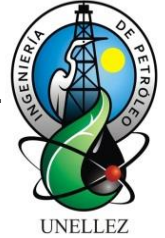




**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**Diseño de un Accesorio para el Calentamiento de Crudos Extra Pesados
en las Tuberías de Producción Venezolanas**

AUTOR:

Jeison Camargo Vela

C.I: 27.323.121

TUTOR ACADÉMICO:

Ing. Gericksson Devies

CI: 13.636.850

Barinas, Marzo de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**



**Diseño de un Accesorio para el Calentamiento de Crudos Extra Pesados
en las Tuberías de Producción Venezolanas**

Trabajo Especial de Grado presentado como requisito parcial para optar por el
título de: Ingeniero de Petróleo.

AUTORES:

Jeison Camargo Vela

C.I: 27.323.121

TUTOR ACADÉMICO:

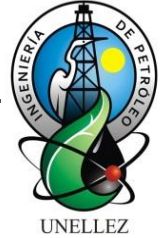
Ing. Gericksson Devies

CI: 13.636.850

Barinas, Marzo de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO



APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Tutor (a) del Trabajo de Especial de Grado presentado por el ciudadano **Jeison Camargo Vela, C.I: 27.323.121** para optar al título de **Ingeniero de Petróleo**, considero que este reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barinas a los _____ días del mes de _____ de _____

Tutor (a): Gericksson Devies

C.I.: 13.636.850



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**



**Diseño de un Accesorio para el Calentamiento de Crudos Extra Pesados
en las Tuberías de Producción Venezolanas**

AUTOR:

Jeison Camargo Vela

C.I: 27.323.121

Trabajo Especial de Grado aprobado en nombre de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” por el siguiente jurado, a los _____ días del mes de _____ de _____.

JURADO C.I.

JURADO C.I.

TUTOR C.I.

DEDICATORIA

Primero y principal a Dios, que me brindo la vida y la oportunidad de estudiar esta carrera así como también la realización de la presente investigación. A mi madre Rebeca Vela, que ha sido mi pilar de la vida, la obrera de mis éxitos y guerrera de mis batallas, siempre brindándome el apoyo, sabiduría, decisiones, amor y valores, agradezco por todos tus esfuerzos y sacrificios que me brindaste para seguir estudiando, también agradezco por creer en mis fortalezas en la paciencia que me tuviste en los sacrificios que tuvimos que pasar, gracias por estar ahí en mis altas y bajas.

A mi Abuela Sonia Cárdenas, por enseñarme que a pesar de los obstáculos que nos coloque la vida, siempre hay que persistir en lo que queremos. Gracias por ser tan cariñosa y amable, por los momentos que nunca olvidare, por las enseñaste que me inculcaste de joven y que me han convertido en la persona que soy ahora.

A mi Tía Yilda Vela, por ser mi segunda madre, la que me crio y dio lo mejor de sí para fortalecer a un niño y que pudiese afrontar los problemas y tomar decisiones cuando estuviera adulto y por todo el apoyo que me diste en las situaciones difíciles que pase.

A mi Hermana por estar ahí para mí, por el apoyo, por ser mi motor de arranque en las carreteras en que me quede varado así como agradezco el intelecto que tienes a la hora de afrontar una situación y que me ha servido en el transcurso de mi vida.

A mis amigos y compañeros que forme en el trayecto del estudio de la carrera, por esos momentos de bajas y altas que vivimos, por todo el sudor y esfuerzo que colocamos los estudios, así como también los momentos divertidos que sucedieron en el tiempo que nos conocimos, gracias por haberme dejado conocerlos.

Jeison Camargo Vela

RECONOCIMIENTO

A Dios Todopoderoso, Padre Redentor quien ha sido un guía espiritual, por haberme dado salud, fortaleza, luz, entendimiento, motivación, constancia y sobre todo sabiduría para lograr el mérito deseado.

A mi Familia, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, por el apoyo incondicional, por motivarme a seguir adelante y brindarme todo lo necesario para llegar hasta este punto de mi vida, muchas gracias.

A la UNELLEZ por abrirnos sus puertas y por compartir todas sus enseñanzas y sobre todo por acogerme, guiarme y brindarme más conocimientos y permitir mi formación universitaria como Ingeniero de Petróleo.

Al Ing. Gericksson Harrys Devies Angulo por ser mi tutor, profesor, por todo el apoyo brindado en lo profesional.

A la Ing. Sharon Escalante por la orientación, así como también el apoyo de sus conocimientos profesionales.

Al Ing. Juan Sánchez por brindarme los conocimientos y elementos básicos de iniciación con respecto al tema.

Al Ing. Rubén Escobedo por el apoyo con documentación del tema y sus conocimientos profesionales.

A mis amigos que siempre son un apoyo constante en el transcurso de esta carrera gracias a todos ustedes. Esos amigos que en el camino se sumaron, gracias por brindar su ayuda para cumplir con este proyecto nunca los olvidaremos.

Jeison Camargo Vela

INDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE ECUACIONES	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE FIGURAS	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE GRÁFICOS	¡Error! Marcador no definido.
Resumen	xv
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I	18
EL PROBLEMA	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
ALCANCES Y LIMITACIONES	21
ALCANCES	21
LIMITACIONES	21
CAPITULO II	22
MARCO CONTEXTUAL	22
ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN	22
ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	22
MARCO TEÓRICO	24
1) Crudo	24
1.2) Tipos de Crudos	24

2) Termodinámica	25
2.1) Los procesos termodinámicos están determinados por tres leyes básicas:.....	25
2.2) Algunos factores indispensables que maneja la termodinámica:.....	25
2.2.1) Temperatura	25
2.2.2) Calor.....	26
2.2.3) Viscosidad	27
2.2.4) Calor Especifico.....	29
2.2.5) Conductividad Térmica.....	30
2.2.5.1.1) Gravedad Específica	31
2.2.6) Masa.....	31
2.2.7) Volumen	32
2.2.8) Densidad	33
3) Transferencia de Calor	33
3.1) Conducción.....	34
3.1.1) Conductividad de un Cilindro Hueco.....	34
4) Inducción electromagnética	35
4.1) Bobina de inducción	37
4.1.1) Diseño de una Bobina.....	37
4.1.1.6.1) Flujo Magnético.....	43
4.1.1.12.1) Pérdidas Térmicas	46
SISTEMA DE VARIABLES	47
Variable Independiente.	47
Variable Dependiente.....	48

MAPA DE VARIABLES.....	49
NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES.	1
CAPITULO III	3
MARCO METODOLÓGICO	3
NATURALEZA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	3
DISÑO DE LA INVESTIGACION	5
METODOLOGÍA.....	6
FASE I: RECOLECCIÓN DE INFORMACION TEÓRICO – PRÁCTICO MEDIANTE REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	7
FASE II: OBTENER LOS PARAMETROS A COSNIDERAR EN EL DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO.....	7
FASE III: DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO	7
FASE IV: CREACION DEL MODELO COMPUTARIZADO.....	8
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	8
Población	8
Muestra	9
TÉCNICAS APLICADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	9
INSTRUMENTOS Y MATERIALES APLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	10
CAPITULO IV.....	11
ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	11
Análisis y Discusión de los Resultados de la Investigación.	11
Resultado del primer Objetivo Específico:.....	11
1) Recopilar información sobre los diversos sistemas de transferencias de calor.....	11

Resultado del segundo Objetivo Específico:	13
2) Obtener las variables y parámetros a considerar en el diseño del dispositivo calentador.....	13
Resultado del tercer objetivo específico.....	16
3) Dimensionar el dispositivo.....	16
3.1) Dimensionamiento 2D.....	26
3.2) Dimensionamiento 3D.....	33
Resultado del cuarto objetivo específico:	42
4) Creación del modelo computarizado del dispositivo.....	42
4.1) Propiedades y Parámetros.....	42
4.2) Modelo Matemático Aplicado; Error! Marcador no definido.	
4.3) Simulación mediante el Software COMSOL Multiphysics .	43
4.3.5.1) Conductividad Electrica vs Temperatura.....	50
4.3.5.2) Conductividad Termica vs Temperatura	52
4.3.5.3) Calor Especifico vs Temperatura	53
CAPITULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
GLOSARIO:.....	61
Anexos	66

LISTA DE ECUACIONES:

<i>Ecuación 1: Calor</i>	26
<i>Ecuación 2: Viscosidad</i>	27
<i>Ecuación 3: Variación de la Viscosidad con Respecto a la Temperatura</i>	28
<i>Ecuación 4: Calor Específico</i>	29
<i>Ecuación 5: Calor Específico para Crudos</i>	29
<i>Ecuación 6: Conductividad Térmica</i>	30
<i>Ecuación 7: Conductividad Térmica en Fluidos</i>	30
<i>Ecuación 8: Gravedad Específica</i>	31
<i>Ecuación 9: Masa</i>	31
<i>Ecuación 10: Masa de la Tubería</i>	31
<i>Ecuación 11: Volumen de un Cilindro Hueco</i>	32
<i>Ecuación 12: Densidad</i>	33
<i>Ecuación 13: Conductividad de un Cilindro</i>	34
<i>Ecuación 14: Área Logarítmica Media</i>	34
<i>Ecuación 15: Número de Vueltas</i>	38
<i>Ecuación 16: Potencia Requerida</i>	39
<i>Ecuación 17: Resistencia Eléctrica</i>	39
<i>Ecuación 18: Corriente</i>	40
<i>Ecuación 19: Campo Magnético</i>	42
<i>Ecuación 20: Voltaje Inducido</i>	43
<i>Ecuación 21: Flujo Magnético</i>	43
<i>Ecuación 22: Inductancia</i>	43
<i>Ecuación 23: Resistencia Equivalente</i>	44
<i>Ecuación 24: Profundidad de Penetración</i>	44
<i>Ecuación 25: Eficiencia Eléctrica</i>	45
<i>Ecuación 26: Eficiencia Térmica</i>	46
<i>Ecuación 27: Perdidas Térmica</i>	46
<i>Ecuación 28: Eficiencia Total del Sistema</i>	46
<i>Ecuación 29: Potencia Efectiva del Sistema</i>	47

