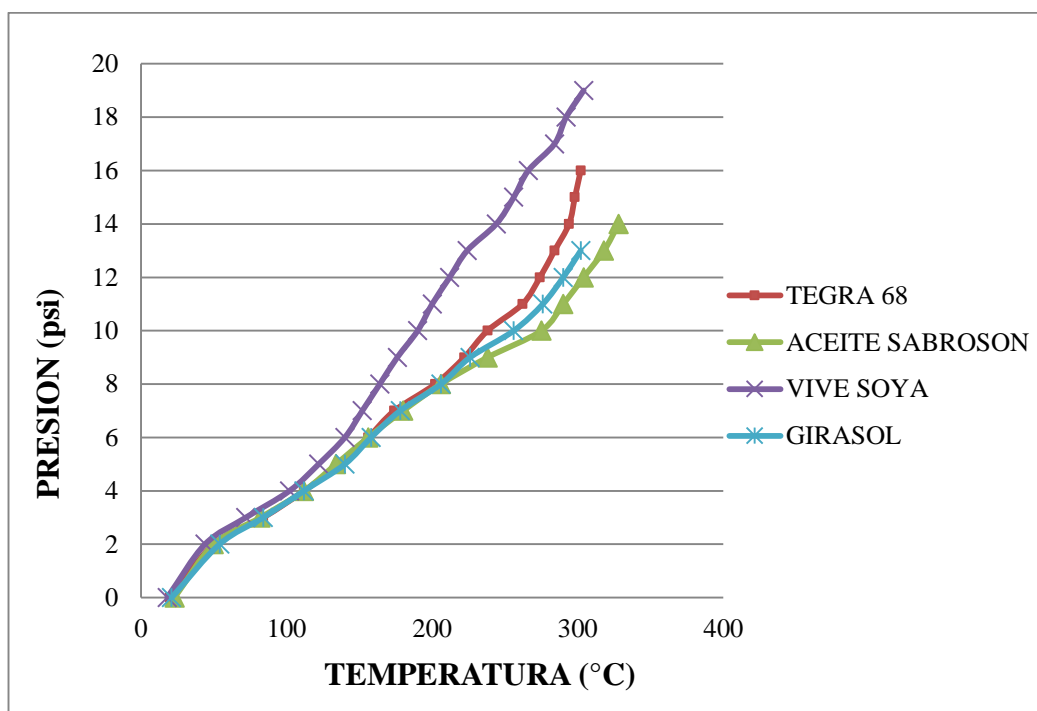


Figura 49. Variación de la presión vs temperatura de los tres aceites comestibles y un aceite sintético en el primer mes de calentamiento.

La gráfica indica que en el primer mes de calentamiento los cuatro aceites tienen un comportamiento similar en cuanto a la variación de presión hasta la temperatura cercana a los 120°C, superior a esta el aceite vivi soya presenta un aumento de presión sobre los otros dos aceites comestibles y el sintético, a medida que se incrementa la temperatura. Mientras que los otros aceites, mantienen sus características muy similares en cuanto a presión hasta temperaturas cercanas a los 240°C, luego de esta se nota una ligera tendencia de subida de presión del aceite Tegra 68 y seguido del aceite de girasol respecto al aceite sabrosón para las mismas condiciones de temperatura.

En la siguiente gráfica se muestran las curvas generadas para el segundo mes de calentamiento de los aceites.

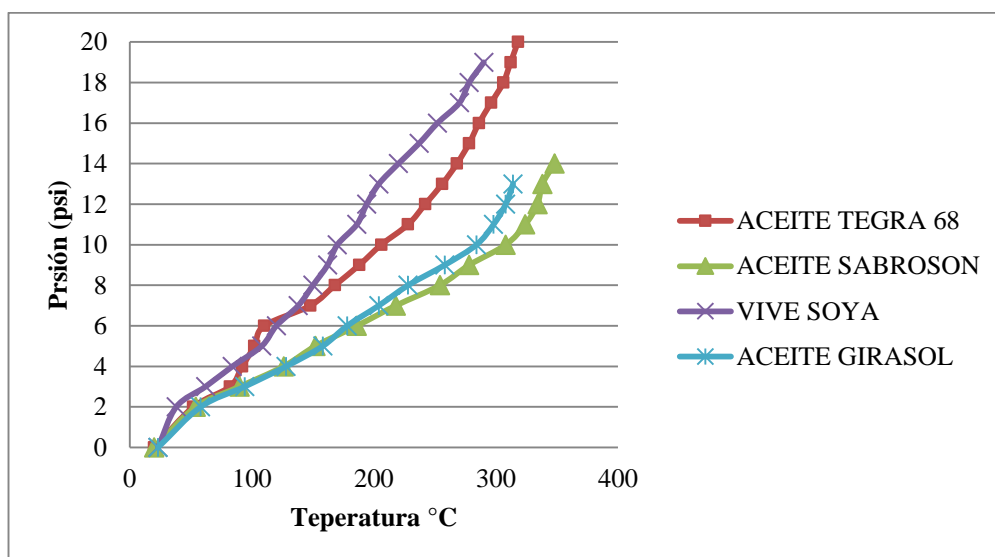


Figura 50. Variación de la presión vs temperatura de los tres aceites comestibles y un aceite sintético en el segundo mes de calentamiento.

En la gráfica anterior correspondiente al segundo mes de calentamiento ya se puede notar una marcada variación del aceite vivi soya y del aceite sintético respecto a los otros dos aceites, prácticamente desde los 30°C se nota un aumento superior de presión sobre el aceite vivi soya, no así en el aceite de girasol y sabrosón que mantienen sus características similares hasta los 220°C, luego de lo cual se nota un ligero incremento de la presión en el aceite de girasol respecto al aceite sabrosón mientras se incrementa la temperatura. El aceite sintético a partir de los 100°C se nota el aumento de presión respecto a los aceites sabrosón y girasol, teniendo una tendencia similar al aceite vivi soya sobre esta temperatura. Esta condición ligera de aumento de presión se mantiene hasta los 300°C, luego de esta temperatura se nota que la presión del aceite de girasol empieza a aumentar de forma más gradual comparado con el aceite sabrosón.

Por lo mencionado respecto a las curvas obtenidas en las gráficas 5.11 y 5.12 se realiza una curva adicional únicamente para los aceites de girasol y sabrosón que son los que mantienen sus características similares, para obtener la ecuación de tendencia polinómica.

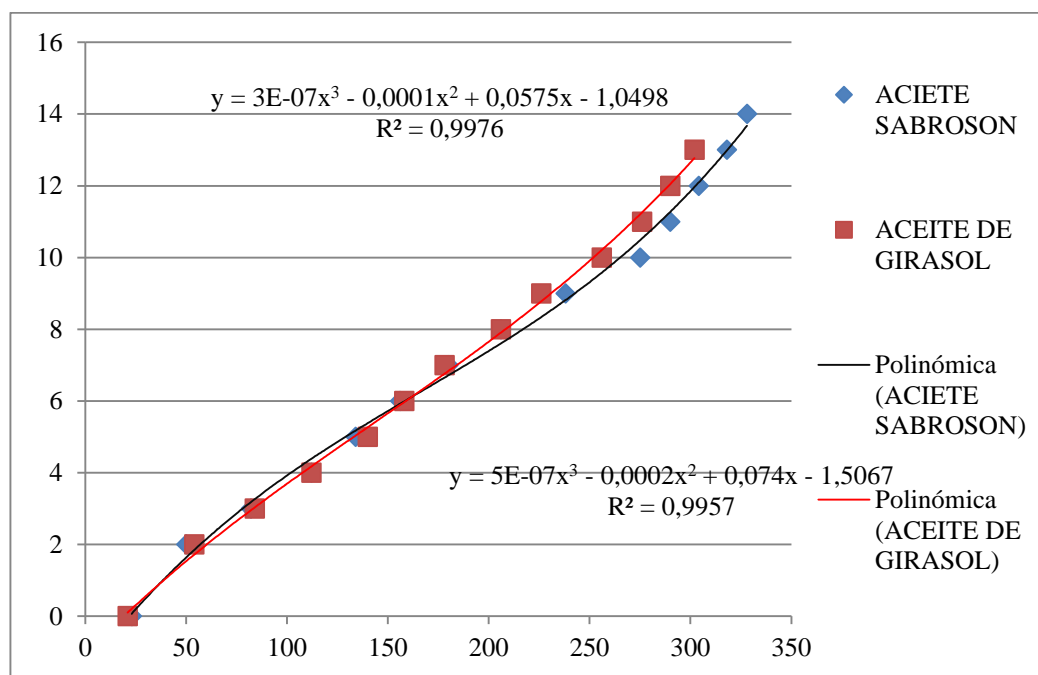


Figura 51. Ecuaciones polinómicas de los aceites sabrosón y girasol.

Con las líneas de tendencia polinómicas graficadas y las ecuaciones generadas se ve que sus valores son muy similares, y que el aceite sabrosón presenta ligera mejor prestación de presión respecto a la temperatura comparado con el aceite de girasol.

4.5 ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO

Adicional a las pruebas realizadas con el prototipo construido, se realizaron ensayos en un laboratorio, en el cual se procedió a realizar el calentamiento de los aceites comestibles en un equipo denominado calentador con agitador magnético, los equipos que se utilizaron para realizar estas pruebas fueron:

- Calentador con agitador magnético
- Balanza electrónica capacidad máxima 800g.
- Erlenmeyer de 500ml de boro silicato.
- Probeta de 250ml
- Termo higrómetro
- Termómetro de mercurio de -20°C a 360°C

- Tapones de caucho
- Medidor de densidad.

4.6 PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LABORATORIO

Los ensayos realizados en laboratorio consistieron en calentar las muestras de aceite durante dos horas y media cada una y determinar la temperatura alcanzada, cambio de color de las muestras, cambio de densidades antes y después de ser calentadas, el procedimiento realizado fue el siguiente:

- a) Se coloca la muestra a ser analizada en una probeta con capacidad de 250ml para medir su densidad con un equipo que va de 0.7 a 1.1, a 20°C.
- b) Se coloca el Erlenmeyer de 500ml sobre la balanza y se encera, posterior a esto se vierte 400g de la muestra a ser calentada.
- c) Se coloca el termómetro de mercurio en el tapón de caucho (previamente realizado un orificio para el termómetro) que es de la medida del Erlenmeyer de ensayo.
- d) Se coloca el Erlenmeyer de ensayo con el tapón y el termómetro de mercurio ya acoplado sobre el calentador con agitador magnético
- e) Se registra la temperatura y humedad relativa del ambiente.
- f) Se enciende el calentador magnético, se gradúa el calentador en 370 y el agitador en 1 (escala de 1 a 10) que controla la velocidad de giro del agitador magnético.
- g) Se deja la muestra que se caliente alrededor de dos horas y media, tiempo en el cual la temperatura alcanza los 220°C y se mantiene.
- h) Luego de este tiempo se retira la muestra de ensayo del calentador para que se enfríe, y se procede a realizar el mismo procedimiento con las siguientes muestras.
- i) Al día siguiente las muestras se encuentran nuevamente a temperatura ambiente y se reinicia con el procedimiento desde el paso a.

Con este procedimiento lo que se pretende obtener son medidas de densidad de las muestras antes y después de ser calentadas, para analizar su comportamiento con los constantes calentamientos al que se encuentran sometidos los aceites.

En los siguientes gráficos se presentan los equipos utilizados.

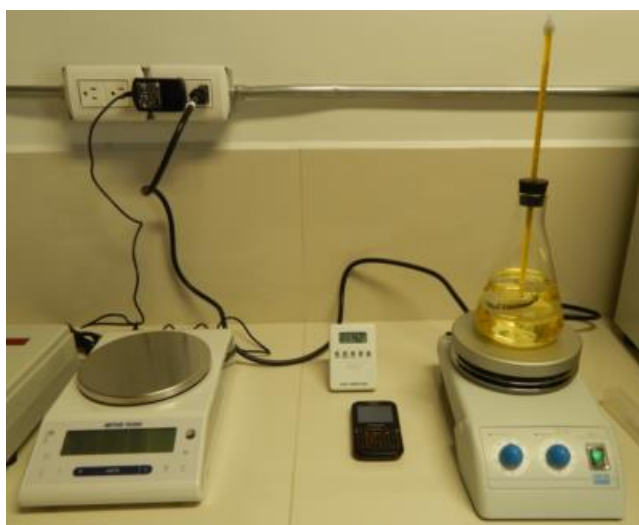


Figura 52. Equipos de laboratorio

En esta figura se puede ver a la izquierda la balanza electrónica, en el centro el medidor de temperatura y humedad junto con el cronómetro, y a la derecha el calentador con agitador magnético y sobre el la muestra de aceite en el Erlenmeyer de 500ml sujetando el tapón de caucho y el termómetro de mercurio.



Figura 53. Pesaje de muestra de aceite a ser calentada.

4.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos de densidad con las muestras de los tres aceites, este procedimiento se lo realizó durante 30 días para analizar la variación que puede existir con el calentamiento diario de las muestras, para este caso se realizó el calentamiento del aceite durante dos horas y media cada muestra.

Tabla 33

Valores de densidad de las muestras de aceite.

N. de días	Densidad		
	Sabrosón	Girasol	Vivi Soya
1	0.92	0.93	0.91
2	0.92	0.93	0.91
3	0.92	0.93	0.91
4	0.93	0.92	0.92
5	0.92	0.93	0.91
6	0.92	0.93	0.91
7	0.92	0.92	0.91
8	0.92	0.93	0.91
9	0.92	0.93	0.91
10	0.92	0.93	0.91
11	0.92	0.92	0.91
12	0.92	0.93	0.91
13	0.92	0.93	0.91
14	0.92	0.93	0.91
15	0.92	0.93	0.91
16	0.92	0.93	0.92
17	0.93	0.93	0.91
18	0.92	0.93	0.91
19	0.92	0.93	0.91
20	0.92	0.92	0.91
21	0.92	0.93	0.91
22	0.92	0.93	0.91
23	0.92	0.92	0.91
24	0.93	0.93	0.91
25	0.92	0.93	0.91
26	0.92	0.93	0.91
27	0.92	0.93	0.91
28	0.92	0.92	0.91
29	0.92	0.93	0.91
30	0.92	0.92	0.91

De los ensayos realizados en laboratorio se pudo notar que las muestras no cambiaron significativamente de color como sucedió en el caso que se utilizó el prototipo para calentamiento de muestras, esto debido a que los valores de temperatura a los que permanecieron las muestras no superaron los 220°C, es decir no se oxidaron.

Para determinar la densidad y viscosidad del aceite sabrosón que contiene aceite de palma se consideró la siguiente gráfica para determinar la ecuación de relación de densidad y viscosidad.

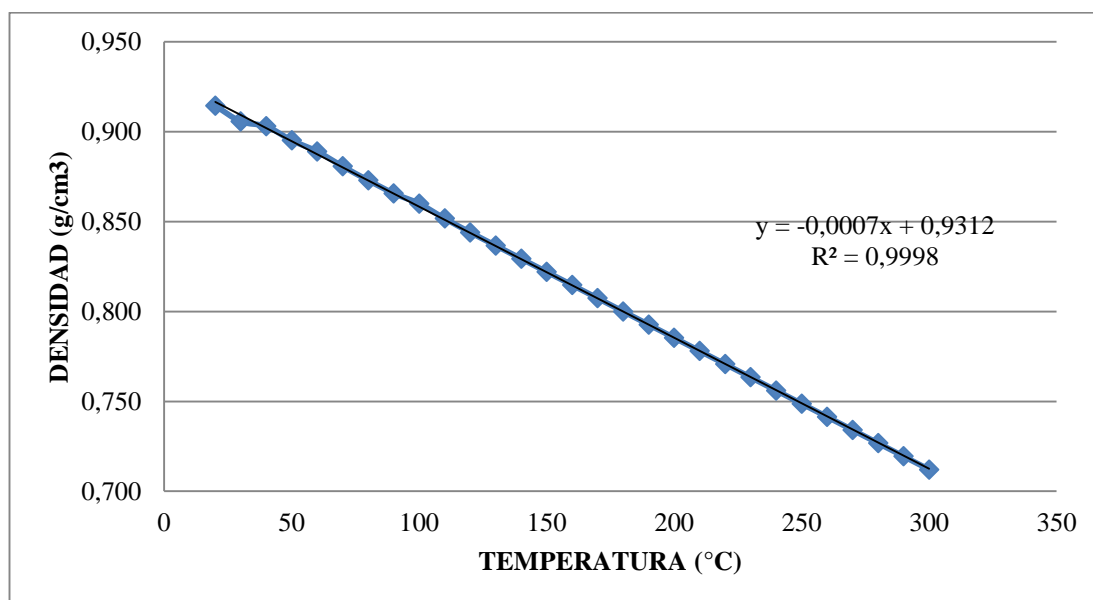


Figura 54. Relación Temperatura - densidad del aceite sabrosón

Fuente. Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible.

$$y = -0.0007x + 0.9312$$

$$y = \text{densidad} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$x = \text{temperatura} (°C)$$

Si la temperatura del aceite es 300 °C la densidad será:

$$y = -0.0007(300) + 0.9312$$

$$y = \rho = 0.7212 \frac{g}{cm^3} = 721.2 \frac{Kg}{m^3}$$

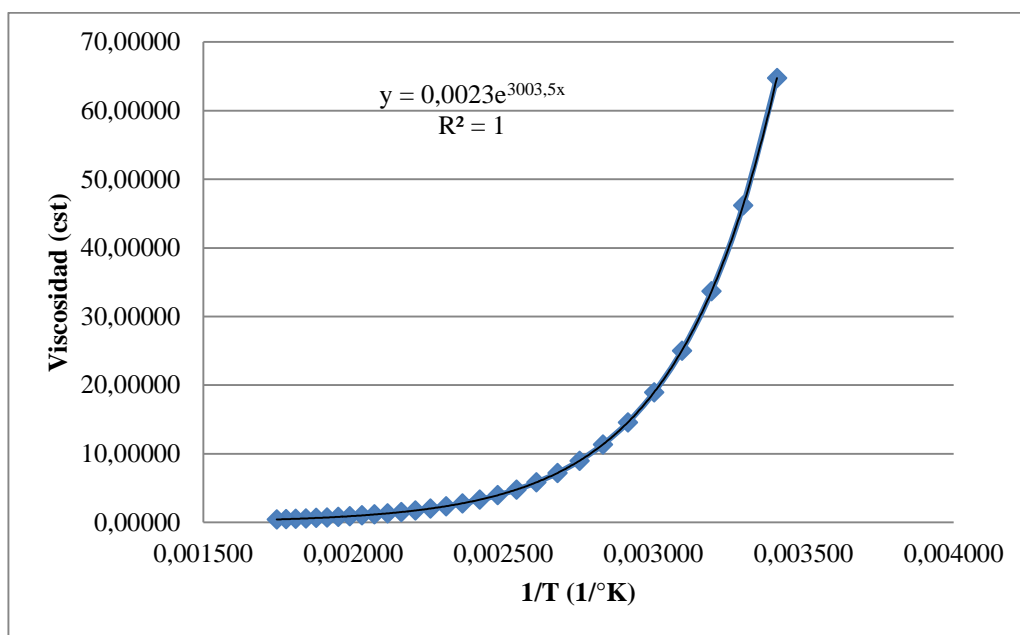


Figura 55. Relación 1/T versus viscosidad del aceite

Fuente . Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible.

$$y = 0.0023e^{3003.5x}$$

Para $300^{\circ}\text{C} = 573.150^{\circ}\text{K}$

$$x = \frac{1}{573^{\circ}\text{K}} = 0.001745$$

$$y = 0.0023e^{3003.5(0.001745)}$$

$$y = \text{viscosidad cinematica} = 0.0023 * 188.879 = 0.4344 \text{ cst}$$

$$\text{viscosidad cinematica} = \frac{\text{viscosidad dinamica}}{\rho}$$

$$\text{viscosidad dinamica} = \text{viscosidad cinematica} * \rho$$

$$1 \text{ St} = 100 \text{ cSt} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{viscosidad dinamica} = 4.344 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 721.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{viscosidad dinamica} = 3.130 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} = \text{Pa}$$

Tabla 34.