LISTA DE TABLAS:

<i>Tabla 1: Propiedades del Crudo Extra pesado</i>	25
<i>Tabla 2: Cuadro de Variables</i>	49
<i>Tabla 3: Revisión Bibliográfica</i>	13
<i>Tabla 4: Propiedades Térmicas</i>	14
<i>Tabla 5: Parámetros de la Tubería de Producción</i>	14
<i>Tabla 6: Propiedades del Crudo</i>	14
<i>Tabla 7: Parámetros Eléctricos</i>	15
<i>Tabla 8: Parámetro de la Bobina</i>	15
<i>Tabla 9: Propiedades del Crudo</i>	16
<i>Tabla 10: Parámetros de una Bobina de 2 metros de Longitud</i>	27
<i>Tabla 11: Parámetros de una Bobina de 6 metros de Longitud</i>	28
<i>Tabla 12: Medidas de la Bobina</i>	29
<i>Tabla 13: Mediadas del Alambre de Cobre</i>	30
<i>Tabla 14: Medidas de la Tubería de Producción</i>	36
<i>Tabla 15: Propiedades de la Tubería de Producción</i>	42
<i>Tabla 16: Propiedades de la Bobina</i>	43
<i>Tabla 17: Conductividad Eléctrica</i>	51
<i>Tabla 18: Conductividad Térmica</i>	52
<i>Tabla 19: Calor Específico</i>	53

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Diseño Experimental</i>	6
--------------------------------------	---

<i>Figura 2: Bobina Inductiva 2D</i>	30
<i>Figura 3: Bobina Inductiva "Vista Superior" 2D</i>	31
<i>Figura 4: Ensamblaje de las Piezas</i>	32
<i>Figura 5: Bobina 3D "Vista Horizontal"</i>	33
<i>Figura 6: Bobina 3D "Vista Vertical"</i>	34
<i>Figura 7: Bobina 3D "Vista Superior"</i>	34
<i>Figura 8: Bobina 3D Perspectiva Completa</i>	35
<i>Figura 9: Tubería de Producción 3D "Vista Horizontal"</i>	36
<i>Figura 10: Tubería de Producción 3D "Vista Alzado"</i>	37
<i>Figura 11: Tubería de Producción 3D "Vista Vertical"</i>	38
<i>Figura 12: Ensamblaje 3D de las Piezas</i>	39
<i>Figura 13: Ensamblaje de las Piezas 3D "Vista Superior"</i>	40
<i>Figura 14: Ensamblaje 3D "Vista Manual"</i>	41
<i>Figura 15: Elección del Dimensionamiento</i>	44
<i>Figura 16 Elección de las Físicas:</i>	45
<i>Figura 17: Elección del Estudio</i>	46
<i>Figura 18: Construcción Geométrica de las Piezas</i>	47
<i>Figura 19: Diseño Construido "Vista Completa"</i>	48
<i>Figura 20: Diseño Construido "Vista Cercana de las Piezas"</i>	49
<i>Figura 21: Selección de los Materiales</i>	49
<i>Figura 22: Modificación de las Propiedades</i>	50
<i>Figura 23: Ejecución del Mallado</i>	55
<i>Figura 24: Ejecución del Mallado "Vista Cercana"</i>	56
<i>Figura 25: Ejecución de la Simulación "Transferencia de Calor"</i>	56
<i>Figura 26: Ejecución de la Simulación "Transferencia de Calor", Vista Horizontal</i>	57
<i>Figura 27: Simulación, Gradiente de Temperatura Mediante la Transferencia de Calor</i>	58

LISTA DE GRAFICA

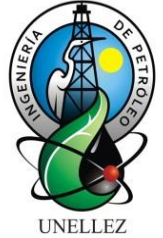
<i>Grafica 1: Factor Resistencia</i>	24
<i>Grafica 2: Conductividad Eléctrica vs Temperatura</i>	51
<i>Grafica 3: Conductividad Térmica vs Temperatura</i>	52
<i>Grafica 4: Calor Especifico vs Temperatura</i>	54

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Conductividad en Cilindros Huecos</i>	35
<i>Ilustración 2: Inducción Electromagnética</i>	36
<i>Ilustración 3: Bobina Inductiva</i>	37
<i>Ilustración 4: Resistencia</i>	39
<i>Ilustración 5: Corriente</i>	41
<i>Ilustración 6: Campo Magnético</i>	41
<i>Ilustración 7: Profundidad de Penetración</i>	45



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICE-RECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SOCIAL
PROGRAMA CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
SUBPROGRAMA INGENIERÍA DE PETRÓLEO**



**Diseño de un Accesorio para el Calentamiento de Crudos Extra Pesados
en las Tuberías de Producción Venezolanas**

AUTOR:

Jeison Camargo Vela

C.I: 27.323.121

TUTOR ACADÉMICO:

Ing. Gericksson Devies

CI: 13.636.850

Resumen

Las reservas no convencionales se caracterizan por la dificultad que poseen al ser extraídas desde el sub suelo, es decir desde el pozo, las cuales han llevado en algunos casos al abandono de dichos yacimientos por falta de mecanismos para su óptima extracción. Como bien sabemos las reservas convencionales son llamadas aquellos crudos con altas viscosidades y de baja gravedad API, por ende a menor temperatura mayor viscosidad y mayor resistencia de fluidez en el traslado de la tubería hacia la superficie. El principal objetivo de esta investigación es diseñar un accesorio o dispositivo para tuberías de producción que ayude a solventar la decaída de temperatura en el fluido a lo largo de su recorrido desde el fondo del pozo hasta la superficie para que su viscosidad se mantenga a una proporción accesible para su óptima extracción.

Palabras claves: Viscosidad, Temperatura, Diseño, Calentamiento por inducción.

E-mail Autor: Jeisoncv17@gmail.com

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años la industria petrolera ha dejado de lado al petróleo extra pesado como recurso energético, convirtiendo a estos crudos en la última opción energética, diversos estudios señalan que durante décadas las compañías petroleras renunciaron a la explotación del crudo extra pesado, el cual desertaron, debido al bajo precio que tenía este crudo en el mercado y a la dificultad para extraerlo. Sin embargo, existen más de seis trillones de barriles de petróleo en sitio atribuidos a los hidrocarburos más pesados, equivalentes al triple de las reservas de petróleo convencional del mundo, en consecuencia; la gran demanda energética y los precios del petróleo, asociado a la declinación en la producción de la mayoría de los yacimientos de petróleo convencionales, han provocado que la atención de la industria petrolera en muchos lugares del mundo se esté desplazando hacia la explotación del crudo extra pesado.

La manera conveniente de llevar a cabo la extracción del hidrocarburo es mediante métodos de recuperación mejorada. Sin embargo, para extraer aceites extra pesados depende de la temperatura de la cual se haya el crudo, ya que a menor temperatura mayor viscosidad tendrá.

Camacho (2020), indica que en Venezuela durante los últimos años. El general Manuel Quevedo al frente, la caída de la producción de Pdvsa ha sido mucho más marcada que la que se observaba desde 2004. Hoy Venezuela debería estar suministrándole a los chinos 650.000 barriles diarios de petróleo extra pesado (b/d), pero a mediados de enero de 2020 se conoció que el suministro era de 360.000 b/d o incluso menos, de esos China produce algo más de 150.000 b/d y el resto Venezuela.

Por ende mediante la complejidad de extracción y producción del crudo extra pesado se propone en la presente investigación, para solventar e

innovar nuevos métodos tecnológicos para un mejor y mayor desempeño económico con respecto a dicho recurso.

En este sentido se tomó como fuente el calentamiento electromagnético ya que es un método rápido para la producción de calor y por ende para reducir la viscosidad del crudo pesado. Este método se basa principalmente en la aplicación de corriente alterna a una bobina que rodea la tubería, un campo magnético es generado por la corriente que fluye en la bobina y se genera provocando calor. Al mismo tiempo, en el campo magnético, una corriente espiral es generada por la inducción electromagnética. Esta corriente de Foucault genera calentamiento y es aplicada al núcleo de la tubería.

Para la presentación del presente estudio se realizó un total de 5 capítulos, donde el primer capítulo se induce al factor problema que se sugiere corregir a su vez se presenta la respectiva justificación y el objetivo que se desea cumplir junto a sus objetivos específicos. En el segundo capítulo nos encontramos con el área investigativa esto nos indica donde se realizó y en qué área se especifica, como también el desarrollo de la teoría referente al estudio, determinando así el respectivo mapa de variables y culminando con las bases legales. Continuando con el capítulo tres se define el tipo de investigación junto a su el diseño de la investigación y su metodología, esto explicando las fases o pasos a cumplir en cada objetivo además de las herramientas de recolección de datos. En el cuarto capítulo se presenta los resultados para cada objetivo específico planteado, que se hizo y como se hizo. Para culminar se presenta en el capítulo cinco las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en toda la investigación

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Venezuela la mayor parte de nuestros recursos petrolíferos están categorizados por poseer una diversa variedad de tipos de crudos los cuales podemos encontrar: Crudos Livianos, Medianos, Pesados y Extra Pesados. A nivel mundial Venezuela es categorizada por ser un país en tener la mayor cantidad de reservas de petróleo, por ende se debe predominar un perfil industrial en el cual debemos aprovechar este mineral.

Actualmente en Venezuela, exactamente en la Faja Petrolífera del Orinoco posee mayor cantidad de crudos pesados y extra pesados, también suelen ser llamados “Reservas No Convencionales”, esto por lo general mientras más pesado es el petróleo más consideraciones se deben tomar a la hora de trabajar con ellos ya que las fracciones de crudo más livianas y menos densas derivadas del proceso de destilación, son más simples de trabajar que las del crudo extra pesados.

Los crudos extra pesados tienden a poseer mayores concentraciones de metales u otros elementos, lo que exige más esfuerzos para su extracción, esto debido a que posee gran cantidad de resistividad en el desplazamiento o traslado por el paso de la tubería, comúnmente suele suceder que el fluido en el fondo del pozo se encuentra a una temperatura inicial donde su propiedad de viscosidad son menores, dada esta condición se tomaría como un fluido desplazable, es decir con poca resistividad. Al proceder con la extracción de dicho crudo, se presenta que al transcurrir cierta distancia comienza a perder temperatura por lo tanto cause que su viscosidad aumente, es decir, si pierde temperatura gana viscosidad por tanto reduce su fluidez al punto de poder llegar a convertirse en un sólido.

Esta situación es un factor problema de la industria ya que al no poder controlar la viscosidad del fluido, la producción del crudo suele tardar más de lo debido o puede haber un atascamiento en la tubería por la alta viscosidad del mismo, también hay que considerar el esfuerzo o trabajo que ejerce la bomba de extracción cuando se trata de este tipo de crudo.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo de accesorio para tuberías de producción que disminuya la viscosidad en crudos extra pesados Venezuela, basados en calentamiento por inducción para su optima extracción en subsuelo

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Recopilar información sobre los diversos sistemas de transferencias de calor.
2. Obtener las variables y parámetros a considerar en el diseño del dispositivo calentador.
3. Dimensionar el dispositivo calentador basado en la inducción electromagnética.
4. Crear del modelo computarizado del dispositivo calentador basado en la inducción electromagnética empleando la herramienta COMSOL Multiphysics

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se basa principalmente, proponer la creación de un dispositivo de calentamiento que se acopla en la tuberías de producción de crudo extra pesado, el cual se basa en el calentamiento por inducción electromagnética. Esto permitirá minimizar el gradiente de

temperatura que existe entre el fondo y la superficie del pozo productor con la que consecuente ganancia de fluidez dentro de la tubería al disminuir la viscosidad a rangos de fácil operación.

Sabiendo que el problema de la viscosidad en los crudos al estar en la fase productora, es la verificación de la tasa de producción del petróleo, la cual su tasa varía dependiendo la viscosidad con la que se encuentre el crudo, por ende la velocidad de traslado dentro de la tubería, es decir, mientras más viscoso, más resistencia de fluidez va a poseer. Por ende, en la implementación del dispositivo de calentamiento, se desea que disminuya dicha resistencia, además de proporcionar un mejor desplazamiento dentro de la tubería y permita la obtención de mejores resultados en el proceso de extracción de crudo.

Para el diseño del dispositivo de calentamiento, se desea emplear el método de suministro de calor por inducción, donde dicho método aumentara el calor en la tubería de producción, cuyo objetivo es que el crudo cuando entre en contacto con dicha pared, la cual se encontrara a cierto calor el fluido tienda a realizar un cambio o aumento térmico, esto provocando que su viscosidad se reduzca y su capacidad de resistividad de fluidez disminuya.

Logrando lo dicho, se establece un mejoramiento en la extracción del crudo, es decir, mayor producción, sin las complicaciones de tener que cerrar o abandonar el pozo, por circunstancias que ameriten una falla en la extracción. Además de establecer nuevas métodos y avances tecnológicos para la industria petrolera en nuestro país.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

El alcance de esta investigación a nivel teórico apoyado con herramientas computacionales para la creación de un modelo simulado del dispositivo. Se espera pueda ser tomando en cuenta para su construcción y prueba a futuro

LIMITACIONES

Para el trabajo de investigación planteada se tomaron ciertos criterios que desfavorecen a la misma:

- Dificultad a la hora de obtener datos actuales de las propiedades de los pozos petroleros de los crudos extra pesados en Venezuela.
- Imprevisibilidad del comportamiento del material constituyente de la tubería la cual presenta variación por fluctuación de la temperatura del fluido que conduce afectado notablemente las propiedades físicas del material

MARCO CONTEXTUAL

ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”, UNELLEZ, en la ciudad de Barinas estado Barinas, bajo el área de investigación “Ciencias del Agro y Ambientales” de la UNELLEZ VPDS, en la sub área de “Petróleo” con la línea de creación intelectual de “Aumento de la capacidad de producción de crudos pesados y extra pesados”.

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Holgin Orly (2021), Trabajo de Investigación Caso Practico “Aplicación de Ondas Electromagnéticas para Aumentar el Factor de Recobro en el Campo Tambococha”. En este estudio se propone aplicar la técnica de calentamiento electromagnético como una de las alternativas de recuperación mejorada en los yacimientos de hidrocarburos pesados, se analiza el esquema de calentamiento electromagnético, utilizando la simulación numérica de yacimientos como herramienta de trabajo, se estudia el modelo conceptual de yacimiento de crudo pesado. También se planteó evaluar el aumento de la producción y del factor de recobro que se obtiene a través de la aplicación del calentamiento eléctrico, se utiliza el simulador comercial STARS de CMG, el cual le asigna un valor constante a las celdas del enmallado.

Este estudio sirve de referencia al presente trabajo de grado en cuanto a la implementación de nuevas tecnologías aplicadas en el área de producción de un pozo, como también en el tratado de los crudos en el sub suelo. Esto con la finalidad de poseer una mejor o mayor producción de

Petróleo.

Rodríguez .J, Ortiz .A, Orfila .L (2020), Artículo Científico “Caracterización de la Viscosidad y su Comportamientos en los Procesos Térmicos Aplicados en Yacimientos de Crudos Pesados”. El estudio de este trabajo tiene como principal objetivo en comprender en detalle las principales variables que inciden en el comportamiento de la viscosidad de crudos pesados, haciendo énfasis en el efecto de la temperatura, comprender el impacto de la viscosidad sobre el movimiento de fluidos dentro del medio poroso y su incidencia directa en la productividad de los pozos. Para ello fueron analizadas 56 muestras de crudo pesado, extra pesado y bitúmenes a diferentes temperaturas, provenientes de una base de datos PVT de Campos en Venezuela.

Dicha investigación se puede tomar como referencia para el presente trabajo de grado, ya que se introduce el concepto del cambio de viscosidad del crudo mediante un drástico cambio de la temperatura aplicada. Donde se pudo determinar, el cambio de dicha viscosidad a partir de los 100 °F (37,77 °C) y 200 °F (93,33 °C).

Cáceres Daniel (2016), Trabajo de Grado para Optar al Título de “Ingeniero en Energía”, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia “Análisis Técnico Económico de la Tecnología del Transporte de Crudo Pesado Calentamiento por Inducción Electromagnética para el Crudo Castilla Usando Simulador de Procesos Hysys”. Este estudio deduce, la problemática de transportar este crudo por oleoducto se debe a la alta viscosidad dificultando el flujo y encareciendo los costos operacionales y los requerimientos de inversión. Debido al aumento de la producción de crudos pesados, se hace necesario contar con una tecnología de transporte de crudo que garantice un proceso óptimo, seguro y al menor costo. Sin embargo, su aplicación en la industria petrolera se usa como fuente de

energía para la recuperación mejorada de petróleo. La producción de calor mediante inducción electromagnética es un método en el que una corriente alterna que fluye a través de una bobina de inducción genera un campo magnético que varía en función de la frecuencia.

Dicho estudio se estable como una referencia al proyecto de grado ya que en el dispone el planteamiento de simuladores para determinar o visualizar el cambio de temperatura en tuberías, además de la implementación del proceso inductivo en las fases de traslado de crudos.

MARCO TEÓRICO

1) Crudo extra pesado

Los petróleos con 10 °API o de menor densidad se conocen como extra pesados, ultra pesados o superpesados, porque son más densos que el agua.

1.2) Propiedades del Crudo Extra Pesado

El crudo yace de un proceso químico de oxidación de los crudos convencionales que realizan bacterias dentro del yacimiento. Tienen diferentes propiedades físicas y químicas que se afectan, generalmente estos crudos presentan:

Crudo	Propiedades
Extra Pesados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alta Viscosidad ✓ Baja Gravedad API, menores a 10 °API ✓ Alto contenido de metales pesados como Níquel y Vanadio ✓ Alto contenido de azufre y nitrógeno

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alta relación gas-aceite ✓ Salinidad del crudo
--	---

Tabla 1: Propiedades del Crudo Extra pesado

Fuente: Elaboración Propia

2) Termodinámica

La termodinámica es la rama de la física que estudia la relación entre el calor, la fuerza aplicada, también conocida como trabajo y la transferencia de energía.