Densidad y viscosidad del aceite sabrosón proyectada.

°C	T		μ	ρ	ρ	ν
	°K	1/T	cst	g/cm ³	K/m ³	Pa
20	293.15	0.0034112	64.76	0.915	914.500	0.0592274
30	303.15	0.0032987	46.19	0.906	905.750	0.0418377
40	313.15	0.0031934	33.66	0.903	903.000	0.0303978
50	323.15	0.0030945	25.02	0.895	895.250	0.0223974
60	333.15	0.0030017	18.93	0.889	889.000	0.0168265
70	343.15	0.0029142	14.55	0.881	880.750	0.0128187
80	353.15	0.0028317	11.36	0.873	873.000	0.0099167
90	363.15	0.0027537	8.99	0.866	865.750	0.0077810
100	373.15	0.0026799	7.20	0.860	860.000	0.0061927
110	383.15	0.0026099	5.84	0.852	851.750	0.0049712
120	393.15	0.0025436	4.78	0.844	844.040	0.0040357
130	403.15	0.0024805	3.96	0.837	836.710	0.0033100
140	413.15	0.0024204	3.30	0.829	829.380	0.0027397
150	423.15	0.0023632	2.78	0.822	822.050	0.0022868
160	433.15	0.0023087	2.36	0.815	814.720	0.0019239
170	443.15	0.0022566	2.02	0.807	807.390	0.0016304
180	453.15	0.0022068	1.74	0.800	800.060	0.0013912
190	463.15	0.0021591	1.51	0.793	792.730	0.0011946
200	473.15	0.0021135	1.31	0.785	785.400	0.0010320
210	483.15	0.0020698	1.15	0.778	778.070	0.0008965
220	493.15	0.0020278	1.02	0.771	770.740	0.0007829
230	503.15	0.0019875	0.90	0.763	763.410	0.0006870
240	513.15	0.0019487	0.80	0.756	756.080	0.0006057
250	523.15	0.0019115	0.72	0.749	748.750	0.0005363
260	533.15	0.0018756	0.64	0.741	741.420	0.0004769
270	543.15	0.0018411	0.58	0.734	734.090	0.0004256
280	553.15	0.0018078	0.52	0.727	726.760	0.0003813
290	563.15	0.0017757	0.48	0.719	719.430	0.0003428
300	573.15	0.0017447	0.43	0.712	712.100	0.0003091

CAPÍTULO 5

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

En el presente capítulo se presenta el cálculo del tanque de expansión y la bomba del prototipo de una central solar de colectores cilíndrico-parabólicos. La distribución de los colectores solares se presenta en el siguiente gráfico.



Figura 56. Prototipo de central termo solar, ubicado en la terraza del laboratorio de energías renovables de la ESPE – Sangolquí.

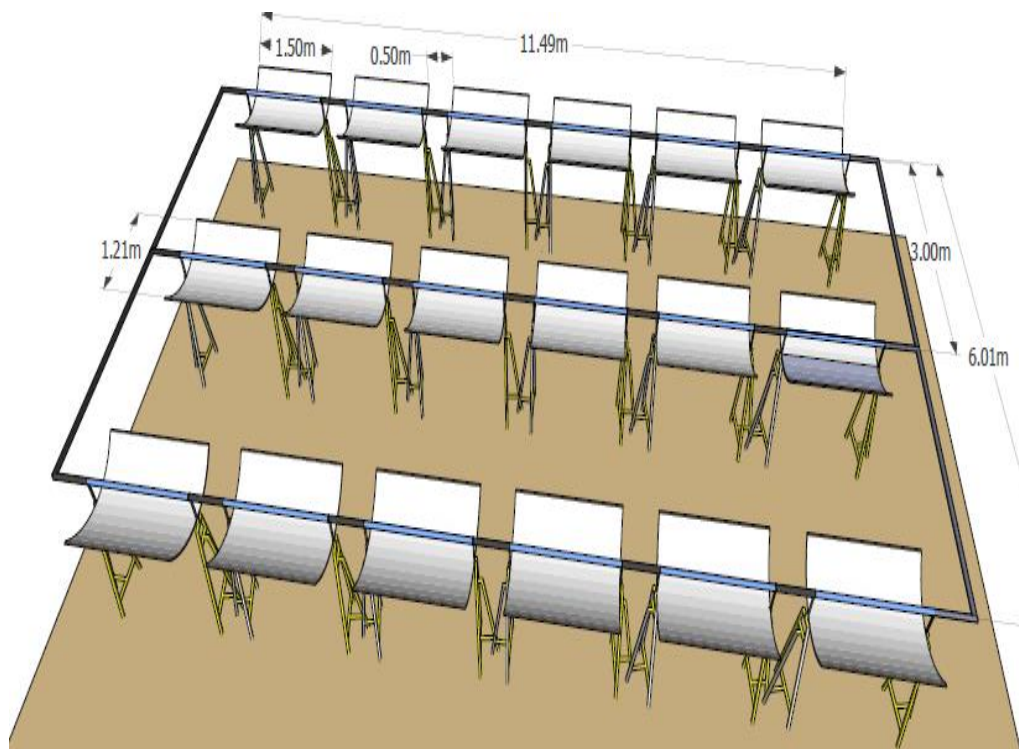


Figura 57. Dimensiones y distribución de los 18 CCP del prototipo de central termo solar.

Como se observa, las dimensiones de los colectores cilindro parabólicos en el campo solar son:

Ancho del colector:	150cm.
Separación entre colectores:	50 cm.
Separación entre filas desde el eje del colector:	290 cm.
Altura del piso al eje de rotación:	137cm
Separación del eje de rotación al eje focal:	30cm
Ancho de la parábola:	121cm
Longitud del arco de la parábola:	139cm.
Número de filas de colectores:	3 filas.
Número de colectores por fila:	6 unidades

Considerando las dimensiones descritas se procede a realizar los respectivos cálculos del sistema hidráulico para el campo solar: bomba de recirculación y el tanque de expansión.

5.1 BOMBA DE RECIRCULACIÓN

El fluido térmico circula a través de un conjunto de tuberías desde los tanques de almacenamiento hasta ser distribuida por todos los lazos de colectores solares. Para ello, es necesario disponer de un sistema de bombeo que impulse el fluido con la presión requerida y que venza las pérdidas de carga de la instalación, además tiene como objeto elevar la presión del fluido térmico que garantice en todo momento que el fluido permanezca en estado líquido y no haya vaporización. En el caso de las grandes centrales termosolares suele utilizarse una presión mínima, a la entrada a las bombas, de al menos 11 bar, ya que la presión de vapor del fluido térmico HTF a 393°C (máxima temperatura de utilización) es 10,6 bar.

Una central termosolar utiliza varias bombas para el manejo del fluido térmico (García, 2012)

- Bombas principales.- Bomba que transporta el fluido caloportador.
- Bombas de caldera auxiliar.- De menor presión y caudal que las bombas principales, son las encargadas de hacer circular el fluido a través de bloques de potencia y no del campo solar. Los equipos que deben atravesar, además de las tuberías de conducción, son las calderas y los intercambiadores del tren de generación de vapor, no atraviesan el campo solar.
- Bombas de recirculación.- La única función que cumplen es mover el fluido para evitar su congelación y homogenizar temperatura en el circuito, especialmente en los arranques.
- Bombas de circulación de tanques de expansión.- Bombas pequeñas encargadas, encargadas de la circulación del fluido entre los tanques de rebose y el tanque de expansión.
- Bombas de trasiego.- Encarga de trasvasar el fluido térmico un tanque reservorio o camión cisterna hasta el tanque de reposición.
- Bombas del sistema de depuración.- Son las encargadas del retorno del fluido térmico depurado desde el sistema de eliminación de productos de degradación.

En este proyecto al tratarse de un prototipo de pocos colectores, se tiene únicamente la bomba principal que es la encargada de mover el fluido durante el funcionamiento normal de la central utilizando como aceite térmico al aceite sabrosón.

Primero se calculó el flujo másico que circulara por el campo solar.

5.1.1 VELOCIDAD DEL FLUIDO, CAUDAL Y NÚMERO DE REYNOLDS

La velocidad asumida del fluido es de 2 m/s, con el valor de la velocidad, las características del tubo receptor y la densidad del fluido, se puede obtener fácilmente el caudal másico que circulará por cada uno de los colectores tan solo relacionando los valores entre ellos. (Hernández, 2015)

$$m_f = \frac{\rho_f(T_f) \cdot \pi \cdot D_{int-abs}^2 \cdot V_f}{4} \quad (2)$$

$$\rho_f \text{ a } 20^\circ\text{C} = 915 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_f = 2 \text{ m/s}$$

$$D_{int-abs} = 0.032 \text{ m} = 1 \text{ 1/4'' tubería principal}$$

$$m_f = \frac{915 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (0.0254 \text{ m})^2 \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4}$$

$$m_f = 0.927 \text{ Kg/s}$$

Para determinar el comportamiento del fluido, se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot Di}{\mu}$$

Donde:

$$v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho = 915 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$D_i = 0.0254 \text{ mm}$$

μ dinámica = $0.05923 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}}$, de tabla de análisis de viscosidad, un fragmento de la tabla se detalla a continuación.

Tabla 35

Variación de Re con diámetro de tubería de 0.0254 m (1") de acuerdo a la temperatura.

C °C	K	1/K	μ cSt	ρ g/cm ³	ρ kg/m ³	ν Pa	Re
20	293.15	0.003411	64.76	0.915	914.5	0.059227	784.38
70	343.15	0.002914	14.55	0.881	880.75	0.012819	3490.38
300	573.15	0.001745	0.43	0.712	712.1	0.000309	117026.92

$$Re_{20^\circ\text{C}} = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 914.5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.0254 \text{m}}{0.059227 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}$$

$$Re_{20^\circ\text{C}} = \frac{46.5 \text{ Kg/ms}}{0.059227 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}}}$$

$Re_{20} = 784$, Régimen laminar a 20°C.

$$Re_{300^\circ\text{C}} = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 712.1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.0254 \text{m}}{0.000309 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}$$

$$Re_{300^\circ\text{C}} = \frac{36.19 \text{ Kg/ms}}{0.000309 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}}}$$

$Re_{300} = 117119$, Régimen turbulento a 300°C.

$$Re_{70^{\circ}C} = \frac{2 \frac{m}{s} * 880.75 \frac{Kg}{m^3} * 0.0254m}{0.012819 \frac{kg}{ms}}$$

$$Re_{70^{\circ}C} = \frac{44.74 Kg/ms}{0.012819 \frac{Kg}{ms}}$$

$Re_{300} = 3490.30$, A $70^{\circ}C$ comienza el régimen turbulento del aceite.

Tabla 36

Número de Reynolds para el aceite sabrosón para tubería de diámetro interno = 0.0254 m y 0.032 m a diferentes temperaturas.

T	u	p	p	v	Re	Re
C	cSt	g/cm³	kg/m³	Pa	Ø 1"	Ø 1 1/4"
20	64.76	0.915	914.5	0.05922739	784.38	988.19
50	25.02	0.895	895.25	0.02239744	2030.53	3381.34
60	18.93	0.889	889	0.01682649	2683.94	4397.33
70	14.55	0.881	880.75	0.01281896	3490.38	5634.14
80	11.36	0.873	873	0.00991669	4472.1	7120.96
90	8.99	0.866	865.75	0.00778098	5652.26	8887.87
100	7.2	0.86	860	0.00619271	7054.75	10965.6
110	5.84	0.852	851.75	0.00497118	8703.94	13385.22
120	4.78	0.844	844.04	0.00403569	10624.52	16177.94
130	3.96	0.837	836.71	0.00331003	12841.24	19374.79
140	3.3	0.829	829.38	0.00273966	15378.74	23006.42
150	2.78	0.822	822.05	0.0022868	18261.35	27102.93
160	2.36	0.815	814.72	0.00192385	21512.95	31693.59
170	2.02	0.807	807.39	0.00163039	25156.79	36806.75
180	1.74	0.8	800.06	0.00139115	29215.35	42469.63
190	1.51	0.793	792.37	0.00119461	33710.27	48708.23
200	1.31	0.785	785.4	0.00103197	38662.16	55547.21
210	1.15	0.778	778.07	0.00089647	44090.6	63009.8
220	1.02	0.771	770.74	0.00078285	50014.03	71117.71
230	0.9	0.763	763.41	0.00068701	56449.68	79891.13
240	0.8	0.756	756.08	0.00060569	64413.58	89348.64
250	0.72	0.749	748.75	0.00053633	70920.48	99507.22
260	0.64	0.741	741.42	0.00047686	78983.86	99507.22
270	0.58	0.734	734.09	0.00042563	87615.9	110382.24
280	0.52	0.727	726.76	0.00038129	96827.54	121987.45
290	0.48	0.719	719.43	0.00034275	106628.41	134335
300	0.43	0.712	712.1	0.00030911	117026.92	147435.5

Con la finalidad de determinar las pérdidas de carga para una sola temperatura de trabajo se consideró una temperatura promedio de 150°C, con esta temperatura se obtuvieron los valores de la tabla 36.

5.1.2 PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS, TUBERÍAS Y EN INTERCAMBIADOR:

Para la determinación de las pérdidas de carga en accesorios, tuberías e intercambiador, es necesario conocer el diagrama de instalación, y determinar el número de accesorios y metros de tubería a utilizarse para la instalación del equipo.

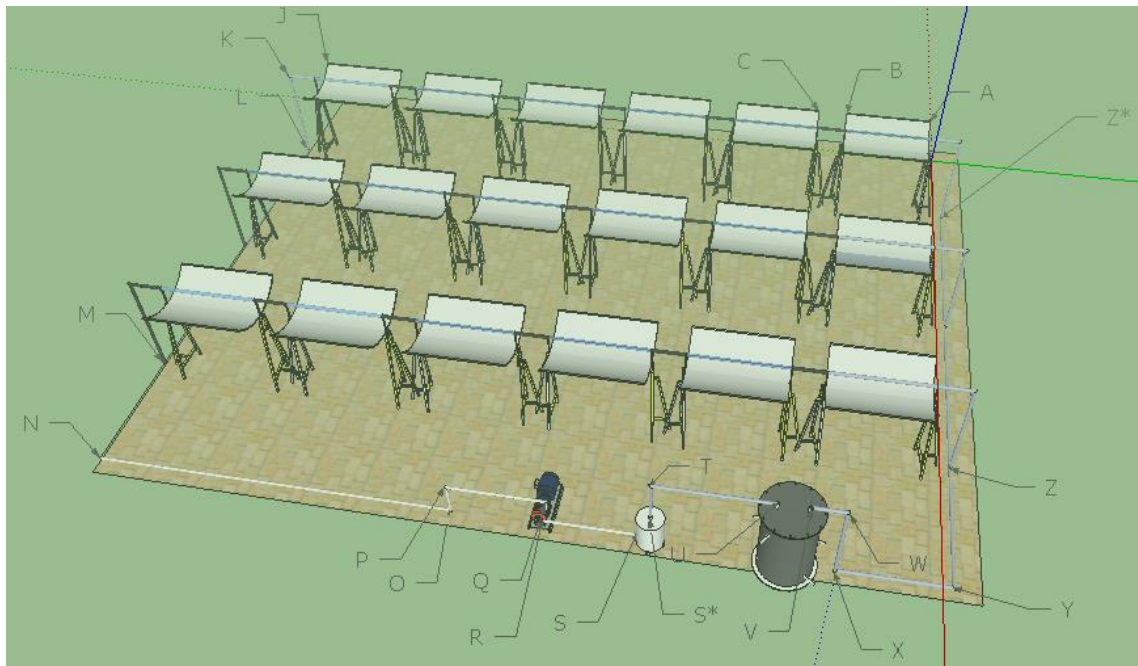


Figura 58. Dimensiones del campo solar por tramos

PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

Se calculó el factor de fricción de la tubería, utilizando el diagrama de Moody, teniendo en cuenta el número de Reynolds y la rugosidad relativa representada por:

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D} \quad (3)$$

Los factores de fricción según tabla de Moody, para Reynolds a 150°C y con un diámetro de tubería de 25.4 mm y 32mm son:

$$D = 25.4 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0.045 \text{ mm}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.045 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}} = 0.0018$$

$$Re = 18261.35$$

Utilizando el diagrama de Moody, el factor de fricción (f) para una tubería de 25.4 mm (1") es: 0,03.

Factor de fricción f para tubería de 25.4 mm del aceite sabrosón a 150°C.