2.1) Los procesos termodinámicos están determinados por tres leyes básicas:

- ✓ Ley Cero, que indica el equilibrio térmico sobre los cuerpos sometidos a calor por variación de su energía interna.
- ✓ Ley de la conservación de la energía en cualquier sistema.
- ✓ Introduce al concepto de entropía, explica que ningún sistema puede transformar complementemente su energía en calor

Comprender los procesos termodinámicos es importante en áreas como la ingeniería industrial donde es necesario utilizar grandes cantidades de energía para el funcionamiento de múltiples máquinas.

2.2) Algunos factores indispensables que maneja la termodinámica:

2.2.1) Temperatura

Es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como “energía cinética”, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido

traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida de que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que éste se encuentra más “caliente”; es decir, que su temperatura es mayor.

2.2.2) Calor

El calor no es una nueva forma de energía, es el nombre dado a una transferencia de energía de tipo especial en el que intervienen gran número de partículas. Se denomina calor a la energía intercambiada entre un sistema y el medio que le rodea debido a los choques entre las moléculas del sistema y el exterior al mismo y siempre que no pueda expresarse macroscópicamente como producto de fuerza por desplazamiento.

Se debe distinguir también entre los conceptos de calor y energía interna de una sustancia. El flujo de calor es una transferencia de energía que se lleva a cabo como consecuencia de las diferencias de temperatura. La energía interna es la energía que tiene una sustancia debido a su temperatura, que es esencialmente a escala microscópica la energía cinética de sus moléculas.

El calor se considera positivo cuando fluye hacia el sistema, cuando incrementa su energía interna. El calor se considera negativo cuando fluye desde el sistema, por lo que disminuye su energía interna.

Cuando una sustancia incrementa su temperatura de T_A a T_B , el calor absorbido se obtiene multiplicando la masa (o el número de moles n) por el calor específico c y por la diferencia de temperatura $T_B - T_A$.

Ecuación 1: Calor

$$Q = c * m * (\Delta T)$$

Donde:

Q: Cantidad de Calor

c: Calor Especifico

m: Masa (Kg)

ΔT : Diferencia de Temperatura

2.2.3) Viscosidad

Los fluidos que se transportan con facilidad como el agua o la gasolina tienen menor viscosidad que los líquidos espesos como lo son la miel o el aceite para motor. La viscosidad de los fluidos depende de la temperatura, aumenta para los gases disminuye para los líquidos al subir su temperatura “Un objetivo importante en el diseño de aceites para motores es controlar la variación de viscosidad a razón de su cambio de temperatura”.

Un fluido viscoso tiende a adherirse a una superficie sólida que está en contacto con ella. Siempre habrá una capa de frontera delgada de fluido cerca de la superficie, en la que el fluido está casi en reposo respecto a ella, por eso las partículas de polvo pueden adherirse al aspa de un ventilador aun cuando esté girando rápidamente.

Ecuación 2: Viscosidad

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dónde:

ν : Viscosidad Dinámica

μ : Viscosidad Cinemática

ρ : Densidad

2.2.3.1) Variación de la viscosidad con respecto a la temperatura

La viscosidad de un líquido decrece con el aumento en la temperatura, al aumentar la temperatura del crudo se disminuye su viscosidad debido al incremento de la velocidad de las moléculas y, por ende, a la disminución de su fuerza de cohesión y disminución de la resistencia molecular. Por lo tanto, la temperatura a la que las mediciones de viscosidad se realizan, también se deben incluir a la hora de informar los datos de viscosidad.

Los crudos relativamente medianos poseen una estructura molecular más estable a cambios de temperatura que la de los crudos pesados. Mientras más viscoso sea un crudo, posee una estructura más inestable que puede ser alterada fácilmente por cambios mínimos de temperatura. Generalmente se puede alcanzar una reducción superior al 90% al incrementarse la temperatura de los crudos en 100 °F, a partir de la temperatura ambiente.

La viscosidad es función del estado de las propiedades del fluido, por esta razón se deben tener en cuenta para determinar el método más eficiente y apropiado para transportar el crudo pesado. La viscosidad de los líquidos es muy sensible a los cambios de temperatura. A medida que la temperatura aumenta disminuye la viscosidad. Este comportamiento se predice por medio de la ecuación de Andrade:

Ecuación 3: Variación de la Viscosidad con Respecto a la Temperatura

$$\ln(\mu) = \ln(a) + \frac{b}{T}$$

Dónde:

μ : Viscosidad

a y b: Variables dependientes del fluido

2.2.4) Calor Especifico

Todos los materiales contienen o absorben energía en diferentes cantidades. La cantidad de energía calorífica, o la capacidad térmica de un material particular, se conoce como su calor específico. El calor específico de muchos materiales es constante sólo a una temperatura y por lo regular varía algunos grados con la temperatura. El agua tiene un calor específico de 1.0 y absorbe grandes cantidades de energía calorífica. El aire, con un calor específico de 0.24, absorbe considerablemente menos energía calorífica por libra.

Ecuación 4: Calor Específico

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Dónde:

c: Calor Especifico

Q: Cantidad de calor:

m: Masa

ΔT : Diferencial de Temperatura

2.2.4.1) Calor específicos aplicada en Crudos

Ecuación 5: Calor Específico para Crudos

$$Cp = \frac{0,388 + 0,00045 \cdot T}{\sqrt{\gamma_o}}$$

Dónde:

Cp: Calor especifico

T: Temperatura deseada

γ_o : Gravedad especifica

2.2.5) Conductividad Térmica

Es la capacidad con la cual se mide el grado de trasmisión de una propiedad específica a través de un material, también se puede definir como la capacidad que tiene una material para transmitir calor a través de él. La conductividad térmica se identifica como “k” y se expresa, por lo regular, en unidades térmicas británicas por pulgada lineal (o pie) por hora por pie cuadrado de área por grado Fahrenheit. Estos factores “k” se usan ampliamente en aplicaciones de calentamiento ambiental para valorar la efectividad de la construcción de edificios y otros materiales como aislamiento térmico. Los factores “k” se usan también en el cálculo de las pérdidas de calor a través del aislante de una tubería y de un tanque.

Ecuación 6: Conductividad Térmica

$$K = \frac{Q*d}{A*\Delta T}$$

Dónde:

K: Conductividad Térmica

Q: Cantidad de Calor

d: distancia entre los dos planos del material

A: Área Transversal

ΔT : Diferencia de Temperatura

2.2.5.1) Conductividad Térmica en Fluidos:

Ecuación 7: Conductividad Térmica en Fluidos

$$K_f = \frac{0,0677 * [1,0 - 0,0003 * (T - 32)]}{\sqrt{\gamma_o}}$$

Dónde:

γ_o : Gravedad Específica

T: Temperatura

2.2.5.1.1) Gravedad Específica

Ecuación 8: Gravedad Específica

$$\gamma_o = \frac{141,5}{131,5 * ^\circ API}$$

Dónde:

°API: Gravedad API del Crudo

2.2.6) Masa

Se le conoce como la cantidad de materia que posee un cuerpo, es una de las propiedades físicas y fundamentales de la materia. De acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, el kilogramo (kg) es su unidad. En el campo de la física, es una medida cuantitativa de la inercia, es la oposición o resistencia de un cuerpo a un cambio en su velocidad o la posición sobre la aplicación de una fuerza.

Ecuación 9: Masa

$$m = \rho * v$$

Dónde:

ρ : Densidad

V: Volumen

2.2.6.1) Masa de un material (Cilindro Hueco)

Ecuación 10: Masa de la Tubería

$$m = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * L * \rho$$

Dónde:

m: Masa de la Tubería

D: Diámetro Externo

d: Diámetro Interno

L: Longitud de la Tubería

ρ : Densidad del Material

2.2.7) Volumen

Los cuerpos se caracterizan por ocupar una porción de espacio, el volumen es la forma en que se puede determinar esa condición. No obstante, esta dista de ser equivalente en cualquier circunstancia. En efecto, los materiales pueden cambiar el volumen que tienen. Un claro ejemplo de esta circunstancia se evidencia cuando a éstos se los expone a diferentes temperaturas. En ese momento puede observarse como a mayor calor, los cuerpos tienden a aumentar su volumen; por el contrario, si se enfría un material, este tiende a ocupar un volumen menor.

Este tipo de circunstancia se explica porque las partículas que componen un determinado material se mueven de modo imperceptible a los ojos humanos, y este movimiento aumenta con el calor; en efecto, esto explica la relación existente entre energía calórica y energía cinética. En los gases, este tipo de situación, es decir, la relación existente entre la temperatura y el volumen está explicada por la denominada ley de Charles; cabe señalarse que esta relación se considera teniendo una presión constante

2.2.7.1) Volumen de un Cilindro Hueco

El volumen de un cilindro hueco se calcula multiplicando el área de la corona circular que tiene por base por la altura del cilindro hueco. Por lo tanto, el volumen de un cilindro hueco es igual a la diferencia de los cuadrados de los radios por pi por la altura del cilindro hueco.

Ecuación 11: Volumen de un Cilindro Hueco

$$V = \pi * h * (R^2 - r^2)$$

Dónde:

V: Volumen del Cilindro Hueco

L: Longitud de la Tubería

R: Radio Externo de la Tubería

r: Radio Interno de la Tubería

2.2.8) Densidad

La densidad es la relación, entre el peso de un volumen de la muestra, a una temperatura de medición (T). La mayoría de los crudos tienen densidades menores que las del agua. En la industria petrolera la densidad de los crudos, se expresa generalmente en gravedad específica en grados API. En esta escala el agua tiene una gravedad de 10° API, así pues, un crudo menos pesado que el agua tiene una gravedad API mayor y uno más denso tiene una gravedad API menor.

Ecuación 12: Densidad

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dónde:

m: Masa

V: Volumen

3) Transferencia de Calor

La transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios. La parte de la física que estudia estos procesos se llama a su vez transferencia de calor o transmisión de calor o transferencia térmica. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre

dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta

3.1) Conducción

Es la transferencia de calor que se produce a través de un medio material por contacto directo entre sus partículas, cuando existe una diferencia de temperatura y en virtud del movimiento de sus micro partículas. El medio puede ser sólido, líquido o gaseoso, aunque en líquidos y gases solo se da la conducción pura si se excluye la posibilidad de convección. La cantidad de calor que se transfiere por conducción, viene dada por la ley de Fourier. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal, es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo.

3.1.1) Conductividad de un Cilindro Hueco

Ecuación 13: Conductividad de un Cilindro

$$Q_c = \frac{(T_f - T_i)}{\frac{(r_2 - r_1)}{K * A_{lm}}}$$

Dónde:

Q_c : Conductividad de la Tubería

T_f : Temperatura Final

T_i : Temperatura Inicial

K : Conductividad Térmica del Material

A_{lm} : Área Logarítmica Media

3.1.1.1) Área Logarítmica Media

Ecuación 14: Área Logarítmica Media

$$A_{lm} = \frac{2\pi * L * (R_2 - r_1)}{\ln \frac{R_2}{r_1}}$$

Dónde:

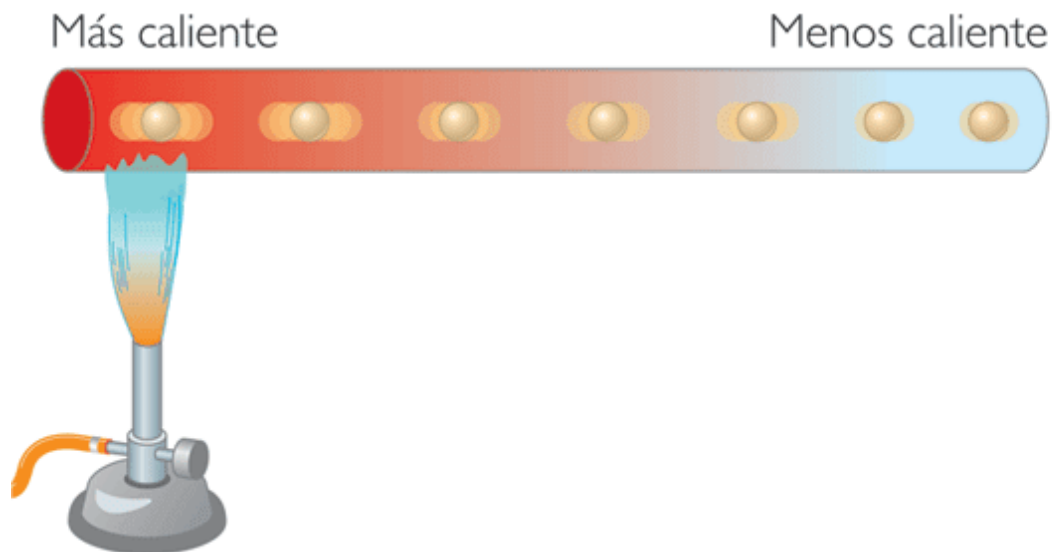
A_{lm} : Área Logarítmica Media

L: Longitud de la Tubería

R: Radio Externo

r: Radio Interno

Ilustración 1: Conductividad en Cilindros Huecos



Fuente: Chromalox Technical Documents

4) Inducción electromagnética

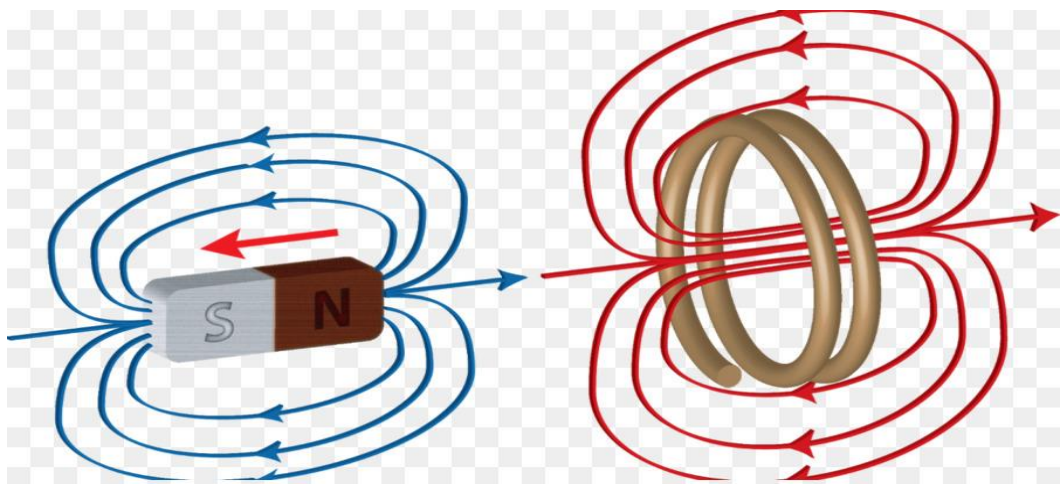
La inducción electromagnética es la producción de corrientes eléctricas por campos magnéticos variables con el tiempo. La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así

que cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida.

La ley de Faraday describe que una inducción electromagnética la cual lleva el apellido de su descubridor, la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético. En el experimento el sistema que generaba la corriente se denominó inductor y el circuito donde se crea la corriente se llamó inducido.

Otra definición nos la da el científico ruso Heinrich Lenz explicó que la corriente fluye en la dirección que crea un campo magnético que intenta para mantener el flujo constante en el bucle. Por lo tanto, se genera una fem en el bucle que conduce una corriente en la dirección que crea más líneas de campo magnético. De acuerdo con la ley de Lenz, la fem producida en la bobina conducirá una corriente en la dirección que crea un campo magnético. La ley de Lenz nos dice que la fem inducida en la bobina conducirá una corriente en la dirección que crea un campo magnético que apunta hacia la derecha. Esto contrarrestará el flujo magnético creciente que apunta hacia la izquierda debido al imán.

Ilustración 2: Inducción Electromagnética



Fuente: Gonzales, Winder Aller, Jose M. Loszlo, Sajo B. Horvart, Julio W (2013)

4.1) Bobina de inducción

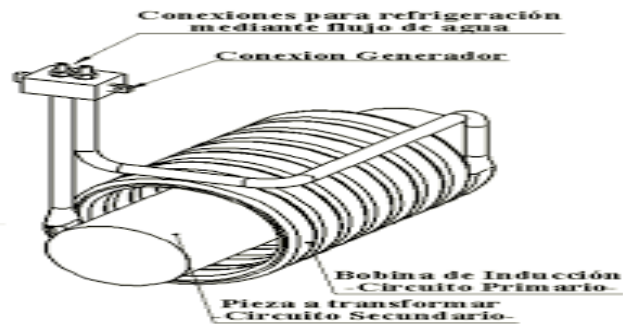
Las bobinas están principalmente formadas por cable de alambre o de cobre en forma de espiras y tienen la propiedad de transformar una corriente eléctrica de baja tensión y alta intensidad que circula en un devanado llamado "inductor" en una corriente de muy alta tensión y baja intensidad producida en un segundo devanado llamado "inducido"

4.1.1) Diseño de una Bobina

Las geometrías en bobinas de inducción varían según su aplicación y en general no tiene que tener una forma específica. Se puede decir que no hay limitación en las dimensiones o en la forma del material a calentar. Esto supone otra ventaja, ya que no solo es posible calentar materiales conductores de cualquier dimensión o forma, sino que además, se puede calentar solo la porción deseada. Es incluso posible calentar diferentes zonas de la pieza con diferentes temperaturas mediante un diseño adecuado de la geometría.

El diseño y construcción de bobinas de inducción depende del patrón de calentamiento requerido para una particular aplicación, frecuencia de trabajo y densidad de potencia.

Ilustración 3: Bobina Inductiva



Fuente: Valery Rudnev, , Raymond L. Cook (2017)

4.1.1.1) Número de Vueltas

El número de espiras que tenga la bobina (a más vueltas mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios)

Ecuación 15: Número de Vueltas

$$N = \frac{L_t}{\frac{d_b}{2}}$$

Dónde:

N: Numero de Vueltas

L_t : Longitud de la Tubería

d_c : Diámetro del Alambre

4.1.1.2) Potencia

La potencia se consume en una resistencia cuando la corriente fluye a través del conductor. Esta potencia es la velocidad a la que la energía eléctrica se transforma en energía térmica. Esta potencia es proporcional al cuadrado de la corriente y no depende de la dirección del flujo.

La potencia eléctrica es la velocidad por unidad de tiempo al que la energía eléctrica se transfiere en un circuito eléctrico. De forma más

sencilla, podemos considerar que es la cantidad de energía que consume o genera un elemento en un instante determinado.