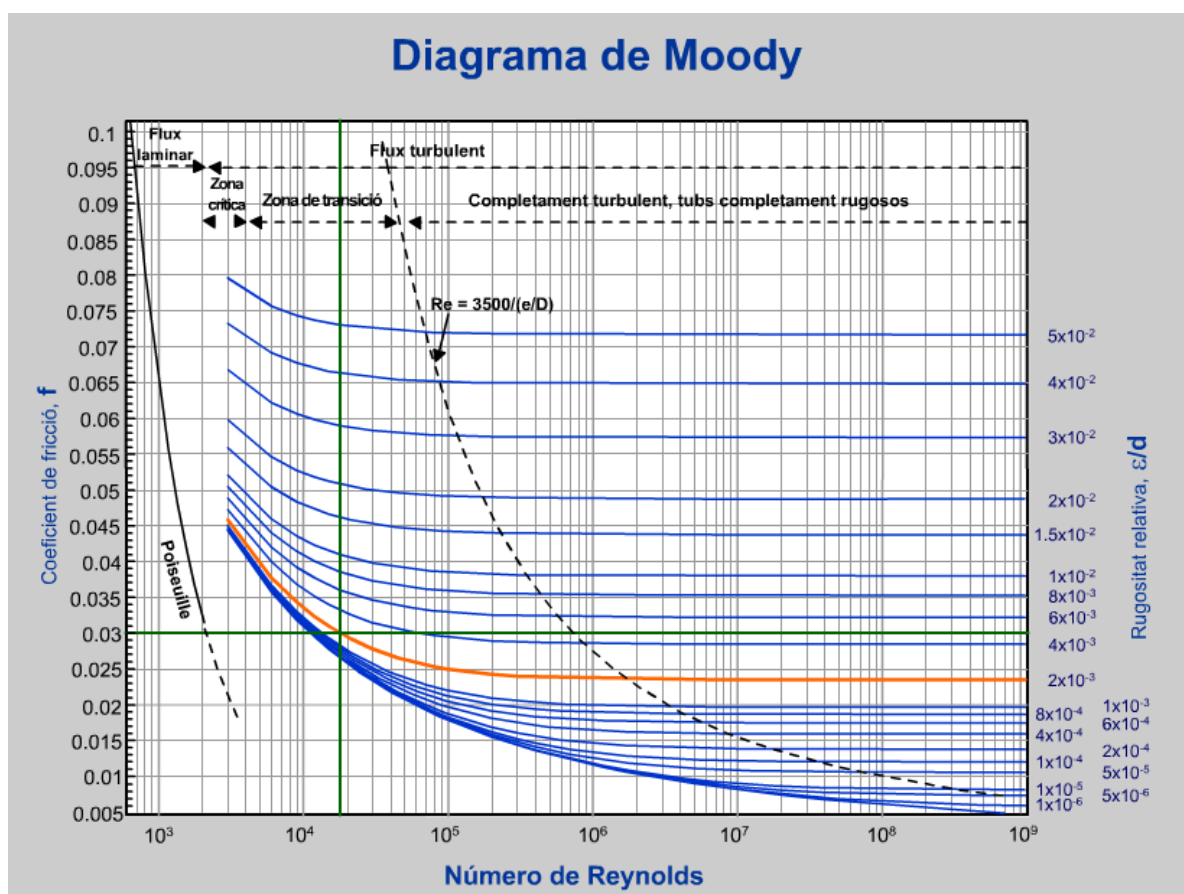


Figura 59. Diagrama de Moody: Factor de fricción f para tubería de 25.4 mm a 150°C.

Fuente: (Diagramas de Moody, 2015)

Para una tubería de 32 mm diámetro interno en acero inoxidable, el factor de fricción (f) es 0.029, como se observa en la gráfica:

$$D = 32 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0.045 \text{ mm}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.045 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 0.0014$$

$$Re = 23006$$

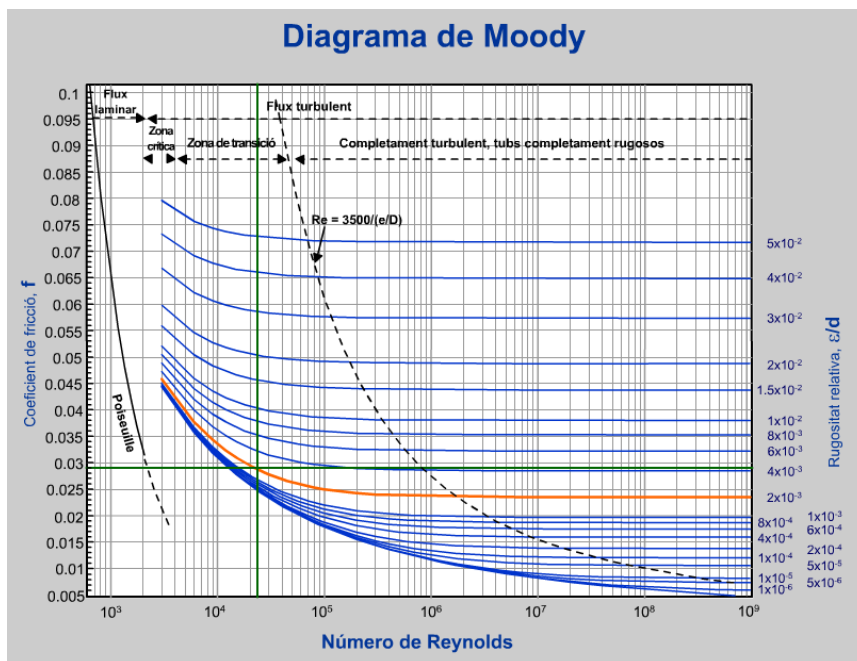


Figura 60. Diagrama de Moody: Factor de fricción f para tubería de 32mm a temperatura de 150°C
Fuente: (Diagramas de Moody, 2015)

Tabla 37

Longitud total de tubería en el campo solar.

Tramo	Longitud m	N Tramos	Ø Interno m	Longitud total m
A-B	0.5	15	0.025	7.5
B-C	1.5	18	0.025	27
J-K	0.5	6	0.025	3
K-L	1.37	6	0.025	8.22
L-M	5.98	1	0.032	5.98
M-N	1.98	1	0.032	1.98
N-O	1.64	1	0.032	1.64
O-P	5.43	1	0.032	5.43
P-Q	0.55	1	0.032	0.55
R-S	1.34	1	0.032	1.34
S-T	0.68	1	0.032	0.68
T-U	1.67	1	0.032	1.67
V-W	0.48	1	0.032	0.48
W-X	1.33	1	0.032	1.33
X-Y	1.62	1	0.032	1.62
Y-Z	2.02	1	0.032	2.02
Z-Z*	5.98	1	0.032	5.98
	TOTAL 32mm			30.7
	TOTAL 25.4mm			45.72

Para cálculo de pérdidas de carga en tubería se aplica la siguiente ecuación:
(Hernández, 2015)

$$hf = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

Donde:

hf = Pérdida de carga.

f = Factor de fricción.

L = Longitud de la tubería.

D = Diámetro de la tubería.

V = Velocidad del fluido.

g = Gravedad.

Para el tubo de 32 mm las pérdidas de carga en el campo solar son:

$$hf_{32mm} = 0.030 \left(\frac{30.70m}{0.032m} \right) * \left(\frac{\left(\frac{2m}{s} \right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$hf_{32mm} = 28.78 * 0.10m$$

$$hf_{32mm} = 2.88 m$$

Para el tubo de 25.4 mm las pérdidas de carga del circuito y de los colectores son:

$$hf_{25.4mm} = 0.030 \left(\frac{45.72m}{0.0254m} \right) * \left(\frac{\left(\frac{2m}{s} \right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$hf_{32mm} = 54 * 0.10m$$

$$hf_{32mm} = 5.40 m$$

El total de pérdidas de carga en el total de tubería del campo solar:

$$hf \text{ total en tuberia} = hf_{32mm} + hf_{25mm}$$

$$hf \text{ total en tuberia} = 2.88m + 5.40m$$

$$hf \text{ total en tuberia} = 8.28 m$$

PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

En las tablas y gráfico que se presenta a continuación se contabilizo el número de accesorios y longitud de tubería de la planta.

Tabla 38

Número de accesorios utilizados en la planta.

Tramo	N Tramos	Ø 25.4mm			Ø 32mm		
		Codos	Juntas rotativas	Válvulas 1/2 vuelta	Codos	Tee	Válvulas 1/2 vuelta
A-B	15						
B-C	18	36	36				
J-K	6						
K-L	6	12	12	6			
L-M	1					2	
M-N	1				1		
N-O	1				1		
O-P	1				1		
P-Q	1				1		1
R-S	1				2		
S-T	1				1		
T-U	1				1		
V-W	1				1		
W-X	1				1		1
X-Y	1				1		
Y-Z	1				1	1	
Z-Z*	1				1	1	
TOTAL		48	48	6	13	4	2

Las pérdidas singulares son las producidas por cualquier obstáculo colocado en la tubería y que suponga una mayor o menor obstrucción al paso del flujo como son: entradas y salidas de las tuberías, codos, válvulas, cambios de sección, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas lineales, salvo que se trate de válvulas muy cerradas. Para su estimación se suele emplear la siguiente expresión (Pérdidas de carga, 2004):

$$h_{ps} = \xi \frac{V^2}{2g} = \xi \left(\frac{8}{g\pi^2 D^4} \right) Q^2 \quad (5)$$

Donde h_{ps} es la pérdida de carga en la singularidad, que se supone proporcional a la energía cinética en valor promedio del flujo; la constante de proporcionalidad, ξ es el denominado coeficiente de pérdidas singulares.

Existen nomogramas, como el presentado a continuación, que permiten estimar las longitudes equivalentes para los casos de elementos singulares más comunes, en función del diámetro de la tubería. En realidad, además del diámetro, la longitud equivalente depende del

coeficiente de fricción, pero éste no se suele contemplar en esos nomogramas, por lo que el cálculo es sólo aproximado.

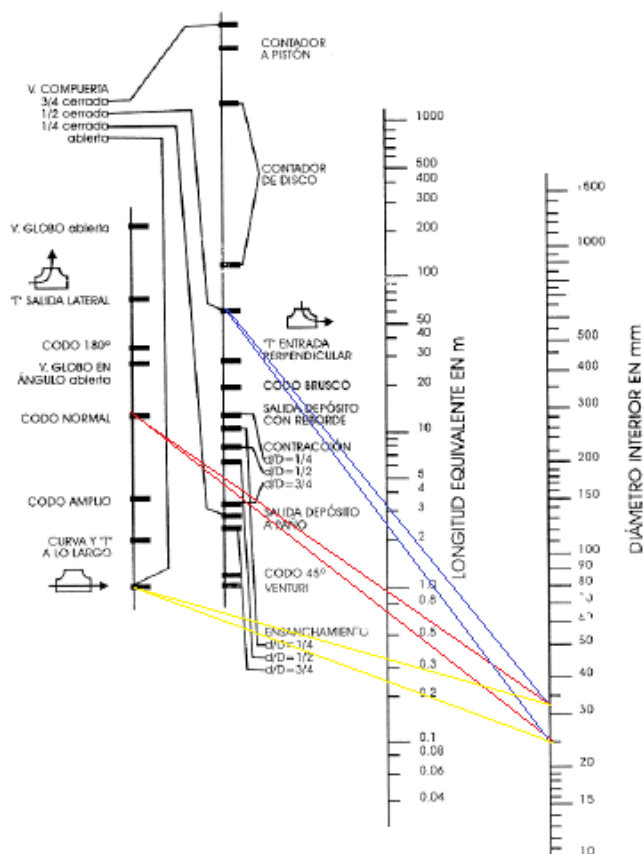


Figura 61. Nomogramas de la longitud equivalente de elementos singulares

Fuente: (Pérdidas de carga, 2004)

La línea roja en el nomograma representa las pérdidas de carga en codos, mientras que la línea azul representa las pérdidas de carga en tee, y las líneas amarillas representan las pérdidas de carga en las válvulas.

Posterior a la pérdidas de carga individuales, para los codos de 25.4 mm pérdidas de 0.8 m, en el caso de codos de 32 mm la perdidas corresponden a 0.9 m. Mientras que para las tees, en caso de la tee de 25.4 mm las pérdidas son de 2.5 m, la tee de 32 mm tiene pérdidas de 3.1 m. Finalmente para las pérdidas de carga de la válvulas de media vuelta se consideró las mismas perdidas que una válvula de compuerta, es así que para la válvula de 25.4 mm la perdida es de 0.25 m, mientras que para la válvula de 32 mm la perdidas de carga es de 0.37 m. Con los datos obtenidos, se realiza el cálculo de las pérdidas totales en el circuito.

Tabla 39

Perdidas de carga en accesorios.

	Codos de radio pequeño	TEE	Válvulas media vuelta	Codos de radio pequeño	TEE	Válvulas media vuelta	Total de pérdidas en el circuito
diámetro	25 mm	25 mm	25 mm	32 mm	32 mm	32 mm	
total accesorios	12	0	6	13	4	2	
perdidas por accesorios	0.8	2.5	0.25	0.9	3.1	0.37	
total perdidas por accesorio	9.6	0	1.5	11.7	12.4	0.74	35.94

La pérdidas totales en accesorios es de 35.94 m, es decir, **hps = 35.94 m**.

PÉRDIDAS DE CARGA EN EL INTERCAMBIADOR

Para la determinación de las pérdidas de carga en el intercambiador se considera el número de tubos, diámetro y longitud de cada uno de los tubos que forman parte del intercambiador es así que:

Tabla 40

Longitud de tubería en el intercambiador.

N° tubos	Diámetro Mm	Longitud m	longitud total m
18	0.032	1.02	18.36

Para cálculo de pérdidas de carga en tubería del intercambiador, consideramos el factor de fricción $f=0.030$ calculado anteriormente ara tubería de 32mm, la ecuación:

$$hf = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g}$$

$$hf_{32mm \text{ intercambiador}} = 0.030 \left(\frac{18.36m}{0.032m} \right) * \left(\frac{\left(\frac{2m}{s} \right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$hf_{32mm \text{ intercambiador}} = 17.21 * 0.10m$$

$$hf_{32mm \text{ intercambiador}} = 1.72 m$$

Las pérdidas de carga en el intercambiador son de 1,72 m.

PÉRDIDAS DE CARGA TOTALES

Las pérdidas de carga totales del circuito son iguales a la sumatoria de las pérdidas de carga en tubería, pérdidas de carga en accesorios, pérdidas de carga en el intercambiador y por supuesto las pérdidas de carga en los colectores solares las cuales se consideró como otro tramo más de tubería, en este caso tramo A-B de 1.5 m.

$$h_{total} = h_f \text{ en tubería y CCP} + h_{ps} + h_{intercambiador}$$

$$h_{total} = 8.28m + 35.94m + 1.72m$$

$$h_{total} = 45.94m$$

Las pérdidas de carga en todo el circuito son de 45.94 m.

5.2 CÁLCULO BOMBA DE ALIMENTACIÓN:

Para el dimensionado de una bomba hidráulica los dos criterios a tomar en cuenta son el caudal que debe impulsar y la presión que la bomba debe agregar al fluido, normalmente expresada en metros de columna de agua (m.c.a.), que es la presión que ejerce un metro de agua pura sobre una superficie y comúnmente conocido como altura H:

$$H \text{ (m. c. a.)} = h_{total} = 45.94 \text{ mca} = 450\,515.03 \text{ Pa}$$

Debido a que la presión de vapor del aceite térmico a la máxima temperatura de trabajo en el sistema (en este caso a 300°C del aceite sabrosón) es 12 psi, es menor que la presión atmosférica 1 atm (14.70 psi), no es necesario presurizar el sistema para evitar vaporización.

Otro parámetro de diseño es el caudal volumétrico a impulsar, el cual hay que calcular a partir del caudal másico y de la densidad del fluido. En el caso de este trabajo, el bombeo se realiza cuando el aceite térmico está en su temperatura ambiente más baja, es decir, 20°C siendo su densidad 915 kg/m³. De la sección del cálculo de la velocidad del fluido, caudal y número de Reynolds se determinó que el flujo másico es 1.47 Kg/s.

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{q_m \left(\frac{Kg}{s} \right)}{\rho \left(\frac{Kg}{m^3} \right)} \quad (6)$$

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{1.47 \left(\frac{Kg}{s} \right)}{915 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)} = 0.0016 \frac{m^3}{s}$$

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = 0.0016 \frac{m^3}{s} \cdot \frac{3600s}{1h} = 5.78 \frac{m^3}{h}$$

Con el caudal volumétrico y la presión que la bomba debe de suministrar al fluido se calcula la potencia eléctrica que el conjunto (bomba y motor eléctrico) va a demandar durante su funcionamiento:

$$P_e(W) = \frac{(\Delta P(Pa) \cdot Q \left(\frac{m^3}{s} \right))}{n_b \cdot n_e} \quad (7)$$

Dónde:

$P_e(W)$ Potencia eléctrica que demanda el conjunto (W)

n_b Rendimiento mecánico de la bomba

n_e Rendimiento eléctrico del motor que impulsa la bomba

Se considera rendimiento del conjunto $\eta_e \cdot \eta_b$ sea igual a 0,75, valor muy común en la industria, es decir que 75% de la potencia eléctrica que demanda el motor, es potencia hidráulica que la bomba cede al fluido.

$$P_e(W) = \frac{450515.03 Pa \cdot 0.0016 \left(\frac{m^3}{s} \right)}{75\%}$$

$$P_e(W) = 961 W$$

Para el presente trabajo, es necesario una bomba de 0.96 KW, que equivaldría a una bomba de 1.5 Hp.

A continuación se realiza la selección de la bomba utilizando las curvas de rendimiento de la bomba, considerando un H= 46 m.c.a y un Q= 6 m³/h, se realizó la selección de la bomba de voluta para portadores térmicos hasta 350°C, marca Sterling ZTND 032160A conforme lo indica la gráfica, este modelo es el que más se acerca a la potencia demandada. La especificación técnica de la bomba se la presenta a continuación:

DATOS TÉCNICOS

Caudal:	máx. 21 m ³ /h
Altura:	máx. 70 m
Velocidad:	máx. 3500 rpm
Temperatura:	máx. 350 °C
Presión carcasa:	PN 16
Cierre de eje:	anillos radiales o cierre mecánico
Bridas de conexión:	DIN EN 1092-2 PN 16 / 25
Sentido de giro:	a derechas, visto desde el lado de accionamiento de la bomba

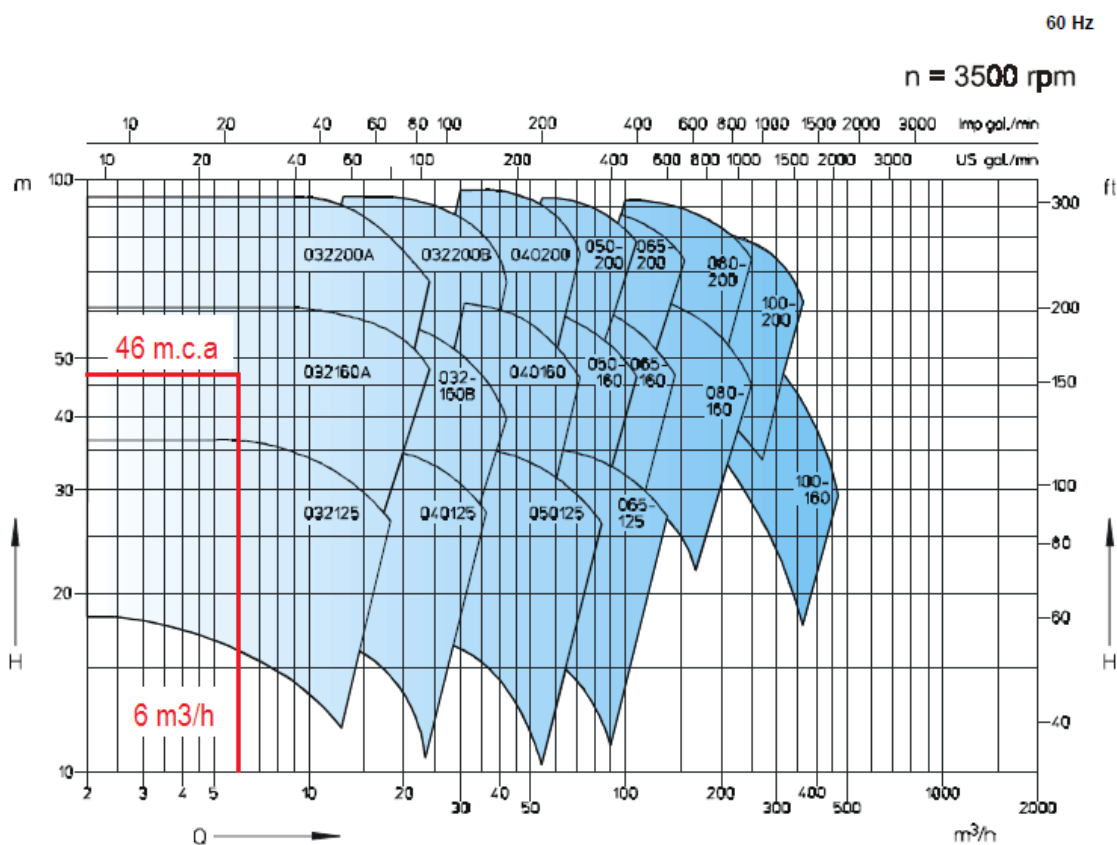


Figura 62. Selección de la bomba considerando la curva de rendimiento.

5.3 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE EXPANSIÓN

Para el respectivo cálculo del tanque de expansión utilizando como aceite térmico el aceite sabrosón, el cual presenta un mejor comportamiento en el proceso

de calentamiento, este aceite contiene una mezcla de aceite de soja y palma. Consideramos los siguientes enunciados:

“La variación de volumen específico que experimenta el fluido térmico como consecuencia de los constantes cambios de temperatura hace necesario la utilización de un tanque de expansión que compense y absorba dicha diferencia de volumen. Con esto se logra controlar de buena manera el golpe de ariete entre otros problemas. De acuerdo a las especificaciones entregadas por el fabricante del aceite VP1, Therminol, el tanque de expansión debe tener un tamaño tal que a la temperatura media de operación (343°C para VP1) en el caso del aceite sabrosón se consideró una temperatura de 300°C, el tanque de expansión se encuentre lleno en un 75%”. Según: Therminol Information Bulletin N°4: Heat Transfer System Expansion Tank Design).

$$[V_{Total\ HTF}]_{343^{\circ}C} = V_{Tuberia} + \frac{3}{4} \cdot V_{TE} \quad \text{Para VP1, Therminol}$$

$$[V_{Total\ aceite\ sabrosón}]_{300^{\circ}C} = V_{Tuberia} + \frac{3}{4} \cdot V_{TE} \quad \text{Para Aceite sabrosón}$$

Donde $V_{Tuberias}$, corresponde al volumen total de cañerías y campo de colectores, y V_{TE} el volumen total del tanque de expansión.

Existe, a su vez, otra importante consideración relacionada con el diseño del tanque de expansión. A temperatura ambiente, el tanque de expansión debe estar un 25% lleno, de forma de asegurar una altura de succión mínima a la bomba de HTF, es decir:

$$[V_{Total\ HFH}]_{12^{\circ}C} = V_{Tuberia} + \frac{1}{4} \cdot V_{TE} \quad \text{Para VP1, Therminol}$$

$$[V_{Total\ aceite\ sabrosón}]_{20^{\circ}C} = V_{Tuberia} + \frac{1}{4} \cdot V_{TE} \quad \text{Para Aceite sabrosón}$$

Considerando conservación de masa en ambos casos, se puede calcular el volumen del tanque de expansión conociendo el volumen total de tuberías.

$$V_{TE} = \frac{V_{Tuberias}(\rho_{12^{\circ}C} - \rho_{343^{\circ}C})}{\frac{3}{4}\rho_{343^{\circ}C} - \frac{1}{4}\rho_{12^{\circ}C}} \text{ Para VP1, Therminol}$$

$$V_{TE} = \frac{V_{Tuberias}(\rho_{20^{\circ}C} - \rho_{300^{\circ}C})}{\frac{3}{4}\rho_{300^{\circ}C} - \frac{1}{4}\rho_{20^{\circ}C}} \text{ Para aceite sabrosón}$$

Para el cálculo del tanque de expansión es necesario considerar la densidad del aceite sabrosón a 20°C y a 300°C.

Tabla 41

Densidad del aceite sabrosón a 20°C y 300°C.

T °C	PRIMER MES DE	SEGUNDO MES	PROMEDIO
	ENSAYOS	DE ENSAYOS	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	
20	0.914	0.915	0.915
300	0.747	0.677	0.712

Volumen del tanque de expansión:

$$V_{TE} = \frac{V_{Tuberias}(\rho_{20^{\circ}C} - \rho_{300^{\circ}C})}{\frac{3}{4}\rho_{300^{\circ}C} - \frac{1}{4}\rho_{20^{\circ}C}}$$

$$V_{Tuberias} = V_{cañerías} + V_{intercambiador}$$

$$V_{Tub} = (\text{Volumen total de tub(según tabla)} +$$

$$\text{Long tub en colectores} \cdot r_{interc}^2) \cdot \pi$$

$$V_{Tuberia} = 0.0474 \text{ m}^3 + (18.36\text{m}) \cdot (0.0159\text{m})^2 \cdot \pi$$

$$V_{Tuberia} = 0.0620 \text{ m}^3$$

$$V_{Tuberia} = 62000 \text{ cm}^3$$

A continuación se presente en el gráfico y tabla, de la longitud total de tubería de 1" y 1 ¼" en el campo solar, como también los metros de tubo de 1 ¼" del intercambiador de calor.

Tabla 42

Volumen de aceite en tuberías del campo solar.

Tramo	Longitud m	N Tramos	Ø Interno m	Longitud total m	Volumen del aceite
A-B	0.5	15	0.025	7.5	0.00380
B-C	1.5	18	0.025	27	0.01367
J-K	0.5	6	0.025	3	0.00152
K-L	1.37	6	0.025	8.22	0.00416
L-M	5.98	1	0.032	5.98	0.00473
M-N	1.98	1	0.032	1.98	0.00157
N-O	1.64	1	0.032	1.64	0.00130
O-P	5.43	1	0.032	5.43	0.00430
P-Q	0.55	1	0.032	0.55	0.00044
R-S	1.34	1	0.032	1.34	0.00106
S-T	0.68	1	0.032	0.68	0.00054
T-U	1.67	1	0.032	1.67	0.00132
V-W	0.48	1	0.032	0.48	0.00038
W-X	1.33	1	0.032	1.33	0.00105
X-Y	1.62	1	0.032	1.62	0.00128
Y-Z	2.02	1	0.032	2.02	0.00160
Z-Z*	5.98	1	0.032	5.98	0.00473
TOTAL				76.42	0.0474

Para el cálculo tanque de expansión según formula anterior:

$$V_{TE} = \frac{V_{Tuberias}(\rho_{20^{\circ}C} - \rho_{300^{\circ}C})}{\frac{3}{4} \rho_{300^{\circ}C} - \frac{1}{4} \rho_{20^{\circ}C}}$$

$$V_{Tuberias} = V_{cañerías} + V_{intercambiador}$$

$$V_{Tub} = (Volumen\ total\ de\ tub(según\ tabla) + Long\ tub\ en\ colectores \cdot r_{interc}^2) \cdot \pi$$

$$V_{Tuberia} = 0.0474 \text{ m}^3 + (18.36\text{m}) * (0.0159\text{m})^2 * \pi$$

$$V_{Tuberia} = 0.0620 \text{ m}^3$$

$$V_{Tuberia} = 62000 \text{ cm}^3$$

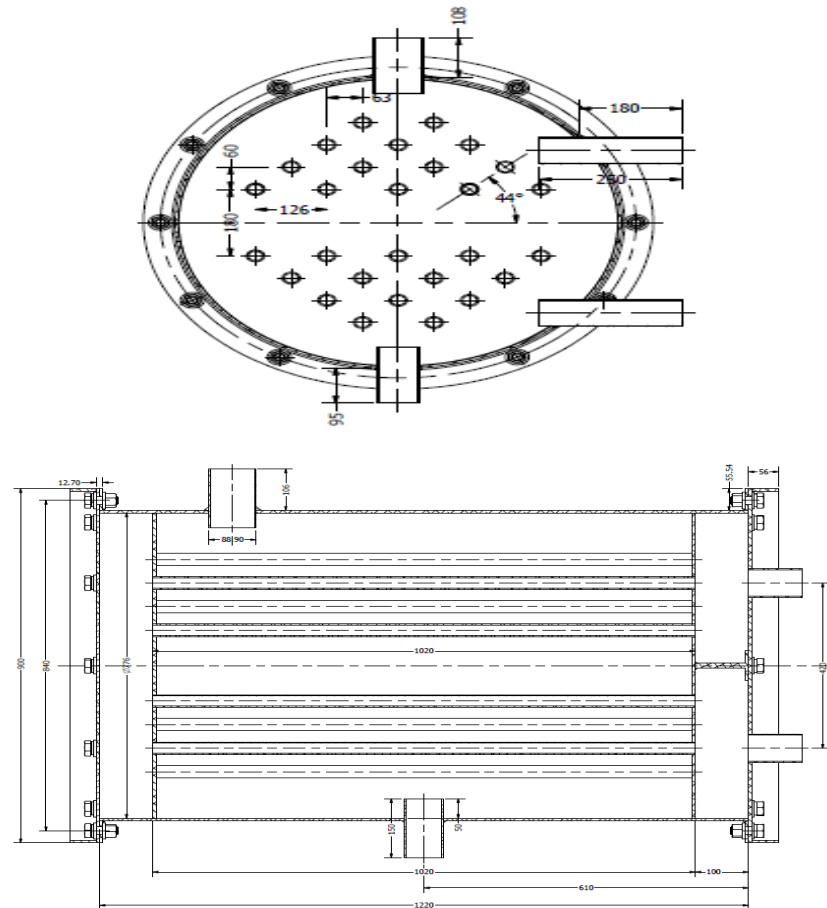


Figura 63. Dimensiones del intercambiador de calor.

Fuente: (Vega, 2015)

El volumen del V_{TE} es:

$$V_{TE} = \frac{62000 \text{ cm}^3 \left(0.915 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 0.712 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}{\frac{3}{4} 0.712 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - \frac{1}{4} 0.915 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$V_{TE} = \frac{62000 \text{ cm}^3 \left(0.203 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}{0.534 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 0.229 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$V_{TE} = \frac{12586g}{0.305 \frac{g}{cm^3}}$$

$$V_{TE} = 41266 \text{ cm}^3 = 0.041266 \text{ m}^3$$

Considerando el volumen del tanque de expansión 41266 cm³, se procede el dimensionamiento del tanque, para lo cual se asume el diámetro del cilindro de 40 cm, con la finalidad de obtener un cilindro proporcional:

$$D \text{ tanque expansión} = 30 \text{ cm}$$

$$V_{TE} = 41266 \text{ cm}^3$$

Con estos datos procedemos al cálculo de la altura del tanque de expansión.

$$V_{TE} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$h = \frac{V_{TE}}{\pi \cdot r^2}$$

$$h = \frac{41266 \text{ cm}^3}{\pi \cdot (15 \text{ cm})^2}$$

$$h = 58 \text{ cm} = 0.58 \text{ m}$$

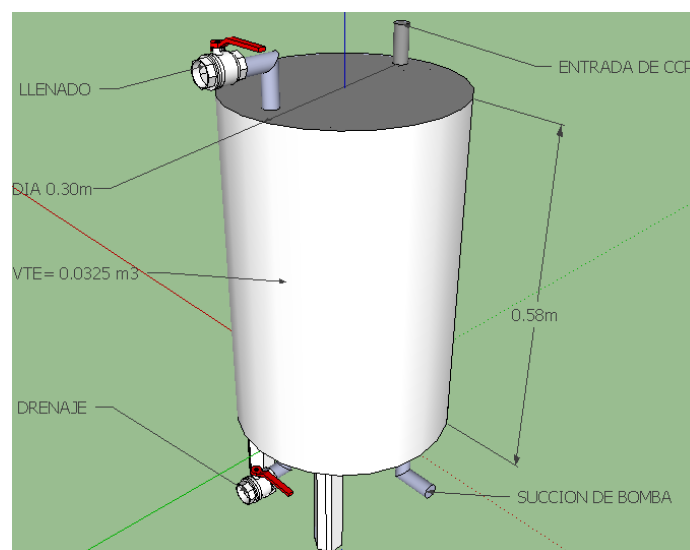


Figura 64. Dimensiones de tanque de expansión.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO PARA CALENTAMIENTO DE MUESTRAS

En la tabla 6.1 se presenta los costos del prototipo de calentamiento de muestras.

Tabla 43

Costos de fabricación del prototipo para calentamiento de muestras

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1	Cilindro capacidad 1 litro en acero inoxidable	1	\$ 500,00	\$ 500,00
2	Mano de Obra	n/a	\$ 200,00	\$ 200,00
SUBTOTAL 1				\$ 700,00

El cilindro en acero inoxidable de 1 litro de capacidad, cuenta en la parte superior con un orificio para el llenado del aceite a calentar, y en la parte inferior cuenta con una válvula de drenaje para poder vaciar el aceite utilizado.



Figura 65. Cilindro para calentamiento de muestras de aceite

6.1.1 SISTEMA DE MEDICIÓN Y AUXILIARES

Al cilindro para calentamiento de muestras es necesario instalar medidores de presión y temperatura además de envases para el llenado y vaciado de las muestras. En la Tabla 6.2 se presentan estos valores

Tabla 44

Costos de implementación de equipos

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1	Manómetro de 0 a 100 psi	1	\$ 20,00	\$ 20,00
2	Termocupla tipo J	1	\$ 20,00	\$ 20,00
3	Medidor de temperatura digital	1	\$ 100,00	\$ 100,00
4	Mechero bunsen	2	\$ 50,00	\$ 100,00
5	Trípode	1	\$ 30,00	\$ 30,00
6	Malla de amianto	1	\$ 20,00	\$ 20,00
7	Mano de Obra	n/a	\$ 150,00	\$ 150,00
SUBTOTAL 2				\$ 440,00

- Manómetro

- Termocupla tipo J
- Medidor de temperatura digital
- Mechero bunsen
- Trípode
- Malla de amianto

6.2 COSTOS DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

Se debe considerar los siguientes rubros.

Tabla 45

Costos de ensayos experimentales

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1	Ayudante de investigación	1	\$ 700,00	\$ 700,00
2	Aceites comestibles, presentación de 1 litro	10	\$ 2,50	\$ 25,00
3	Gas GLP	1	\$ 1,60	\$ 1,60
4	Probeta capacidad de 500 ml de capacidad	2	\$ 15,00	\$ 30,00
5	Erlenmeyer de 500ml	4	\$ 15,00	\$ 60,00
6	Investigador 1	1	\$ 1500,00	\$ 1500,00
SUBTOTAL 3				\$ 2316,60

- El ayudante de investigación colaboró por dos meses de lunes a viernes por ocho horas diarias.
- Los aceites comestibles, son los utilizados para el consumo de personas, se lo encuentra en cualquier tienda del país.
- El gas corresponde a la bombona de GLP que se utiliza para uso doméstico.
- Las probetas utilizadas para medir la muestra y para depositar en el prototipo calentador.
- Erlenmeyer utilizado para colocar la muestra caliente y dejarla hasta que se encuentre a temperatura ambiente nuevamente.

6.3 COSTOS DE LOS ENSAYOS EN LABORATORIO

Corresponden a los costos generados por los ensayos realizados en laboratorio.

Tabla 46

Costos de ensayos en laboratorio

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1	Ayudante de investigación	1	\$ 700,00	\$ 700,00
2	Aceites comestibles, presentación de 1 litro	10	\$ 25,00	\$ 25,00
3	Energía eléctrica	n/a	\$ 0,00	\$ 0,00
4	Probeta capacidad de 250 ml de capacidad	1	\$ 10,00	\$ 10,00
5	Termómetro de mercurio de -20 a 360°C	1	\$ 8,00	\$ 8,00
6	Termo higrómetro	n/a	\$ 0,00	\$ 0,00
7	Calentador con agitador magnético	n/a	\$ 0,00	\$ 0,00
8	Balanza electrónica	n/a	\$ 0,00	\$ 0,00
9	Erlenmeyer de 500ml	4	\$ 15,00	\$ 60,00
10	Tapones de caucho	4	\$ 2,50	\$ 10,00
11	Investigador 2	1	\$ 1500,00	\$ 1500,00
SUBTOTAL 4				\$ 2313,00

- El ayudante de investigación colaboró por un mes de lunes a viernes por ocho horas diarias.
- Los aceites comestibles, son los utilizados para el consumo de personas, se lo encuentra en cualquier tienda del país.
- La energía eléctrica, el termo higrómetro, el calentador con agitador magnético y la balanza electrónica no generan costo debido a la gestión realizada con el Laboratorio de Aviforte Cía. Ltda., fueron prestados durante el tiempo previsto para la realización de estos ensayos.
- La probeta fue utilizada para medir la densidad de las muestras.
- El termómetro de mercurio con capacidad de -20 a 360°C con divisiones de dos grados es empleado para medir la temperatura a la cual se está calentado la muestra.

- Erlenmeyer de 500ml utilizados para colocar las muestras de aceite en el calentador con agitador magnético, para posteriormente dejarlos enfriar hasta temperatura ambiente.
- Los tapones de caucho utilizados para colocar el termómetro.

6.4 COSTOS VARIOS

Para estimar estos valores se debe considerar los rubros presentados en la siguiente tabla.

Tabla 47

Costos varios

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
1	Transporte de equipos	1	\$ 80,00	\$ 80,00
2	Movilización Investigadores	1	\$ 300,00	\$ 300,00
3	Materiales de Oficina	1	\$ 200,00	\$ 200,00
4	Adquisición de material didáctico	6	-	\$ 650,00
SUBTOTAL 5				\$ 1230,00

En la siguiente tabla se presenta un resumen de todos los costos generados en esta investigación.

Tabla 48

Costos totales de la investigación

N°	Descripción	Valor Total USD
1	Subtotal 1	\$ 700,00
2	Subtotal 2	\$ 440,00
3	Subtotal 3	\$ 2316,60
4	Subtotal 4	\$ 2313,00
5	Subtotal 5	\$ 1230,00
TOTAL		\$ 6999,60

Por lo tanto, el costo total de la investigación para el desarrollo de la investigación “Estudio y selección de un fluido térmico para aplicaciones de la energía solar de media temperatura con concentradores parabólicos”, representa la suma de USD \$ **6.999,60** (seis mil novecientos noventa y nueve con 60/100 dólares).

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- De los fluidos térmicos estudiados y utilizados en las plantas termosolares con concentradores cilindro parabólicos que actualmente se encuentran en funcionamiento de forma comercial, los más utilizados son los aceites sintéticos Therminol VP-1 y DowthermA, los cuales pueden trabajar a temperaturas muy cercanas a los 400°C, sin embargo para este proyecto de investigación que comprende un prototipo de 18 colectores cilindro parabólicos, con temperatura de fluido en la salida del campo solar de hasta 250°C, la mejor opción por costos y disponibilidad es el aceite mineral para transferencia de calor como el Shell Thermia B, ya que este funciona de forma adecuada y probada en calderos de fluido térmico hasta temperaturas de 280°C.
- De los ensayos realizados con tres aceites vegetales (aceite de Girasol, aceite Vivi Soya y aceite Sabrosón); y un aceite sintético (Tegra iso 68). En dos pruebas diferentes, una en circuito cerrado y otra en circuito abierto, se determina que la mejor alternativa es el aceite “Sabrosón” que es una mezcla de aceite de palma y oleína de palma, debido a que presenta mejores condiciones térmicas luego de dos meses de calentamientos diarios, a temperaturas promedio de 300°C y con presiones promedio de 12psi. Los otros dos aceites comestibles aceite de girasol y de soya presentan presiones de 13 y 19 psi respectivamente a temperatura de 300°C, el aceite sintético analizado presenta presiones de 27psi a temperatura de 318°C.
Cabe mencionar que la utilización de estos aceites comestibles provocan mínima contaminación ambiental frente a los aceites minerales y sintéticos.