Ecuación 16: Potencia Requerida

$$P_w = m * c * \frac{T_f - T_i}{t}$$

Dónde:

P_w: Potencia Requerida

m: Masa

c: Calor Especifico

T_f: Temperatura Final

T_i: Temperatura Inicial

t: Tiempo

4.1.1.3) Resistencia

La resistencia de un conductor es proporcional a la resistividad de su material, a su longitud, e inversamente proporcional al área de su sección transversal.

Ecuación 17: Resistencia Eléctrica

$$R = \frac{\varnothing * L}{A}$$

Dónde:

R: Resistencia Eléctrica

∅: Resistividad del Material

A: Área Transversal

Ilustración 4: Resistencia



Fuente: Chester A. Tudbury, (1960)

4.1.1.4) Corriente

Se llama corriente eléctrica al flujo de carga eléctrica a través de un material conductor, debido al desplazamiento de los electrones que orbitan el núcleo de los átomos que componen al conductor.

Este movimiento de partículas se inicia una vez que en los extremos del conductor se aplica una tensión externa. Para transmitirse, la corriente eléctrica requiere de materiales que dispongan de una gran cuota de electrones libres, es decir, ubicados en su última órbita alrededor del núcleo y, por lo tanto, susceptibles de movilizarse al estar menos fuertemente atraídos por éste. En ese sentido puede distinguirse entre materiales conductores, semiconductores y aislantes, de acuerdo a su capacidad de transmitir la corriente eléctrica (buena, poca y nula, respectivamente).

Ecuación 18: Corriente

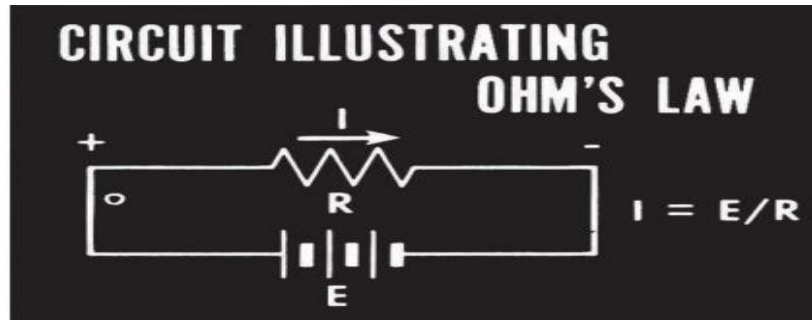
$$I = \frac{P}{R}$$

Dónde:

Pw: Potencia Requerida

R: Resistencia Eléctrica

Ilustración 5: Corriente



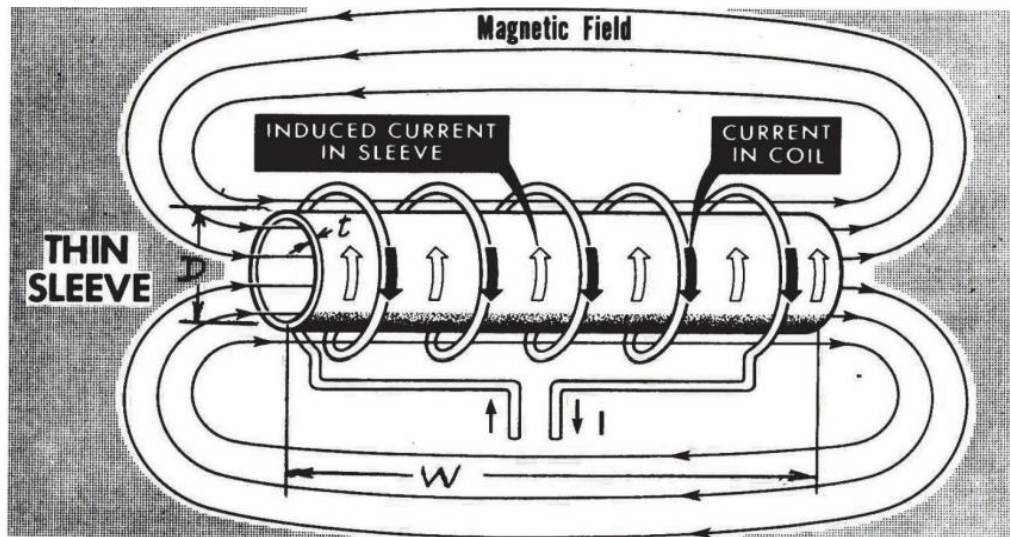
Fuente: Chester A. Tudbury, (1960)

4.1.1.5) Campo Magnético

Se llama campo magnético a un espacio en la cual tienen lugar fenómenos magnéticos debido a la influencia de un cuerpo con propiedades magnéticas, sea el caso de un imán o un material ferromagnético imantado.

El campo magnético no se trata de la fuerza en sí sino de un espacio en el que esa fuerza se ejerce como resultado del movimiento de cargas eléctricas. En él actúan fuerzas sobre partículas cargadas en movimiento, lo que le da su carácter vectorial.

Ilustración 6: Campo Magnético



Fuente: Chester A. Tudbury, (1960)

El campo magnético se representa por el trazado de unas líneas imaginarias, las cuales reciben el nombre de líneas de fuerza magnética o líneas del campo magnético.

Ecuación 19: Campo Magnético

$$B = \frac{\varphi * N * I}{L}$$

Dónde:

B: Campo Magnético

φ : Permeabilidad Relativa

N: Numero de Vueltas

I: Corriente

L: Longitud de la Bobina

4.1.1.6) Voltaje Inducido

El voltaje inducido en una bobina es proporcional al producto del número de vueltas de la bobina por la rapidez con la que el campo magnético cambia dentro de esas vueltas. La cantidad de corriente producida por la

inducción electromagnética no sólo depende del voltaje inducido, sino también de la resistencia de la bobina y del circuito con el que está conectada.

Ecuación 20: Voltaje Inducido

$$E = -N * \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Dónde:

E: Voltaje Inducido en la Bobina

N: Numero de Vueltas

$\Delta\omega/\Delta t$: Velocidad a la que cambia el campo en líneas por segundo

4.1.1.6.1) Flujo Magnético

Ecuación 21: Flujo Magnético

$$\omega = (B_o - B_f) * A$$

Dónde:

ω : Flujo Magnético

B_o : Campo Magnético Inicial

B_f : Campo Magnético Final

A: Área de la bobina

4.1.1.7) Inductancia

Es la propiedad de un circuito por el cual un cambio o variación en la corriente induce, por inducción electromagnética o una fuerza electromotriz.

La inductancia de una bobina cilíndrica depende del número de vueltas N, su longitud l y su área de sección transversal A. Además, el material del núcleo tiene una gran influencia y se considera con la permeabilidad.

Ecuación 22: Inductancia

$$L = \frac{N^2 * \varphi * A}{l}$$

Dónde:

L: Inductancia de la bobina.

N: Numero de vueltas.

φ : Permeabilidad relativa.

A: Área de la bobina.

l: Longitud de la bobina.

4.1.1.8) Resistencia Equivalente

Es el valor de la resistencia eléctrica equivalente que presenta una pieza cilíndrica situada en el interior de un inductor de calentamiento. Se calcula por medio de la expresión:

Ecuación 23: Resistencia Equivalente

$$R_{2eq} = \frac{\pi * \varnothing * D}{L * \sigma} * K_{R2} * N^2$$

Dónde:

R_{2eq} : Resistencia Equivalente de la Pieza de Trabajo

\varnothing : Resistividad del Material

D: Diámetro Externo de la tubería

L: Longitud de la Tubería

σ : Profundidad de Penetración

K_{R2} : Factor de Resistencia

N: Numero de Vueltas

4.1.1.9) Profundidad de Penetración de la Pieza de Trabajo

Ecuación 24: Profundidad de Penetración

$$\sigma = 3160 * \sqrt{\frac{\varnothing}{\varphi * f}}$$

Dónde:

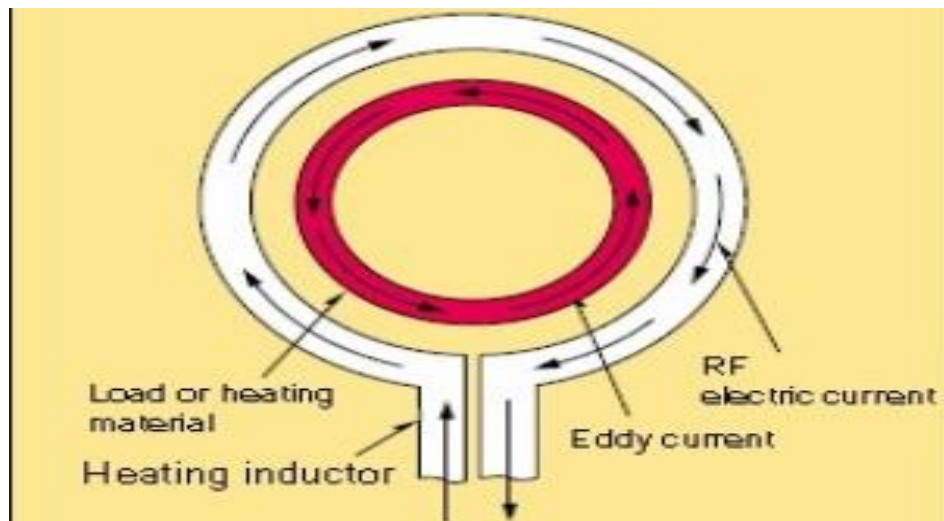
σ : Profundidad de Penetración

ρ : Resistividad del Material

φ : Permeabilidad Relativa

F: Frecuencia ciclos por segundos

Ilustración 7: Profundidad de Penetración



Fuente: Electromagnetic induction and The Joule effect (2017)

4.1.1.10) Eficiencia Eléctrica

Ecuación 25: Eficiencia Eléctrica

$$\eta_{Elec} = \frac{1}{1 + \frac{d_c + \sigma_c}{d_w + \sigma_w} * \sqrt{\frac{\rho_c}{\varphi * \rho_w}}}$$

Dónde:

d_c : Diámetro de la bobina

d_w : Diámetro exterior de la tubería

σ_c : Profundidad de Penetración de la bobina

σ_w : Profundidad de Penetración de la tubería

ρ_c : Resistividad del material de la bobina

ρ_w : Resistividad del material de la tubería

φ : Permeabilidad Relativa de la Tubería.