- El aceite “sabrosón”, presenta un flujo laminar al ser movido por la bomba a temperatura ambiente (20°C), mientras que a los 70°C el flujo comienza a cambiar de laminar a turbulento manteniéndose de esta manera hasta los 300°C. La bomba que se calculó para la recirculación del fluido, es de potencia 1,25HP de características similares a la de marca Sterling ZTND cuyas características son: caudal máximo 21 m³/h, altura: máxima 70 m, velocidad: máxima 3500 rpm, temperatura: máxima 350°C, presión carcasa: PN 16, cierre de eje: anillos radiales o cierre mecánico y bridas de conexión: DIN EN 1092-2 PN 16 / 25.
- El tanque de expansión diseñado tiene un volumen aproximado de 11 galones, el mismo fue obtenido luego de calcular el volumen ocupado en todas las tuberías del sistema incluido el intercambiador de calor. De este volumen el 25% de su capacidad debe estar ocupado con el aceite cuando se encuentra a temperatura ambiente para garantizar el nivel mínimo de operación, al aumentar la temperatura la densidad disminuye y por lo tanto el volumen del fluido aumenta, este aumento debe llegar máximo hasta el 75% del volumen del tanque. Cuando el aceite se enfría se produce el efecto inverso hasta alcanzar las condiciones iniciales. La presión mínima de diseño debe ser 2 bares (29psi), y se prefiere del tipo vertical para que tenga menor área de contacto con el aire. El tanque de expansión es el encargado de dar succión positiva a la bomba de recirculación y adicionalmente de mantener todo el sistema ligeramente presurizado, garantizando una operación segura y confiable del sistema del fluido.

7.2 RECOMENDACIONES

- La bomba de circulación debe ser una bomba de caudal, para mover grandes volúmenes, diseñada de tal forma que sea capaz de producir flujo turbulento a lo largo de los colectores cilindro parabólicos, para esto es necesario que la velocidad superficial se encuentre entre 2 y 3 metros por segundo (m/s), es por este motivo que en este proyecto se realizaron los cálculos con velocidad

de 2m/s. Esta bomba debe trabajar a alta temperatura, promedio de 300°C, su construcción es de acero al carbono y el sello mecánico debe tener enfriamiento.

- El tanque de expansión debe estar ubicado de 2 a 4 metros sobre la tubería más alta de la instalación para garantizar una operación confiable del sistema, además es importante considerar colocar un muro de contención o una fosa alrededor del tanque de expansión, para contener el fluido en caso de un derrame o fuga, el volumen de este muro o fosa debe ser ligeramente superior al volumen del fluido cuando se encuentra caliente debido a que en estas condiciones el volumen es mayor; de esta manera se está protegiendo la integridad de las personas, de los materiales, otros equipos y finalmente se minimiza el impacto ambiental.
- A manera de trabajos futuros sobre este proyecto, se puede mencionar los ensayos con otros tipos de fluidos, ya sean aceites vegetales residuales, aceites minerales o sintéticos que hayan sido desechados. Además se pueden realizar pruebas en el prototipo de colectores cilindro parabólicos para determinar temperaturas reales de entrada y salida del sistema con los fluidos investigados. También es posible cambiar la configuración del sistema de colectores de paralelo a serie y determinar temperaturas de tal forma que se logre mejorar la eficiencia de todo el conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Acciona. (2015). Obtenido de <http://www.acciona-energia.es>
- AVEN. (2009). Guía práctica de energía solar térmica. Obtenido de http://energia.ivace.es/attachments/guia_solar_termica_2009.pdf
- Briceño, S. (2011). Estudio económico y termoeconómico de una central termosolar híbrida solar - biomasa. Obtenido de Tesis fin de carrera: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4965/fichero/CAP%CDTULOS%252FCAPÍTULO+1.+INTRODUCCION+A+LAS+CENTRALES+SOLARES+TERMOELECTRICAS.pdf>
- Chevron. (07 de 2011). Tegra synthetic compressor oils. Obtenido de <https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataId=77202&docFormat=PDF>
- Conauto. (10 de 02 de 2015). Texatherm. Obtenido de <http://www.conauto.com.ec>
- Dow. (03 de 1997). Dowtherm A . Obtenido de Heat transfer fluid: http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0030/0901b803800303cd.pdf?filepath=/heattrans/pdfs/noreg/176-01337.pdf&fromPage=GetDoc
- Dow. (11 de 2010). 4th Annual international csp summit seville. Obtenido de http://www.dow.com/heattrans/csp/pdfs/SupplyChainWorkshop2010__forSeville.pdf
- Dow. (10 de 2011). Fluidos de transferencia de calor. Obtenido de http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0880/0901b80380880b6b.pdf?filepath=oilandgas/pdfs/noreg/812-00083.pdf&fromPage=GetDoc
- Energía, A. (10 de 02 de 2015). Obtenido de <http://www.acciona-energia.es/>
- Energía, A. (10 de 02 de 2015). Acciona energía. Obtenido de <http://www.acciona-energia.es/>
- Energías renovables. (2015). Obtenido de <http://www.esrenovable.com>
- García, S. (2012). Sistema HTF (3 ed.). Madrid.

- Guía técnica de la energía solar termoelectrica. (2012). Obtenido de www.fenercom.com
- IDAE. (10 de 02 de 2015). Instituto para la Diversificación y ahorro de energía. Obtenido de <http://www.idae.es/>
- Ingeniería, F. d. (2015). Plataforma solar de extremadura. Obtenido de <http://www.fierasdeingenieria.com/plataforma-solar-extremadura-el-mayor-complejo-termsolar-de-europa/>
- Mobil. (25 de 02 de 2015). Mobil therm 605. Obtenido de <http://www.ulei-mobil.ro/pdf/MobilIndustrieDataSheet/Mobiltherm%20605%20pds.pdf>
- Montes, M. (2008). Análisis y propuestas de sistemas solares. Obtenido de Tesis Doctoral: http://oa.upm.es/1242/1/MARIA_JOSE_MONTES_PITA_A1b.pdf
- Muñoz, J. (2008). Sistema de generación eléctrica mediante calderas de vapor energizadas por radiación solar concentrada. Obtenido de Tesis doctoral: http://oa.upm.es/1654/1/JAVIER_MUNOZ_ANTON.pdf
- NREL. (22 de 01 de 2015). National renewable energy laboratory. Obtenido de www.nrel.gov
- Paredes, C. (2012). Diseño de captador solar cilindro parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. Obtenido de Tesis maestría: http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf
- PSA. (2015). Obtenido de <http://www.psa.es/webesp/instalaciones/parabolicos.php>
- Puerto llano. (2015). Obtenido de <http://www.puertollano.es>
- Rivas, E. (11 de 2011). Diseño de un módulo de almacenamiento térmico para plantas termosolares con generación directa de vapor. Obtenido de [http://eprints.ucm.es/23159/1/TFM\(Sep-2011\).pdf](http://eprints.ucm.es/23159/1/TFM(Sep-2011).pdf)
- Romero, M. (s.f.). Energía Solar Termoeléctrica. Obtenido de <http://www.bionica.info/biblioteca/RomeroEnergiaSolarTermoelectrica.pdf>
- Shell. (2004). Shell thermia. Obtenido de Fluido para transferencia de calor: http://www.epc.shell.com/Docs/GPCDOC_X_cbe_26680_key_14000172514_3_5C4.pdf
- solar, A. (12 de 10 de 2014). Abengoa solar. Obtenido de <http://www.abengoasolar.com/web/es/index.html>

- Syltherm. (11 de 2001). Silicone heat transfer fluid. Obtenido de <http://www.loikitsdistribution.com/files/syltherm-800-technical-data-sheet.pdf>
- Texaco. (2004). Texatherm 46. Obtenido de <http://www.mercantiloccidental.com/pdf/TEXATHERM.pdf>
- VP-1, T. (2015). Heat transferfluids by solutia. Obtenido de <http://twt.mpei.ac.ru/tthb/hedh/htf-vp1.pdf>
- Zarza, E. (2003).
- Zarza, E. (2003). Generación directa de vapor con colectores solares cilindro parabólicos Proyecto (DISS). Sevilla.
- Zarza, E. (20 de enero de 2013). Proyecto Solefex. Obtenido de Estudio preliminar del estado del arte de los sistemas solares térmicos de concentración: <http://www.solefex.org/documentos/>

ANEXOS

ANEXO 1



TEXATHERM 46

Texatherm 46 es un aceite formulado con básicos minerales y aditivos Inhibidores de herrumbre y oxidación para uso como fluido en sistemas de transferencia de calor

APLICACIONES

Texatherm 46 se recomienda para uso en sistemas de transferencia de calor del tipo secundario o indirecto cuando es especificado por el fabricante un aceite mineral.

Texatherm 46 puede ser utilizado en sistemas cerrados (sistemas que no tiene contacto con el aire y que tienen tanque de expansión) con temperatura de operación de hasta 316 °C (600 °F).

Texatherm 46¹ También puede ser utilizado en sistemas abiertos (que tiene contacto con el aire atmosférico) con temperatura de operación hasta 205 °C (400 °F).

Texatherm 46 solo debe ser utilizado en sistemas limpios y exentos de agua.

BENEFICIOS

Texatherm 46 proporciona:

- **Superior estabilidad a la oxidación** — garantizando una larga vida del aceite aún en altas temperaturas, evitando también la formación de depósitos.
- **Excelente protección contra herrumbre y corrosión** — en función de los inhibidores que protegen las superficies.
- **Excelente desempeño a temperaturas extremas** — pues garantiza mínima rotura de cadena molecular en altas temperaturas y también en ciclos repetidos de bajas y altas temperaturas.
- **Minima reposición del aceite** — en función de la baja volatilidad y alto punto de inflamación, significa una mínima pérdida por evaporación.

MANEJO:

Para información sobre seguridad en el manejo de este producto, referirse a la hoja de seguridad o contacte con su representante de ventas.

1. producto manufacturado en Argentina, Chile, Colombia, Ecuador y El Salvador

Texatherm 46—Continuación

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS:

	Método ASTM	ISO 46
Código de producto	-	1507
Código de hoja de seguridad MSDS	-	-
Densidad @ 15,5°C	D-4052	0,868
Viscosidad dinámica cSt @ 40 °C cSt @ 100 °C	D-445 D-445	46,0 6,78
Índice de viscosidad	D-2270	101
Punto de inflamación, °C	D-92	235
Punto de fluidez, °C	D-97	- 15

Las características típicas son valores promedio. En la manufactura se pueden encontrar ligeras variaciones las cuales no afectan la calidad del producto, ni el rendimiento.

Texatherm 46	a 40°C (104°F)	a 150°C (302°F)	a 260°C (500°F)
Viscosidad	46,9	2,91	-
Conductividad térmica, BTU/hr-ft-°F	0,0769	0,0722	0,0675
Calor específico BTU/lb -°F o Calorías/gm°C	0,4683	0,5642	0,6602
Densidad	0,8090	0,6836	0,5583

Valores calculados con base en carta de información n° 442 de 01/06/2004

TEXACO TEXATHERM®

Código 1507 Texatherm 46

**Información**

El **Texatherm 46** es un aceite parafínico altamente refinado y térmicamente estable, formulado para ser usado en sistemas de transferencia de calor abiertos y cerrados. Este producto tiene, por naturaleza, características de baja formación de carbonos y antioxidantes efectivos a altas temperaturas para lograr una vida prolongada al trabajar como transmisor de calor.

Aplicación del Producto

Muchos procesos industriales requieren calor para su operación. Si bien el calor directo es usualmente satisfactorio, con frecuencia es preferible el uso de calor indirecto. El calor se produce en cierto lugar y es conducido por un medio transmisor al punto de uso ubicado en otro sitio. Este método generalmente proporciona un mejor control de temperatura, mejor distribución del calor y mayor seguridad. Un sistema de circulación de aceite caliente, es una manera común de transmitir calor en sistemas indirectos.

El aceite **Texatherm 46** está recomendado para unidades de transferencia de calor por circulación donde las temperaturas no excedan los 190°C para sistemas abiertos (expuestos al aire) y 315°C para sistemas cerrados (sin entrada de aire).

Características Especiales

El aceite **Texatherm 46** es un aceite de alta calidad para transferencia de calor, formulado para cumplir con las severas condiciones de oxidación presentes en los sistemas de alta temperatura. Tiene una notable estabilidad en períodos de operación prolongados y no es corrosivo con el cobre y el acero. Esto trae como resultado una larga vida del fluido y el equipo.

Beneficios

En el servicio el aceite **Texatherm 46** proporciona:

- Buena capacidad calorífica y conductividad térmica para una transferencia de calor eficiente.
- Buena estabilidad térmica para resistir la descomposición a elevadas temperaturas.
- Baja volatilidad.
- Buena estabilidad a la oxidación para minimizar la degradación en servicio.
- Baja viscosidad para facilitar el arranque y tener una mayor eficiencia de bombeo.

Recomendaciones y Aprobaciones del Producto

El aceite **Texatherm 46** es ideal para procesos tales como derretimiento, ebullición, destilación, secado, vulcanizado, cocinado y curado. Estos procesos se encuentran presentes en industrias como las de jabones, asfaltos, plásticos, resinas, pinturas, caucho, papel, impermeabilizantes, fibras de vidrio, textiles, alimentos, pegamentos, químicos, barnices, ceras, tintes, petroquímica, productos farmacéuticos, maderas e imprenta.

RECOMENDACIONES PARA LOS SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Se deben tomar ciertas precauciones para asegurar un rendimiento satisfactorio del aceite **Texatherm 46** durante el servicio.

Sistema Limpio

El sistema de transferencia de calor, ya sea nuevo o usado, debe ser limpiado completamente antes de instalar el aceite **Texatherm 46**. Si fuera nuevo, debe limpiarse con **Texatherm 46** para retirar la suciedad, herrumbre, depósitos y otras partículas remanentes del proceso de fabricación. Si el sistema ya ha estado en operación, debe limpiarse con **Texatherm 46** para remover cualquier acumulación de depósitos, producto de las operaciones anteriores. Si el sistema tuviera una alta concentración de depósitos, por ejemplo como resultado del uso de un aceite común y corriente en lugar de uno especial para transmisión de calor, podría hacerse necesaria una limpieza mayor con productos químicos y luego proceder a limpiar con **Texatherm 46**. Es vital tener un sistema limpio para así eliminar la presencia de puntos calientes localizados, que degradarían rápidamente el aceite y dañarían los tubos calefactores.

Materiales

Los materiales preferidos para un sistema de calefacción por aceite, son el hierro y el acero. No debe usarse cobre, aleaciones de cobre o latón a menos que sea absolutamente necesario, dado que el cobre actúa como un catalizador que provoca una rápida oxidación del aceite caliente. Los empaques deben ser diseñados especialmente para esta clase de operaciones.

Sellado del Sistema

Es necesario proteger el aceite del contacto con el aire, dado que a altas temperaturas, el aire oxidaría rápidamente al aceite. La tasa en la cual los aceites reaccionan con el oxígeno del aire no es significativa a temperaturas ambientales, pero esta tasa se duplica con cada aumento de 10°C por encima de 60°C. La mejor manera de mantener el aire lejos del aceite caliente, es empleando un tanque de expansión ubicado de modo que el aceite en él se mantenga frío (nunca por encima de 55°C aprox.).

Tanque de Expansión

El tanque de expansión debe estar considerablemente por arriba del siguiente punto más elevado del sistema. Se puede colocar un flotador encima del aceite en el tanque para minimizar la superficie expuesta al aire, o el espacio de expansión en el tanque puede llenarse también con un gas inerte, como nitrógeno. El tanque no debe estar aislado, para así facilitar el enfriamiento. La tubería que conecta el tanque al sistema debe ser pequeña, o debe tener un orificio o restricción de flujo, de modo que no se presenten corrientes convectivas en ella que puedan calentar el aceite del tanque. En algunos casos es necesaria una camisa de agua alrededor de la tubería de conexión para mantener frío el aceite del tanque de expansión. Dicho tanque debe

TEXACO TEXATHERM®

Código 1507 Texatherm 46



ser alrededor de dos veces el volumen de expansión del aceite en el sistema. Cuando el aceite se encuentra frío el tanque debe estar 25% lleno, y cuando el sistema está caliente debe estar 75% lleno. Esto permite tener un factor de seguridad de 25% en el tanque en cada punto extremo del proceso.

Puntos Calientes

Se deben tomar precauciones para evitar puntos localizados calientes en el sistema, dado que éstos incentivarán la formación de depósitos de carbón, con la subsecuente degradación del aceite y el daño de las tuberías calefactoras. El aceite debe circular en las tuberías a aproximadamente 2.4 metros por segundo, ± 0.6 m/s, usando las velocidades más altas a las temperaturas mayores. Velocidades por debajo de 1,8 m/s tienden a incrementar el sobrecalentamiento, mientras que velocidades mayores a 3 m/s incrementan la turbulencia del flujo y el trabajo requerido para hacer circular el aceite.

El sistema debe estar diseñado de modo que la bomba de circulación se arranque antes de que se aplique calor al equipo. Asimismo, la bomba debe apagarse un tiempo después de que se deje de aplicar calor para evitar la acumulación de calor en el aceite; finalmente, el calentador debe apagarse en caso de que la bomba falle. Por otro lado, el sistema debe garantizar la circulación de aceite por todo el sistema. No deben haber puntos muertos. El calentador debe ser lo suficientemente grande como para suministrar al aceite la cantidad de calor requerida con una razonable temperatura de las superficies. Se sugieren densidades de potencia en el orden de 15 a 23 kW/m², con un máximo de 30 kW/m².

Para una larga vida del equipo y el aceite, se deben instalar dispositivos de seguridad para apagar el sistema en caso de excesiva temperatura o presión, o en caso de fallas en la circulación del flujo. Se recomienda el uso de termómetros e indicadores de presión para asegurar una operación adecuada. La temperatura del aceite no debe exceder de los 25°C por encima de la temperatura requerida en el proceso

Características Típicas

Texatherm		46
Código No		1507
	Método de Prueba	
Apariencia		Ligeramente Pálido
Gravedad, API	D 1298	29.9
Punto de Inflamación, Copa Abierta, °C	D 92	210
Punto de Fluidez, °C	D 97	-26
Viscosidad		
cSt a 40°C	D 445	46
cSt a 100°C	D 445	6.8
SSU a 100 ° F	Calc.	237
SSU a 210 ° F	Calc.	48
Índice de Viscosidad	D 2270	95
Temperatura de Película Máxima Permisible, °C		335
Propiedades a 260°C/500°F		
Conductividad Térmica, W/m-°K		0,1160
Capacidad Calorífica, kJ/kg-°K		2,75
Viscosidad, cSt		1.02
Gravedad Específica		0.72
Presión de Vapor, mm Hg		25

Prácticas de Manejo

Para mayor información técnica y sobre seguridad del producto, llame a nuestra línea LADA sin Costo 01-800-711-8772 (URSA).

ANEXO 2



Shell Thermia

Heat Transfer Fluids

Shell Thermia Oils B and D are based on carefully selected highly refined mineral oils chosen for their ability to provide superior performance in indirect closed fluid heat transfer systems.

Applications

- **Enclosed circulated heat transfer systems**
for industrial applications such as process industry, chemical plants, textile producers etc. and in household equipment such as oil filled heaters

Thermia B and D can be used in high temperature continuous heat transfer equipment with the following application limits:

Thermia	B	D
Max. film temperature	340°C	340°C
Max. bulk temperature	250°C	280°C

Performance Features and Benefits

- **High oxidation and thermal stability**
Thermia B and D are based on carefully selected highly refined mineral oils. The rates of oil cracking and oxidation are very small, giving long oil life. This assumes an efficient fluid heater with good pump circulation that the film temperatures on the heater surface do not exceed the limits above.
- **Low viscosity and high heat transfer coefficient**
Low viscosities enable excellent fluidity and heat transfer also at lower temperatures.
- **Good solvency**
- **Non-corrosive**
- **Low vapour pressure**
- **Non-toxic oils and easy disposal**
Mineral oil heat transfer fluids are safer to handle than synthetic fluids. After service they can easily be collected as used oil for recycling or disposal.

Specification and Approvals

Classified as ISO 6743-12 Family Q
Meets typically DIN 51522 requirements

Advice

The life of Thermia oils depends on the design and usage of the system. If the system is well designed and not subjected to abnormal workloads, the life can be for many years.

It is important to monitor oil condition regularly as rates of change in physical characteristics are more significant than actual values. The properties that should be monitored are viscosity, acidity, flash point (open and closed) and insolubles content.

Advice on applications not covered in this leaflet may be obtained from your Shell Representative. For contact details see page ii in the front of this binder.

Health and Safety

Guidance on Health and Safety are available on the appropriate Material Safety Data Sheet which can be obtained from your Shell representative.

Protect the environment

Take used oil to an authorised collection point. Do not discharge into drains, soil or water.

Typical Physical Characteristics

Thermia			B	D
Density at 15 °C	kg/l	ISO 12185	0.868	0.881
Flash Point PMCC	°C	ISO 2719	220	268
Flash Point COC	°C	ISO 2592	230	
Fire Point COC	°C	ISO 2592	255	
Pour Point	°C	ISO 3016	-12	-6
Kinematic Viscosity		ISO 3104		
at 0 °C	mm ² /s		230	
at 40 °C	mm ² /s		25	108
at 100 °C	mm ² /s		4.7	11.8
at 200 °C	mm ² /s		1.2	
Initial Boiling Point	°C	ISO 3771	> 355	
Autoignition Temperature	°C	DIN 51794	360	
Neutralisation Value	mgKOH/g	ASTM D974	< 0.05	
Water Content	%m/m	ISO 3733	< 0.1	
Ash (Oxid)	%m/m	ISO 6245	< 0.01	
Carbon Residue (Conradson)	%m/m	ISO 10370	0.02	
Copper Corrosion (3h/100°C)		ISO 2160	class 1	
Coefficient of Thermal Expansion	1/°C		0.0008	

These characteristics are typical of current production. Whilst future production will conform to Shell's specification, variations in these characteristics may occur.

Typical Design Data

Thermia B:

Temperature	°C	0	20	40	100	150	200	250	300	340
Density	kg/l	0.876	0.863	0.850	0.811	0.778	0.746	0.713	0.681	0.655
Specific Heat Capacity	kJ/kg*K	1.809	1.882	1.954	2.173	2.355	2.538	2.72	2.902	3.048
Thermal Conductivity	W/m*K	0.136	0.134	0.133	0.128	0.125	0.121	0.118	0.114	0.111
Prandtl No.		3375	919	375	69	32	20	14	11	9
Vapour Pressure	mbar	-	-	-	-	-	5	26	100	260

Thermia D:

Temperature	°C	0	20	40	100	150	200	250	280
Density	kg/l	0.911	0.900	0.888	0.849	0.819	0.788	0.748	0.737
Specific Heat Capacity	kJ/kg*K	1.87	1.93	2.00	2.20	2.36	2.54	2.70	2.80
Thermal Conductivity	W/m*K	0.130	0.128	0.1264	0.1217	0.1172	0.113	0.109	0.108
Prandtl No.		-	6000	1000	165	59	33	22	9



Shell Thermia

Fluido para transferencia de calor

Los aceites Shell Thermia se basa en una cuidadosa selección de aceites minerales de alto índice de viscosidad escogidos por su capacidad de brindar un rendimiento superior en sistemas de transferencia de calor.

Aplicaciones

- Sistemas de transferencia de calor con aceites minerales

Características de Rendimiento

- *Altos coeficientes de transferencia de calor*
- *Alta estabilidad térmica y contra la oxidación*
- *Buenas características de viscosidad / temperatura*
- *Baja presión de vapor*
- *No corrosivos*

Estabilidad Térmica

Los aceites minerales están sometidos a dos formas de degradación a temperaturas elevadas:

1. Ruptura de las moléculas de hidrocarburos por efecto del calor. Algunas se vuelven volátiles en forma de gases, mientras que otras son inestables y se polimerizan en depósitos no solubles.
2. Oxidación o la reacción de los hidrocarburos con el oxígeno de la atmósfera. A temperatura ambiente esta reacción ocurre muy lentamente, pero se acelera rápidamente con el incremento de la temperatura. La oxidación produce acidez en el aceite, algunos contaminantes no solubles y es acompañada por lo general con un incremento de viscosidad.

Los aceites Shell Thermia tienen una estabilidad térmica excepcionalmente buena a temperaturas de hasta 320°C. Las velocidades de fraccionamiento molecular y de oxidación son muy bajas, lo que permite la máxima vida del aceite. Esto asume un eficiente calentador del fluido con un buen bombeo de modo que las temperaturas de película no superen los 340°C.

Vida Util

La vida del Shell Thermia depende del diseño y uso del sistema. Si el sistema está bien diseñado, y no está sometido a esfuerzos

anormales, la vida puede alcanzar muchos años.

Es importante hacer un seguimiento regular de las condiciones del aceite pues las velocidades de cambio son más significativas que los valores registrados. Se recomienda tomar una muestra de un sistema llenado con aceite nuevo alrededor de una semana después del arranque para establecer datos. Posteriormente se deben tomar muestras cada 6 meses y los resultados comparados con los reportes previos.

Las propiedades que deben monitorearse son viscosidad, acidez, punto de inflamación y contenido de insolubles.

Notas sobre el Diseño y la Operación

Una fuente potencial de daño para un aceite de transferencia de calor es el calentador. Para evitar problemas, la bomba de circulación debe ser capaz de producir un flujo completamente turbulento a lo largo del calentador a velocidades superficiales de entre 2 y 3.55 metros por segundo de acuerdo con la geometría de las superficies. El flujo de calor debe mantenerse al mínimo para reducir la temperatura de película. La máxima temperatura de película para el Shell Thermia es de 340°C.

Se debe evitar la aplicación de flama directa sobre los tubos del aceite para prevenir el sobrecalentamiento local y excesivas temperaturas de película.

Es necesario un tanque de expansión para permitir el cambio en el volumen del fluido por su calentamiento o enfriamiento. El volumen de aceite mineral a 300°C es aproximadamente 20% mayor que a temperatura ambiente. El tanque debe ser lo suficientemente grande como para aceptar toda la expansión térmica. Debe ser el punto más alto en el circuito del aceite y estar conectado al sistema en el lado de succión de la bomba para proporcionar un adecuado calor estático. Se puede prevenir la circulación a través del tanque de expansión por algún dispositivo tal como un codo debajo del punto donde se une al circuito principal.

Las líneas del sistema deben contener una adecuada ventilación para reducir la formación

de vapores y bolsas de aire durante el arranque inicial. Si se necesita presión lo mejor es evitar el agua pues su eliminación luego de iniciado trabajo puede ser un proceso largo y difícil. Si se deja cualquier residuo de humedad en el sistema, el nuevo aceite debe ser calentado lentamente hasta aproximadamente 110°C con una ventilación continua. La temperatura puede elevarse entonces lentamente hasta la temperatura de trabajo, con una purga periódica de vapor.

Todo el sistema debe contener instrumentos para monitorear la temperatura del aceite y el flujo en puntos críticos, por ejemplo en algún lado del calentador. Debe contar además con dispositivos de seguridad en caso que una falla de la bomba o temperaturas excesivas afecten el calentador.

Se debe mantener un flujo constante a través del calentador sin importar las condiciones de la zona a calentar; esto se puede conseguir con una línea puente a través de esta zona que cuente con una válvula de presión constante capaz de asumir todo el flujo de aceite.

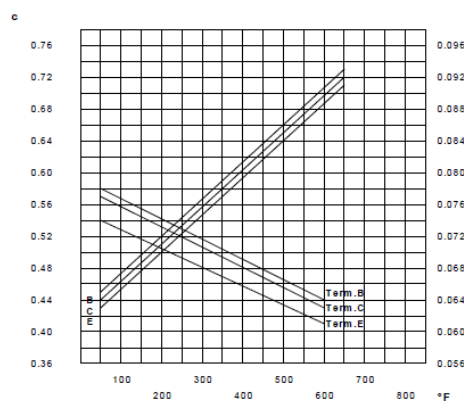
Salud y Seguridad

Los aceites Shell Thermia no presentan ningún riesgo significativo para la salud o la seguridad cuando se usan apropiadamente en la aplicación recomendada y se mantienen buenos estándares de higiene industrial y personal.

Evite el contacto con la piel. Use guantes con el aceite usado. Tras un contacto con la piel, lavar inmediatamente con agua y jabón.

Características Físicas Típicas

Shell Thermia	B	C	E
Viscosidad Cinemática			
@ 40°C cSt	24.8	46.2	135
100°C cSt	4.6	6.8	10.5
(IP 71)			
Índice de Viscosidad	98	98	36
(IP 226)			
Gravedad API	31.5	30.4	25.0
Densidad @ 15°C kg/l	0.868	0.871	0.906
Color ASTM	1.5	1.5	1.5
Punto de Inflamación °C	208	230	237
(Cleveland Open Cup)			
(IP 36)			
Punto de Fluidez °C	-18	-6	-32
(IP 15)			
Número de Neutralización			
mg KOH/g	0.05	0.05	0.05
(IP 139)			
Cenizas % peso	0.01	0.01	0.01
Calor Específico			
@ 60°F BTU/lb.°F	0.445	0.445	0.436
200°F BTU/lb.°F	0.513	0.512	0.502
400°F BTU/lb.°F	0.610	0.609	0.597
Conductividad Térmica			
@ 60°F BTU/(h.ft²(°F/ft))	0.0774	0.0771	0.0742
200°F BTU/(h.ft²(°F/ft))	0.0741	0.0738	0.0710
400°F BTU/(h.ft²(°F/ft))	0.0694	0.0692	0.0665



Calor específico (C) y Conductividad térmica (k) vs. Temperatura.
Basado en gravedades específicas

ANEXO 3



Serie Mobiltherm 600

Aceite para Transferencia de Calor

Descripción de producto

Los aceites de transferencia de calor Mobiltherm son productos de alto rendimiento diseñados para ser usados en instalaciones cerradas con calentamiento indirecto. Están formulados a partir de aceites base altamente refinados que son resistentes a la degradación térmica y a la oxidación química. Poseen buena eficiencia de transferencia de calor y sus viscosidades son tales que pueden ser bombeados tanto a las temperaturas de arranque como a las temperaturas de operación. Los puntos de inflamación de estos productos no disminuyen significativamente en servicio gracias a su resistencia a la degradación térmica a las temperaturas de operación para las cuales están recomendados. Los productos Mobiltherm son muy estables térmicamente y son capaces de dar una vida en servicio extremadamente larga sin la formación de depósitos ni el aumento de la viscosidad. Poseen calores específicos y conductividades térmicas que proporcionan una rápida disipación del calor. Los aceites Mobiltherm están recomendados para usar en sistemas cerrados y abierto, en sistemas con calentamiento y enfriamiento indirectos en todos los tipos de procesos industriales.

Propiedades y Beneficios

Los aceites Mobiltherm son importantes miembros de la marca Mobil de fluidos especiales que se han ganado una reputación por su rendimiento y su fiabilidad, incluso en severas aplicaciones. La utilización de las más modernas técnicas de refinación es un factor clave en las excelentes propiedades de estos productos.

Mobiltherm 603 y 605 ofrecen los siguientes beneficios:

Propiedades	Ventajas y Beneficios potenciales
Alta resistencia a la degradación térmica y a la descomposición	Ausencia de depósitos y lodos y una interferencia mínima con su capacidad para transferir calor. Minimización de las necesidades de mantenimiento
Excelentes propiedades térmicas	Altas velocidades de transferencia de calor, eficiencia de operación mejorada y menores costes de operación
Buena estabilidad térmica y a la oxidación	Larga vida de servicio sin problemas y con menos averías
Buena fluidez a bajas temperaturas	Arranque frío de los sistemas fríos

Aplicaciones

Consideraciones de Aplicación: los aceites Mobiltherm no deben ser mezclados con otros aceites ya que pueden perder la excelente estabilidad térmica y a la oxidación de los aceites Mobiltherm, causando el cambio de otras propiedades y complicando la interpretación de los análisis hechos para determinar la vida útil del aceite. Si los aceites son usados por encima de las temperaturas máximas recomendadas, puede darse el cierre con vapor al menos que el sistema esté diseñado para operar a temperaturas más altas por presurización con un gas inerte como el nitrógeno. Sin embargo, a temperaturas más altas, la vida del fluido se acortará porque la velocidad de la degradación térmica aumentará a medida que las temperaturas crecen por encima del límite recomendado. En sistemas bien diseñados la temperatura de la película del aceite alrededor del elemento de calor debe ser de 15°C a 30°C por encima que la de la carga de aceite. Si es más alta que ésta, la vida en servicio del aceite se acortará y el lodo y los depósitos interferirán en las velocidades de transferencia de calor. Así como otros aceites minerales, los aceites Mobiltherm solo deben ser usados en sistemas

ExxonMobil Lubricantes & Especialidades
Esta información se refiere únicamente a los productos que se venden en Europa (Turquía incluida) y la antigua Unión Soviética. Es posible que no todos los productos estén disponibles en su localidad. Para mayor información, ponerse en contacto con la oficina de venta local o dirigirse a www.exxonmobil.com.
Exxon Mobil se compone de numerosas filiales y empresas asociadas, muchas de las cuales tienen nombres que incluyen el de Esso, Mobil y ExxonMobil. Nada de lo que figura en este documento está destinado a anular o reemplazar la separación corporativa que existe entre las entidades locales. La responsabilidad de las acciones a nivel local, y la obligación de responder de ellas, seguirán recayendo en las entidades afiliadas a Exxon Mobil. Debido a la continua actividad de investigación y desarrollo de productos, esta información está sujeta a modificaciones sin previo aviso. Las propiedades típicas pueden sufrir ligeras variaciones.
© 2001 Exxon Mobil Corporation. Todos los derechos reservados.





con circulación forzada. Los sistemas que dependen de la convección por circulación del medio de transferencia de calor no proporcionan un flujo lo suficientemente rápido para prevenir el sobrecalentamiento local y la rápida deterioración del aceite. Además, estos aceites no están recomendados para usar en sistemas abiertos donde el aceite caliente está expuesto directamente al aire.

Mobiltherm 603 y Mobiltherm 605 pueden usarse en instalaciones cerradas y abiertas donde los rangos de temperatura del aceite están dentro de los rangos siguientes y la temperatura mínima de parada no está por debajo de -7°C .

- Rangos de Temperatura de la carga de aceite para el Mobiltherm 603: Sistemas Cerrados (-7°C a 285°C), Sistemas Abiertos (-7°C a 150°C)
- Rangos de Temperatura de la carga de aceite para el Mobiltherm 605: Sistemas Cerrados (-7°C a 315°C), Sistemas Abiertos (-7°C a 180°C)
- Sistemas cerrados, de calor y enfriamiento indirecto en todo tipo de procesos industriales que operan a temperaturas máximas de aceite por debajo de las indicadas anteriormente y presión atmosférica.
- Sistemas abiertos donde las temperaturas de la carga de aceite no superan las indicadas anteriormente.

Características típicas

Serie Mobiltherm 600	603	605
Viscosidad, ASTM D 445		
cSt @ 40°C	20.2	30.4
cSt @ 100°C	4.2	5.4
Punto de congelación, $^{\circ}\text{C}$, ASTM D 97	-18	-12
Punto de inflamación, $^{\circ}\text{C}$, ASTM D 92	210	230
Densidad @ 15°C kg/l, ASTM D 4052	0.82	0.86
Residuo Micro-Conradson, % peso, D4530	0.05 (max)	0.05 (max)

Seguridad e Higiene

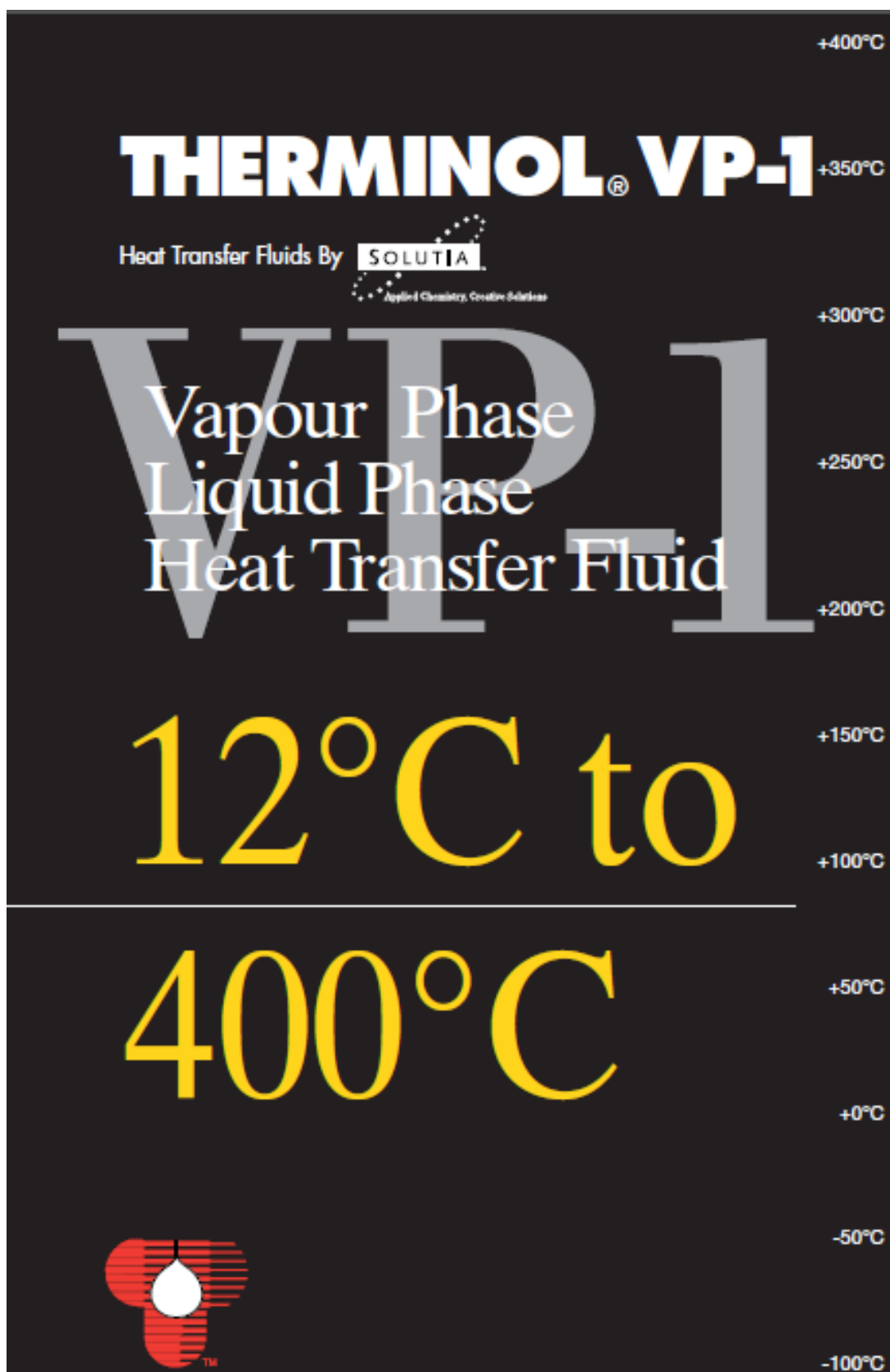
Basado en información disponible, no es de esperar que este producto cause efectos adversos en la salud mientras se utilice en las aplicaciones a las que está destinado y se sigan las recomendaciones de la Ficha de Datos de Seguridad (FDS). Las Fichas de Datos de Seguridad están disponibles a través del Centro de Atención al Cliente. Este producto no debe utilizarse para otros propósitos distintos a los recomendados. Al deshacerse del producto usado, tenga cuidado para así proteger el medio ambiente.