4.1.1.12) Eficiencia Térmica

Ecuación 26: Eficiencia Térmica

$$\eta_{Term} = \frac{P_w}{P_w + P_{pt}}$$

Dónde:

η_{Term} : Eficiencia Térmica

P_w : Potencia Requerida

P_{pt} : Pérdidas Térmicas

4.1.1.12.1) Pérdidas Térmicas

Ecuación 27: Pérdidas Térmica

$$P_{pt} = 3,74 * 10^{-4} * \frac{L_c}{\log_{10}\left(\frac{d_c}{d_w}\right)}$$

Dónde:

P_{pt} : Pérdidas Térmicas

L_c : Longitud de la Tubería

d_w : Diámetro Externo de la Tubería

d_c : Diámetro de la Bobina

4.1.1.13) Eficiencia Total del Sistema

Ecuación 28: Eficiencia Total del Sistema

$$\eta_T = \eta_{Term} + \eta_{Elec}$$

Dónde:

η_T : Eficiencia Total

η_{Term} : Eficiencia Térmica

η_e : Eficiencia Eléctrica

4.1.1.14) Potencia Efectiva

Considerando que P_w representa la potencia necesaria para calentar la pieza, la potencia de la fuente tiene que ser más grande debido a las pérdidas de energía. De esta manera, la potencia efectiva que la fuente debe de ser capaz de suministrar.

Ecuación 29: Potencia Efectiva del Sistema

$$P_c = \frac{P_w}{\eta_T}$$

Dónde:

P_c : Potencia Efectiva

P_w : Potencia Requerida

η_T : Eficiencia total del sistema

SISTEMA DE VARIABLES

Álvarez (2008) establece que, un sistema de variables consiste: “en una serie de características por estudiar, definidas de manera operacional, es decir, en función de sus indicadores o unidades de medida” (p.59).

Ahora bien, Sabino (1992) indica que “Una variable, es una característica o casualidad de la realidad que es susceptible de asumir diferentes valores”. De igual manera, se podría definir las variables como las características que permiten relacionar algunos conceptos que el investigador va a estudiar.

Variable Independiente.

Ramírez, J. (2020) sostiene que la Variable Independiente puede valerse por sí sola y no es afectada por nada de lo que haga el experimentador ni por otra variable dentro del mismo experimento; de ahí su

nombre de “independiente”. En otras palabras, es la supuesta “causa” en la relación que se está estudiando.

Para este estudio la variable independiente seleccionada es **“Parámetros de diseño”**, la cual se refiere a:

A la elección de un mecanismo que proporcione el funcionamiento requerido, además de la determinación con respecto a las condiciones, propiedades y cálculos necesarios que debe poseer el mecanismo para su principal funcionamiento,

Variable Dependiente.

Ramírez, J. (2020) define la variable dependiente como aquella que es afectada por la variable independiente. Se trata del efecto, de lo que se mide. Para Sampieri (2007) La variable dependiente es el efecto medido en el experimento.

Para este estudio la variable dependiente que se eligió fue **“Dimensionamiento del Dispositivo”**, ya que se refiere a:

Es la cualidad de crear y presentar mediante un plano el dispositivo deseado, esto en sus diversas dimensiones y vistas. Donde dicho diseño debe considerar los parámetros y propiedades determinadas, con el fin de establecer su funcionalidad para la generación de la temperatura deseada.

MAPA DE VARIABLES.

Tabla 2: Cuadro de Variables

Objetivo General: Diseñar un prototipo de accesorio para tuberías de producción que disminuya la viscosidad en crudos extra pesados Venezuela, basados en calentamiento por inducción para su óptima extracción en subsuelo.

Objetivos Específicos	Variable	Definición Operacional	Indicadores	Items
Recopilar información sobre los diversos mecanismos de transferencias de calor	Parámetros de Diseño	Son todas aquellas estrategias que se toman en cuenta a la hora crear un proyecto o dispositivo, esto con la finalidad de establecer un funcionamiento principal que debe cumplir el dispositivo o equipo a diseñar.	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos de transferencia de calor • Proceso de funcionamiento del equipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Conducción • Convección • Radiación • Inducción Electromagnética
Obtener los parámetros a considerar en el diseño del dispositivo de calentamiento				
Dimensionar el dispositivo calentador basado en la inducción electromagnética	Dimensionamiento del Equipo	Se basa principalmente en la construcción gráfica de un objeto o mecanismo en sus diferentes dimensiones y partes, mediante la cual se toman diversas consideraciones de diseño, sean físicas, químicas y ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades de fluido • Propiedades de la Tubería de Producción • Propiedades Eléctricas • Materiales de construcción • Partes o componentes del dispositivo • Simulación computarizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Viscosidad • Densidad • Conductividad Térmica • Calor Especifico • Conductividad Eléctrica • Resistividad Magnética • Potencia • Resistencia • Corriente
Creación del modelo computarizado del dispositivo calentador basado en la inducción electromagnética empleando la herramienta COMSOL Multiphysics				

Fuente: Jeison Camargo Vela (2023)

NORMATIVA Y ASPECTOS LEGALES.

Álvarez (2005) describe que “las bases legales se refieren a las consultas bibliográficas de textos legales que están relacionados con el tema a investigar” (p.44). Es decir; está constituida por el conjunto de documentos de naturaleza legal que sirven de testimonio referencial y de soporte a la investigación realizada atendiendo el orden jurídico jerárquico correspondiente.

LEY ORGÁNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TÍTULO I DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Artículo 2º Interés público. Las actividades científicas, tecnológicas, de innovación y sus aplicaciones son de interés público para el ejercicio de la soberanía nacional en todos los ámbitos de la sociedad y la cultura.

Artículo 3º Son sujetos de esta Ley y conformarán el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología, Innovación:

2. Todas las instituciones, personas naturales y jurídicas, públicas y privadas que generen, desarrollen y transfieran los conocimientos científicos, tecnológicos, de innovación y sus aplicaciones, y en general todos los sujetos que favorezcan el desarrollo económico y mejoramiento de los procesos de producción de bienes y servicios de la nación.

Artículo 4º. A los efectos de la presente Ley se entiende por:

2. Tecnología: La aplicación de un conjunto de conocimientos y habilidades derivadas de la ciencia y los saberes con el propósito de resolver un problema específico, para satisfacer una necesidad social en un ámbito determinado.

3. Innovación: El proceso de creación, modificación, aprovechamiento o explotación de la tecnología, a través del ejercicio dinámico de generación de nuevas prácticas o mejoramiento de viejas tecnologías.

Plan de la Patria 2019-2025 (GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA N° 6.446 Extraordinario

1.6. Desarrollar las capacidades científico-tecnológicas que hagan viable, potencien y blinden la protección y atención de las necesidades del pueblo y el desarrollo del país potencia.

1.2.5.1.2. Desarrollar los procesos industriales, así como de innovación para la generación de equipamiento y maquinaria, neurálgicos para el proceso de producción y refinación de hidrocarburos.

2.3.10.15. Gestar un sólido sistema de conocimiento, avance científico e integración con las universidades nacionales en un sistema universitario integral, así como redes de conocimiento internacionales para la construcción y defensa de la soberanía, integración y bases productivas, intelectuales y artísticas para el alcance de la máxima felicidad en una democracia política, económica, cultural, espacial y social.

4.1.9.3. Propiciar la cooperación en materia de transferencia tecnológica y desarrollo de conocimiento científico, mediante la creación conjunta de nuevas tecnologías aplicadas al área productiva, orientadas a alcanzar la independencia económico-productiva.

NATURALEZA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se enmarca en el modelo del paradigma cuantitativo, Palella y Martins, (2004: 38), señalan que “La investigación cuantitativa requiere el uso de instrumentos de medición y comparación que proporcionarán datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos”.

Por su parte, la investigación cuantitativa, es un modelo de investigación, cuyo propósito es hallar leyes generales que expliquen la naturaleza de su objeto de estudio a partir de la observación y la comprobación; (Hernández, Fernández y Baptista, 1998, p.185), lo que guarda relación con esta investigación, en vista que tiene finalidad describir el proceso el proceso de transferencia de calor a través de una tubería de producción, esto con la ayuda del simulador COMSOL Multiphysics, para que con ello determinar el gradiente de temperatura que se genera en su interior y mediante cálculos matemáticos determinar la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura.

Hurtado de Barrera (2010, cuarta edición, Pg. 567), explica que la investigación proyectiva “consiste en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa, un procedimiento, un aparato. Como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, de una institución o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras”. La autora señala También que este tipo de investigación abarca el campo de la tecnología pues esta aborda problemas prácticos basadas en conocimientos anteriores, ocupándose de cómo deberían ser las cosas, para alcanzar unos fines y

funcionar adecuados.