El logotipo de Mobil, el diseño del Pegasus y Mobiltherm son marcas registradas por Exxon Mobil Corporation, o una de sus afiliadas.

ExxonMobil Lubricantes & Especialidades
 Esta información se refiere únicamente a los productos que se venden en Europa (Turquía incluida) y la antigua Unión Soviética. Es posible que no todos los productos estén disponibles en su localidad. Para mayor información, ponerse en contacto con la oficina de venta local o dirigirse a www.exxonmobil.com.
 Exxon Mobil se compone de numerosas filiales y empresas asociadas, muchas de las cuales tienen nombres que incluyen el de Esso, Mobil y ExxonMobil. Nada de lo que figura en este documento está destinado a anular o reemplazar la separación corporativa que existe entre las entidades locales. La responsabilidad de las acciones a nivel local, y la obligación de responder de ellas, seguirán recayendo en las entidades afiliadas a Exxon Mobil. Debido a la continua actividad de investigación y desarrollo de productos, esta información está sujeta a modificaciones sin previo aviso. Las propiedades típicas pueden sufrir ligeras variaciones.
 © 2001 Exxon Mobil Corporation. Todos los derechos reservados.



ANEXO 4



THERMINOL VP-1

Therminol VP-1 liquid/vapour phase heat transfer fluid, is a stable, high temperature medium that delivers process heat at temperatures up to 400°C with reliability and precise control.

Therminol VP-1 is a eutectic mixture of 73.5% diphenyl oxide / 26.5% diphenyl, and as such can be used in existing liquid, or vapour phase systems, for top-up or replacement of heat transfer fluids of the same composition. Vapour phase operation is possible at temperature above 257°C.

Heat Tracing System

Since Therminol VP-1 heat transfer fluid solidifies at 12°C, precautions must be taken to ensure lines do not freeze, particularly in outdoor installations. Heat tracing must be installed wherever lines run a danger of cooling below this point. All pipelines and equipment which may contain stagnant liquid should be traced, including all streams, vapour, drain and charge lines.

Thermal Stability at 400°C

Thermal stability of a heat transfer is one of the most important considerations in the selection of a fluid for operation under specific heat transfer conditions. Therminol VP-1 has a reputation for outstanding stability in operation.

Therminol VP-1 is based on raw materials of high purity produced by a first in-line manufacturing process. This results in a reduced level of high boiler formation, superior thermal stability and benefits to the user in terms of extended fluid life and dependable trouble-free system operation.

Therminol VP-1 is thermally stable and suitable for operation over long periods at bulk temperatures up to 370-400°C.

Flammability

Although the DPVDPO eutectic can burn at elevated temperature, its chemical nature is such that its use as heat transfer medium in a properly designed and operated system does not normally constitute a serious fire or explosion hazard. Vapour freed into the air rapidly cools to below the fire point. High pressure mists, however, can form an explosive mixture with air.

Typical Physical, Chemical and Thermal Properties of Therminol VP-1

Composition		Diphenyl oxide/diphenyl
Appearance		Clear, sediment free liquid
Max. bulk temperature		400°C
Max. film temperature		430°C
Kinematic viscosity @ 40°C	DIN 51562 - 1	2.48 mm ² /s (cSt)
Density @ 15°C	DIN 51757	1068 kg/m ³
Flash point	DIN EN 22719	110°C
	DIN 51376	124°C
Fire point	ISO 2592	127°C
Autoignition temperature	DIN 51794	621°C
Pour point	ISO 3016	12°C
Boiling point @ 1013 mbar		257°C
Coefficient of thermal expansion		0.00097/°C
Moisture content	DIN 51777 - 1	< 300 ppm
Total acidity	DIN 51568 - 1	< 0.2 mg KOH/g
Chlorine content	DIN 51577 - 3	< 10 ppm
Copper corrosion	EN ISO 2160	<< 1a
Average molecular weight		166

Note: Values quoted are typical values obtained in the laboratory from production samples. Other samples might exhibit slightly different data. Specifications are subject to change. Write to Solvita for current sales specifications.

THERMINOL VP-1

Properties of Therminol VP-1 vs Temperatures - Liquid Phase

Temperature °C	Density kg/m ³	Thermal Conductivity W/m.K	Heat Capacity kJ/kg.K	Viscosity		Vapour pressure (absolute) kPa*	Enthalpy kJ/kg	Latent Heat vap. kJ/kg
				Dynamic mPa.s	Kinematic mm ² /s**			
12	1071	0,137	1,523	5,48	5,12	-	0	419,0
20	1064	0,136	1,546	4,29	4,03	-	12,3	414,7
30	1056	0,135	1,575	3,28	3,10	-	27,9	409,3
40	1048	0,134	1,604	2,60	2,48	-	43,8	403,9
50	1040	0,133	1,633	2,12	2,03	-	60,0	398,6
60	1032	0,132	1,662	1,761	1,707	-	76,4	393,3
70	1024	0,131	1,690	1,492	1,458	-	93,2	388,1
80	1015	0,130	1,719	1,284	1,265	-	110,3	382,9
90	1007	0,129	1,747	1,119	1,111	-	127,6	377,8
100	999	0,128	1,775	0,985	0,986	0,5	145,2	372,7
110	991	0,126	1,803	0,875	0,884	0,8	163,1	367,6
120	982	0,125	1,831	0,784	0,798	1	181,3	362,6
130	974	0,124	1,858	0,707	0,726	2	199,7	357,5
140	965	0,123	1,886	0,642	0,665	3	218,4	352,6
150	957	0,121	1,913	0,585	0,612	5	237,4	347,6
160	948	0,120	1,940	0,537	0,566	7	256,7	342,7
170	940	0,118	1,968	0,494	0,526	9	276,2	337,7
180	931	0,117	1,995	0,457	0,491	13	296,0	332,8
190	922	0,115	2,021	0,424	0,460	18	316,1	327,9
200	913	0,114	2,048	0,395	0,432	24	336,5	323,0
210	904	0,112	2,075	0,368	0,407	32	357,1	318,0
220	895	0,111	2,101	0,345	0,385	42	378,0	313,0
230	886	0,109	2,128	0,324	0,366	54	399,1	308,0
240	877	0,107	2,154	0,305	0,348	68	420,5	303,0
250	867	0,106	2,181	0,288	0,332	86	442,2	297,9
260	857	0,104	2,207	0,272	0,317	108	464,1	292,7
270	848	0,102	2,234	0,258	0,304	133	486,3	287,5
280	838	0,100	2,260	0,244	0,292	163	508,8	282,2
290	828	0,098	2,287	0,232	0,281	198	531,6	276,8
300	817	0,096	2,314	0,221	0,271	239	554,6	271,2
310	806	0,095	2,341	0,211	0,262	286	577,8	265,6
320	796	0,093	2,369	0,202	0,254	340	601,4	259,7
330	784	0,091	2,397	0,193	0,246	401	625,2	253,8
340	773	0,089	2,425	0,185	0,239	470	649,3	247,6
350	761	0,086	2,454	0,177	0,233	548	673,7	241,3
360	749	0,084	2,485	0,170	0,227	635	698,4	234,7
370	736	0,082	2,517	0,164	0,222	732	723,4	227,8
380	723	0,080	2,551	0,158	0,218	840	748,8	220,7
390	709	0,078	2,588	0,152	0,214	959	774,4	213,2
400	694	0,076	2,628	0,146	0,211	1090	800,5	205,3
410	679	0,073	2,674	0,141	0,208	1230	827,0	197,0
420	662	0,071	2,729	0,137	0,206	1390	854,0	188,0
425	654	0,070	2,760	0,134	0,205	1470	867,7	183,3

Note: Values quoted are typical values obtained in the laboratory from production samples. Other samples might exhibit slightly different data. Specifications are subject to change. Write to Solvias for current sales specifications.

Physical Property Formulae of Liquid

$$\text{Density (kg/m}^3\text{)} = -0,90797 * T(^{\circ}\text{C}) + 0,00078116 * T(^{\circ}\text{C})^2 - 2,367 * 10^{-4} * T(^{\circ}\text{C})^3 + 1083,25$$

$$\text{Heat capacity (kJ/kg.K)} = +0,002414 * T(^{\circ}\text{C}) + 5,9591 * 10^{-4} * T(^{\circ}\text{C})^2 - 2,9879 * 10^{-6} * T(^{\circ}\text{C})^3 + 4,4172 * 10^{-9} * T(^{\circ}\text{C})^4 + 1,498$$

$$\text{Thermal Conductivity (W/m.K)} = -0,19477 * 10^{-4} * T(^{\circ}\text{C}) - 1,92257 * 10^{-7} * T(^{\circ}\text{C})^2 + 2,5034 * 10^{-10} * T(^{\circ}\text{C})^3 - 7,2974 * 10^{-13} * T(^{\circ}\text{C})^4 + 0,137743$$

$$\text{Kinematic viscosity (mm}^2\text{/s)} = \alpha \left(\frac{544,140}{T(^{\circ}\text{C}) - 174,40} - 2,58630 \right)$$

$$\text{Vapour pressure (kPa)} = -0,190859 * T(^{\circ}\text{C}) + 4,35824 * 10^{-4} * T(^{\circ}\text{C})^2 - 3,6106 * 10^{-7} * T(^{\circ}\text{C})^3 + 1,08408 * 10^{-10} * T(^{\circ}\text{C})^4 + 2,12329$$

$$\text{Latent Heat Vaporisation (kJ/kg)} = -0,528933 * T(^{\circ}\text{C}) - 7,50103 * 10^{-4} * T(^{\circ}\text{C})^2 + 1,5622 * 10^{-6} * T(^{\circ}\text{C})^3 - 3,771 * 10^{-9} * T(^{\circ}\text{C})^4 + 425,18$$

THERMINOL VP-1**Properties of Therminol VP-1 vs Temperatures - Vapour Phase**

Temperature °C	Density kg/m ³	Thermal Conductivity W/m.K	Heat Capacity kJ/kg.K	Enthalpy* kJ/kg	Dynamic Viscosity mPa.s
12	-	0,0081	0,975	419,0	0,0057
20	-	0,0085	1,003	427,0	0,0059
30	-	0,0090	1,037	437,2	0,0061
40	-	0,0095	1,070	447,7	0,0063
50	-	0,0100	1,104	458,6	0,0065
60	-	0,0105	1,137	469,7	0,0067
70	-	0,0110	1,170	481,3	0,0069
80	-	0,0116	1,203	493,2	0,0071
90	-	0,0121	1,235	505,4	0,0073
100	-	0,0126	1,267	517,9	0,0075
110	0,042	0,0132	1,299	530,7	0,0077
120	0,065	0,0137	1,331	543,9	0,0079
130	0,099	0,0143	1,362	557,2	0,0081
140	0,148	0,0149	1,393	571,0	0,0083
150	0,214	0,0154	1,424	585,0	0,0085
160	0,303	0,0160	1,454	599,4	0,0087
170	0,422	0,0166	1,484	613,9	0,0089
180	0,575	0,0171	1,514	628,8	0,0091
190	0,772	0,0177	1,543	644,0	0,0094
200	1,02	0,0183	1,572	659,5	0,0096
210	1,33	0,0189	1,601	675,1	0,0098
220	1,71	0,0195	1,629	691,0	0,0100
230	2,17	0,0201	1,657	707,1	0,0102
240	2,72	0,0207	1,685	723,5	0,0104
250	3,38	0,0213	1,712	740,1	0,0106
260	4,17	0,0220	1,739	756,8	0,0108
270	5,09	0,0226	1,766	773,8	0,0110
280	6,17	0,0232	1,792	791,0	0,0112
290	7,42	0,0238	1,819	808,4	0,0114
300	8,86	0,0245	1,845	825,8	0,0116
310	10,5	0,0251	1,871	843,4	0,0118
320	12,4	0,0258	1,897	861,1	0,0120
330	14,6	0,0264	1,923	879,0	0,0122
340	17,0	0,0271	1,948	896,9	0,0124
350	19,8	0,0277	1,974	915,0	0,0126
360	22,9	0,0284	2,001	933,1	0,0128
370	26,5	0,0291	2,027	951,2	0,0130
380	30,5	0,0298	2,054	969,5	0,0132
390	35,0	0,0304	2,082	987,6	0,0134
400	40,1	0,0311	2,111	1005,8	0,0136
410	45,8	0,0318	2,142	1024,0	0,0138
420	52,4	0,0325	2,175	1042,0	0,0140

* the enthalpy basis is ideal gas at 1°C

Note: Values quoted are typical values obtained in the laboratory from production samples. Other samples might exhibit slightly different data. Specifications are subject to change. Write to Soliris for current sales specifications.

Physical Property Formulae of Vapour

Density (kg/m³) = - 0,0303917 * T(°C) + 4,34615 * 10⁻⁴ * T²(°C) - 2,41006 * 10⁻⁶ * T³(°C) + 5,33458 * 10⁻⁹ * T⁴(°C) + 0,553905

Heat Capacity (kJ/kg.K) = + 0,003703 * T(°C) - 3,0274 * 10⁻⁶ * T²(°C) + 2,9324 * 10⁻⁹ * T³(°C) + 0,92709

Dynamic Viskosity (mPa.s) = + 2,0124 * 10⁻³ * T(°C) + 3,4557 * 10⁻⁶ * T²(°C) - 7,1288 * 10⁻⁹ * T³(°C) + 0,005449

Thermal Conductivity (W/m.K) = + 4,84257 * 10⁻³ * T(°C) + 2,9067 * 10⁻⁶ * T²(°C) - 6,5306 * 10⁻⁹ * T³(°C) + 0,0075110

THERMINOL VP-1**The Therminol® Range**

Therminol VP-1 is one of the of the Solutia synthetic heat transfer fluids covering an operating range from -85°C to +400°C, suitable for most process heating or waste heat recovery applications, and capable of operation at or near atmospheric pressure within their recommended operating temperature range.

As a user's process temperature demands change there is always a Therminol fluid capable of meeting the new requirements. In addition, Therminol fluids are often interchangeable allowing conversion by a simple top-up procedure where this is preferred.

Asia

Solutia Singapore Pte. Ltd.
101 Thomson Road - #19-00 United Square Singapore
307591
Tel.: (+65) 355 7231 - Fax: (+65) 254 3138

Latin America

Solutia Brasil Ltda.
Rua Gomes de Carvalho 1306 - 60 andar - conj. 61 e 62
CEP : 04547-005 • Vila Olimpia - Sao Paulo, SP, Brazil
Phone: (+55) 11-5087 3000 - Fax: (+55) 11-5087 3030

North America

Solutia Inc.
10300 Olive Boulevard - PO Box 66760
St Louis, MO 63166-6760 - USA
Tel.: (+1) 314 674 10 00

People's Republic of China

Solutia Chemical Co. Ltd., Suzhou
9th floor, Kings Tower
16 Shi Shan Road - Suzhou New District - Suzhou, PRC 215011
Phone: (+86) 512 8258167 - Fax: (+86) 512 8250417

Quality Management

All our manufacturing units have obtained ISO 9002 quality control certification. This registration means that plant procedures, quality control systems, material sampling, product storage, handling, packaging, shipping, product literature and characteristic data, record keeping and other company procedures are in line with the quality requirements of the ISO 9002 standards and its other national equivalents.

This is your quality assurance.

Health, Safety and Environmental Information

Please contact the Solutia Europe/Africa HQ for the Material Safety Data Sheet, or if any other information concerning health, safety and environmental issues is required during filling or operation of your heat transfer system with this product.

**Europe**

Solutia Europe S.A./N.V.
Rue Laid Burniat 3 - Parc Scientifique - Fleming
B-1348 Louvain-la-Neuve (Sud) - Belgium
Tel.: (+32) 10 48 15 47 - Fax: (+32) 10 48 14 86
<http://www.solutia.com>

Please contact us for more information :



Therminol is a trademark of Solutia. Therminol has now been adopted as a world-wide brand for the Solutia Heat Transfer Fluid range. Fluids known previously under the Santotherm and Gilotherm brands are identical in composition and performance to the corresponding Therminol brand fluids.

The information in this bulletin is to the best of our knowledge true and accurate but all instructions, recommendations or suggestions are made without guarantee. Since the conditions of use are beyond their control, Solutia Inc. and its subsidiaries disclaim any liability for loss or damage suffered from use of these data or suggestions. Furthermore no liability is accepted if use of any product in accordance with these data or suggestions infringes any patent.

GROUP PRO/OC T.S.S 10-04 (12/98) E

ANEXO 5

Product Information



SYLTHERM 800

Silicone Heat Transfer Fluid

SYLTHERM[®] 800 heat transfer fluid is a highly stable, long-lasting silicone fluid designed for high temperature liquid phase operation. It exhibits low potential for fouling and can often remain in service for 10 years or more. SYLTHERM 800 has essentially no odor, is low in acute oral toxicity, and is not listed as reportable under SARA Title III, Section 313^{††}.

Recommended use temperature range:
-40°C (-40°F) to 400°C (750°F)

For health and safety information for this product, contact your Dow sales representative or call the number for your area on the second page of this sheet for a Material Safety Data Sheet (MSDS).

^{††} You may need to comply with similar or additional regulations in other countries.

Typical Properties of SYLTHERM 800 Fluid¹

Composition: Dimethyl Polysiloxane

Property	As Supplied Clear Yellow		After Extended Use Darkened	
	SI Units	English Units	SI Units	English Units
Color:				
Viscosity @ 25°C (77°F)	9.1 mPa·s	9.1 cps	≥6.0 mPa·s	≥6.0 cp
Flash Point ² , Closed Cup, Typical	160°C	320°F	≥35°	≥95°
Flash Point ² , Open Cup, Typical	177°C	350°F	≥57°C	≥135°F
Fire Point ²	193°C	380°F	≥68°C	≥155°F
Autoignition Point, ASTM D 2155	385°C	725°F	385°C	725°F
Acid Number, Typical	0.03		0.03	
Freeze Point	-60°C	-76°F	≤-40°C	≤-40°F
Density @ 25°C (77°F)	936 kg/m ³	7.8 lb/gal	936 kg/m ³	7.8 lb/gal
Specific Gravity 25°C (77°F)	0.93		0.93	
Heat of Combustion	28,659 kJ/kg	12,300 Btu/lb	28,659 kJ/kg	12,300 Btu/lb
Estimated Critical Temperature	367°C	692°F	367°C	692°F
Estimated Critical Pressure	10.9 bar	10.8 atm	10.9 bar	10.8 atm
Estimated Critical Volume	3.22 l/kg	0.0515 ft ³ /lb	3.22 l/kg	0.0515 ft ³ /lb

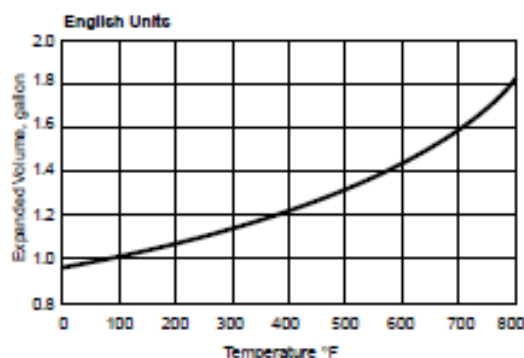
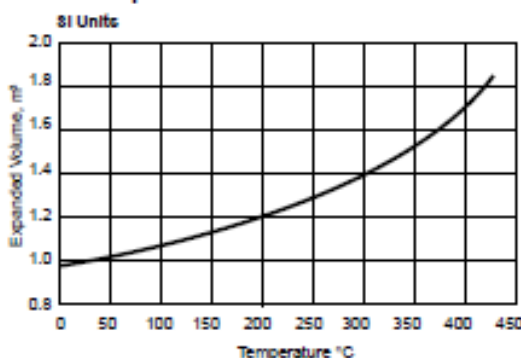
¹ Not to be construed as specifications.

² Properties of the fluid at "equilibrium." Can be regarded as ongoing, long-term values for design purposes.

³ ASTM D92

⁴ ASTM D93

Thermal Expansion of SYLTHERM 800 Fluid



SYLTHERM 800 Silicone Heat Transfer Fluid

Saturated Liquid Properties of SYLTHERM 800 Fluid (SI Units)

Temp. °C	Specific Heat kJ/kg K	Density kg/m ³	Thermal Conductivity W/m K	Viscosity mPa·s	Vapor Pressure kPa
-40	1.506	990.61	0.1463	51.05	0.00
0	1.574	953.16	0.1388	15.33	0.00
40	1.643	917.07	0.1312	7.00	0.10
80	1.711	881.68	0.1237	3.86	1.46
120	1.779	846.35	0.1162	2.36	9.30
160	1.847	810.45	0.1087	1.54	35.00
200	1.916	773.33	0.1012	1.05	94.60
240	1.984	734.35	0.0936	0.74	204.80
280	2.052	692.87	0.0861	0.54	380.20
320	2.121	648.24	0.0786	0.41	630.50
360	2.189	599.83	0.0711	0.31	951.20
400	2.257	547.00	0.0635	0.25	1373.00

Saturated Liquid Properties of SYLTHERM 800 Fluid (English Units)

Temp. °F	Specific Heat Btu/lb °F	Density lb/ft ³	Thermal Conductivity Btu/hr ft ² (°F/ft)	Viscosity cP	Vapor Pressure psia
-40	0.360	61.91	0.0845	51.00	0.00
40	0.378	59.32	0.0797	13.80	0.00
120	0.396	56.82	0.0749	6.10	0.00
200	0.414	54.37	0.0700	3.25	0.40
280	0.432	51.91	0.0652	1.94	2.60
360	0.451	49.38	0.0604	1.24	9.11
440	0.469	46.72	0.0555	0.83	23.42
520	0.487	43.90	0.0507	0.58	48.58
600	0.505	40.84	0.0459	0.42	86.84
680	0.523	37.49	0.0411	0.31	139.39
760	0.541	33.80	0.0362	0.24	206.50

For further information, call...

In the United States and Canada: 1-800-447-4369 • FAX: 1-989-832-1465

In Europe: +32 3 450 2240 • FAX: +32 3 450 2815

In the Pacific: +886 22 547 8731 • FAX: +886 22 713 0092

In other Global Areas: 1-989-832-1560 • FAX: 1-989-832-1465

www.dowtherm.com

NOTICE: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN, ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

Published November 2001

NOTE: SYLTHERM heat transfer fluids are manufactured by Dow Corning Corporation and distributed by The Dow Chemical Company.



Printed in U.S.A.

*Trademark of The Dow Chemical Company

NALAPacific: Form No. 175-01489-1101 AMS
Europe: CH-153-311-E-1101

ANEXO 6

Table 1—Physical Properties of DOWTHERM A Fluid

(Laboratory values not to be confused with, or substitutes for, specifications). None of below are specifications.

Property	English Units	SI Units
Atmospheric Boiling Point	494.8°F	257.1°C
Freezing Point	53.6°F	12.0°C
Flash Point, SETA	236°F	113°C
Fire Point, C.O.C. [†]	245°F	118°C
Auto Ignition Temp. ^{††}	1110°F	599°C
Density at 75°F	66.0 lb/ft ³	1056 kg/m ³ @ 25°C
	8.80 lb/gal. @ 25°C	
Volume Contraction upon Freezing	6.63%	
Volume Expansion upon Melting	7.10%	
Heat of Fusion	42.2 Btu/lb	98.2 kJ/kg
Specific Resistivity	1.2 x 10 ¹² ohm cm @ 32°F	1.2 x 10 ¹² ohm cm @ 0°C
	6.4 x 10 ¹¹ ohm cm @ 68°F	6.4 x 10 ¹¹ ohm cm @ 20°C
	3.9 x 10 ¹¹ ohm cm @ 104°F	3.9 x 10 ¹¹ ohm cm @ 40°C
Dielectric Constant at 75°F (24°C)		
frequency 10 ³	3.26	3.26
frequency 10 ⁴	3.27	3.27
frequency 10 ⁵	3.27	3.27
Dissipation Factor at 75°F (24°C)		
frequency 10 ³	0.0012	0.0012
frequency 10 ⁴	0.0001	0.0001
frequency 10 ⁵	0.0001	0.0001
Dielectric Strength at 75°F (24°C)	530 volts/mil	20,866 volts/mm
Surface Tension in Air	40.1 Dynes/cm @ 68°F	40.1 Dynes/cm @ 20°C
	37.6 Dynes/cm @ 104°F	37.6 Dynes/cm @ 40°C
	35.7 Dynes/cm @ 140°F	35.7 Dynes/cm @ 60°C
Critical Temperature	927°F	497°C
Critical Pressure	30.93 atm	31.34 bar
Critical Volume	0.0508 ft ³ /lb	3.17 l/kg
Heat of Combustion	15,500 Btu/lb	36,053 kJ/kg
Molecular Weight (Avg.)	166.0	

[†]Cleveland Open Cup^{††}ASTM E659-78

Table 3—Saturated Liquid Properties of DOWTHERM A Fluid (SI Units)

TEMP °C	VAPOR PRESS. bar	VISCOSITY mPa sec	SPECIFIC HEAT kJ/kg K	THERMAL COND. W/mK	DENSITY kg/m ³	TEMP °C	VAPOR PRESS. bar	VISCOSITY mPa sec	SPECIFIC HEAT kJ/kg K	THERMAL COND. W/mK	DENSITY kg/m ³
12	0.00	5.52	1.550	0.1400	1065.9	225	0.48	0.33	2.148	0.1059	883.5
15	0.00	5.00	1.558	0.1395	1063.5	230	0.54	0.32	2.162	0.1051	878.7
20	0.00	4.29	1.573	0.1387	1059.6	235	0.61	0.31	2.176	0.1043	873.8
25	0.00	3.71	1.587	0.1379	1055.7	240	0.69	0.30	2.190	0.1035	868.9
30	0.00	3.25	1.601	0.1371	1051.7	245	0.77	0.29	2.204	0.1027	864.0
35	0.00	2.87	1.616	0.1363	1047.8	250	0.87	0.28	2.218	0.1019	859.0
40	0.00	2.56	1.630	0.1355	1043.8	255	0.97	0.27	2.231	0.1011	854.0
45	0.00	2.30	1.644	0.1347	1039.8	257.1	1.01	0.27	2.237	0.1008	851.9
50	0.00	2.07	1.658	0.1339	1035.8	260	1.08	0.27	2.245	0.1003	849.0
55	0.00	1.88	1.673	0.1331	1031.8	265	1.20	0.26	2.259	0.0995	843.9
60	0.00	1.72	1.687	0.1323	1027.8	270	1.33	0.25	2.273	0.0987	838.7
65	0.00	1.58	1.701	0.1315	1023.7	275	1.48	0.24	2.288	0.0979	833.6
70	0.00	1.46	1.715	0.1307	1019.7	280	1.63	0.24	2.302	0.0971	828.3
75	0.00	1.35	1.729	0.1299	1015.6	285	1.80	0.23	2.316	0.0963	823.0
80	0.00	1.25	1.744	0.1291	1011.5	290	1.98	0.22	2.330	0.0955	817.7
85	0.00	1.17	1.758	0.1283	1007.4	295	2.17	0.22	2.344	0.0947	812.3
90	0.00	1.09	1.772	0.1275	1003.2	300	2.38	0.21	2.359	0.0939	806.8
95	0.00	1.03	1.786	0.1267	999.1	305	2.60	0.20	2.373	0.0931	801.3
100	0.01	0.97	1.800	0.1259	994.9	310	2.84	0.20	2.388	0.0923	795.8
105	0.01	0.91	1.814	0.1251	990.7	315	3.10	0.19	2.403	0.0915	790.1
110	0.01	0.86	1.828	0.1243	986.5	320	3.37	0.19	2.417	0.0907	784.4
115	0.01	0.82	1.842	0.1235	982.3	325	3.66	0.18	2.432	0.0899	778.6
120	0.01	0.77	1.856	0.1227	978.1	330	3.96	0.18	2.448	0.0891	772.8
125	0.02	0.73	1.870	0.1219	973.8	335	4.29	0.17	2.463	0.0883	766.9
130	0.02	0.70	1.884	0.1211	969.5	340	4.64	0.17	2.479	0.0875	760.9
135	0.03	0.67	1.898	0.1203	965.2	345	5.00	0.17	2.494	0.0867	754.8
140	0.03	0.64	1.912	0.1195	960.9	350	5.39	0.16	2.511	0.0859	748.6
145	0.04	0.61	1.926	0.1187	956.6	355	5.80	0.16	2.527	0.0851	742.3
150	0.05	0.58	1.940	0.1179	952.2	360	6.24	0.15	2.544	0.0843	735.9
155	0.06	0.56	1.954	0.1171	947.8	365	6.69	0.15	2.561	0.0835	729.4
160	0.07	0.53	1.968	0.1163	943.4	370	7.18	0.15	2.579	0.0827	722.8
165	0.08	0.51	1.982	0.1155	938.9	375	7.68	0.14	2.597	0.0819	716.1
170	0.09	0.49	1.996	0.1147	934.5	380	8.22	0.14	2.616	0.0811	709.2
175	0.11	0.47	2.010	0.1139	930.0	385	8.78	0.14	2.636	0.0803	702.2
180	0.13	0.46	2.023	0.1131	925.5	390	9.37	0.13	2.657	0.0795	695.0
185	0.15	0.44	2.037	0.1123	920.9	395	9.99	0.13	2.678	0.0787	687.7
190	0.18	0.42	2.051	0.1115	916.4	400	10.64	0.13	2.701	0.0779	680.2
195	0.21	0.41	2.065	0.1107	911.8	405	11.32	0.12	2.725	0.0771	672.5
200	0.24	0.39	2.079	0.1099	907.1	410	12.03	0.12	2.751	0.0763	664.6
205	0.28	0.38	2.093	0.1091	902.5	415	12.78	0.12	2.779	0.0755	656.5
210	0.32	0.37	2.107	0.1083	897.8	420	13.56	0.11	2.809	0.0747	648.1
215	0.37	0.35	2.120	0.1075	893.1	425	14.38	0.11	2.842	0.0739	639.4
220	0.42	0.34	2.134	0.1067	888.3						

ANEXO 7



TEGRA[®] SYNTHETIC COMPRESSOR OILS

ISO 32, 46, 68, 100, 150

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO

Los Tegra[®] Synthetic Compressor Oils son lubricantes sintéticos para compresor, formulados con fluidos base PAO de alta calidad.

BENEFICIOS PARA EL CLIENTE

Los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils proporcionan valor a través de:

- **Excepcional estabilidad térmica y a la oxidación** – Larga vida del lubricante en operaciones de alta temperatura.
- **Larga vida de maquinaria y máxima eficiencia del compresor** – Baja tendencia de formación de carbón lo que minimiza los depósitos.
- **Largos intervalos de drenado**
- **Mantenimiento y tiempo de inactividad mínimos** – Ayuda a promover largos intervalos de servicio lo que puede minimizar los costos de operación.

CARACTERÍSTICAS

Los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils son lubricantes sintéticos para compresores formulados con fluidos base polialfaolefina (PAO) de la más alta calidad.

Proporcionan una excelente estabilidad térmica y a la oxidación, alto índice de viscosidad, alto punto de inflamación, bajo punto de escurrimiento y excelente estabilidad hidrolítica.

Los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils protegen contra la harrumbre, oxidación y espuma y tienen propiedades anti desgaste sin ceniza.

Los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils están diseñados para satisfacer los requerimientos de mayor potencia de salida, compresores más eficientes.

Estas unidades son más compactas y operan a velocidades mayores que las de los compresores anteriores, resultando en temperaturas más altas. Conforme las temperaturas se incrementan, la formación de depósitos en las válvulas y los separadores de aire pueden incrementarse también. Los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils proporcionan el desempeño requerido por estos compresores. Los usuarios experimentarán mínimos depósitos de carbón, barniz y lodo en las válvulas y separadores de aire.

La excepcional estabilidad a la oxidación extiende los intervalos de drenado del cárter del cigüeñal muchas veces si se compara con aquellos obtenidos con los aceites minerales. Los operadores de compresores pueden notar un tiempo mínimo de inactividad del equipo y de los costos de desecho de aceite usado.

La limpieza de las válvulas se mantiene por la excelente estabilidad térmica y a la oxidación y las bajas tendencias de formación de carbón de este producto. Las válvulas limpias ayudan a minimizar la recompresión, maximizar la eficiencia de compresor y minimizar los costos de mantenimiento por paro.

Los usuarios de compresores pueden obtener ahorros sustanciales en los costos de mantenimiento y lubricación al convertir sus equipos a Tegra Synthetic Compressor Oils. Pueden notarse ahorros con los largos intervalos de drenado. Debido a la baja volatilidad, el consumo de fluido es mínimo.

Además, pueden encontrar compatibilidad con pinturas, sellos, plásticos y otros tipos de materiales de construcción.

Los riesgos de incendios potenciales y explosiones se reducen con los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils. Las tendencias menores a la formación de carbón



Producto(s) manufacturado(s) en USA.

Confirme siempre que el producto seleccionado es consistente con las recomendaciones del fabricante del equipo respecto a sus condiciones de operación y las prácticas de mantenimiento del cliente.

Un producto de la empresa **Chevron**

8 Julio 2011
IO-345a

© 2008-2011 Chevron U.S.A. Inc. Todos los derechos reservados.

Chevron, la Marca Chevron y Tegra son marcas registradas propiedad de Chevron Intellectual Property LLC. Todas las otras marcas registradas son propiedad de sus respectivos dueños.

Tegra® Synthetic Compressor Oils – Continuación

y los altos puntos de ignición, puntos de inflamación y temperaturas de auto ignición, contribuyen todos a maximizar la seguridad del compresor.

APLICACIONES

Los aceites Tegra® Synthetic Compressor Oils están formulados para proporcionar excepcionales cualidades de lubricación para muchos compresores, especialmente los compresores portátiles y estacionarios rotatorios, vane y de tornillo, así como compresores recíprocos de etapa sencilla, etapa doble y multi etapa.

Mientras que las recomendaciones específicas de fabricantes varían, los grados **ISO 32** e **ISO 68** son mas comúnmente utilizados para compresores

rotatorios, mientras que los grados de alta viscosidad se prefieren para unidades recíprocos.

Debido a que los compresores recíprocos requieren un lubricante para cárter del cigüeñal y un lubricante de cilindros, los aceites Tegra Synthetic Compressor Oils están formulados para satisfacer este requerimiento dual.

No se utilice este producto en sistemas de alta presión en la cercanía de las llamas, chispas y superficies calientes. Use solamente en áreas bien ventiladas. Mantenga el contenedor cerrado.

No se utilice en aparatos de respiración de aire o en equipos médicos.

INFORMACIÓN DE PRUEBAS TÍPICAS

Grado ISO	32	46	68	100	150
Número de Producto	259129	273220	259130	259128	233880
Número MSDS	6724	23532	6724	6724	17010
Gravedad API	38.1	37.4	36.5	36.1	35.9
Viscosidad, Cinemática cSt a 40°C cSt a 100°C	30.4	43.7	64.6	95.0	150
	5.8	7.40	10.0	13.4	18.9
Viscosidad, Saybolt SUS a 100°F SUS a 210°F	156	223	330	487	695
	45.6	51.0	60.0	73.2	93.8
Índice de Viscosidad	135	134	139	142	143
Punto Inflamación, °C(°F)	252(486)	258(496)	252(504)	262(504)	266(510)
Punto de Escurecimiento, °C(°F)	<-56(<-69)	<-56(<-69)	<-56(<-69)	-47(-53)	-43(-44)
Punto de Ignición, °C(°F)	271(520)	277(530)	282(540)	282(540)	290(554)

Pueden esperarse variaciones menores en la información de pruebas típicas en fabricación normal.

Confirme siempre que el producto seleccionado es consistente con las recomendaciones del fabricante del equipo respecto a sus condiciones de operación y las prácticas de mantenimiento del cliente.

8 julio 2011
10-345a