Sin embargo para ser más específicos García Córdoba (2007, Pag 81), define como resultado de una investigación tecnológica, se tienen conocimientos que establecen con detalle: acciones, requisitos, características, diseño, materiales, costo, responsable, métodos, instrumentos, y de más circunstancias que describen el que y en cómo, con lo que se promueve el logro de los objetivos generalmente predeterminado en el área de producción. No obstante la investigación tecnológica constituye un conocimiento aplicado y de uso práctico de manera inmediata concretada en inventos, diseños, innovaciones, generalmente todos negociables para el sector productivo.

Considerando las definiciones señaladas, el presente trabajo se enmarca en una investigación proyectiva, debido a su que su finalidad es contribuir mediante un accesorio de tubería a la disminución de la viscosidad en curdos extra pesados y a su vez obtener un mejor desplazamiento del mismo. Por lo cual se realiza un diseño del mecanismo (innovación tecnológica) mediante cálculos matemáticos y con ayuda de un simulador para la obtención de los resultados deseados, cuyo funcionamiento se basa principalmente en la ley de Faraday el cual determina la inducción electromagnética mediante campos eléctricos y llego a la conclusión *“La intensidad de la corriente eléctrica que se induce en una bobina es directamente proporcional al número de espiras y a la intensidad del campo magnético que interacciona con estas espiras”*.

Cabe recalcar que para el dimensionamiento del equipo se basó en la utilización de reglas empíricas a una solución de forma heurística conocido como ideal por Bransford y Stein (1984), incluyendo cinco pasos: identificar el problema, definir y presentar el problema, explorar las estrategias viables, avanzar en las estrategias, y lograr la solución y volver para evaluar los efectos de las actividades.

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Hernández, S (2010) “el diseño de investigación es un instrumento de dirección “guía” con un conjunto de pautas, bajo las cuales se realiza una investigación. En mérito de ello el termino diseño de investigación se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea”

Tamayo Mario (2015), define: “la investigación experimental se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa-efecto, para lo cual uno o más grupos, llamados experimentales, se exponen a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de ese u otros grupos, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estímulo experimental”

Se considera un aporte a la investigación sirviendo como apoyo debido a que el mecanismo diseñado se verá en gran parte de las fases de pruebas, donde dicho mecanismo se verá afectado por las condiciones propuestas para su funcionamiento, es decir, cuanta temperatura debe generar y por ende cuanta potencia debe suministrar.

Por otro lado, los autores Martins y Palella (2010), define: “el diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa”

La cual tiene relación con el presente estudio, ya que en la fase de diseño y cálculos, se debe tener en consideración los diferentes diámetros que puede llegar a tener la bobina de cobre, sabiendo que este factor puede variar

su eficacia, de igual manera en la parte de la simulación computarizada, al ingresar la diferencia de variación de temperatura las características físicas y eléctricas del material varían.

Diseño Experimental:

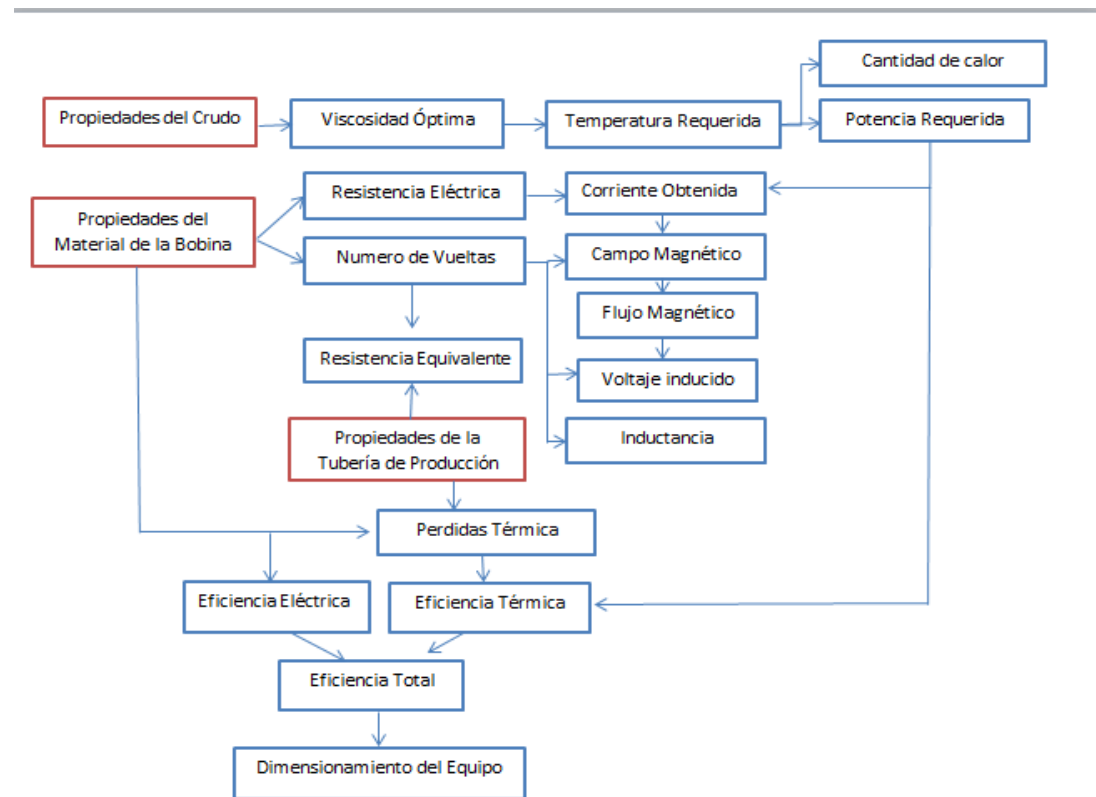


Figura 1: Diseño Experimental

Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el presente estudio, se planea llevar a cabo una metodología basada en las siguientes fases:

FASE I: RECOLECCIÓN DE INFORMACION TEÓRICO – PRÁCTICO MEDIANTE REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Se realizó una revisión bibliográfica a través de documentos en línea, así como la obtención de resultados característicos de trabajos de grados, artículos, videos e indagación referentes al calentamiento inductivo, transferencia de calor y la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura.

FASE II: OBTENER LOS PARAMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO

En esta fase, se estudiaron las condiciones del diseño que debe poseer el dispositivo para ser apto como equipo funcional, sirviendo de apoyo fuentes bibliográficas y videos didácticos, esto para el diseño del dispositivo o mecanismo de transferencia de calor y obteniendo los diversos cálculos enfocados en el diseño de bobinas inductivas.

FASE III: DIMENSIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO CALENTADOR BASADO EN LA INDUCCION ELECTROMAGNETICA

Para la tercera fase, se dividió en dos partes, donde la primera parte consta mediante la herramienta de diseño “Software SolidWorks”, la realización de las Patentes o Planos en 2D de la bobina inductiva, esto para tener una idea o un enfoque más determinante para la fase de diseño, además de presentar las medidas de la bobina inductiva. Ahora para la segunda parte de esta fase de igual manera que en la primera parte, se seguirá utilizando la herramienta de diseño “Software SolidWorks” mediante las patentes o planos realizados se dispondrá a dimensionar en una vista en 3D de la bobina inductiva y de la

tubería de producción, además del ensamblaje de ambas piezas para su respectiva presentación.

FASE IV: CREACION DEL MODELO COMPUTARIZADO DEL DISPOSITIVO CALENTADOR BASADO EN LA INDUCCION ELECTROMAGNETICA EMPLEANDO LA HERRAMIENTA COMSOL MULTIPHYSICS

En la última fase de la presente investigación se realizó una simulación mediante la herramienta "Software COMSOL Multiphysic", con los parámetros y variables ya previamente obtenidas de la fase anterior, esto con el objetivo de ayudara a determinar mediante una visión más concreta la generación de temperatura de la bobina, el cambio de temperatura en la tubería, así como su gradiente de temperatura y la fase térmica,

POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población

Parella y Martins (2008), que la población es: "un conjunto de unidades de las que desea obtener información sobre las que se va a generar conclusiones" (p.83). Por otro lado Arias (2012) define como "un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación" (p.81).

Como también Risquez y Col (2002), "La población es el conjunto total finito o infinito de elementos o unidades de observación que se consideran en un estudio, es decir, que significa el universo de la investigación sobre la cual se pretenden generalizar los resultados. Por otra parte, esta población debe estar constituida por características o estratos que le permitan distinguir los sujetos uno de los otros"

Tomando en cuenta lo descrito por las autores, se toma que la población

para la investigación es “Todos los equipos para calentar el crudo en pozo”

Muestra

En el caso de Palella y Martins (2008), definen la muestra como: "una parte o el subconjunto de la población dentro de la cual deben poseer características de la manera más exacta posible" (p.93).

Por otra parte, la muestra es la que puede determinar la problemática ya que de allí se generan los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso. Según Tamayo, T. y Tamayo, M (2006), certifica que la muestra " es el grupo de organismos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico" (p.38)

En conclusión, la muestra seleccionada para esta investigación es “Prototipo basado en el calentamiento por inducción electromagnética”

TÉCNICAS APLICADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

Según, Arias (2006: 53), “las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información”. Son ejemplos de técnicas, la observación directa, la encuesta y la entrevista, el análisis documental, de contenido, entre otros.

- ✓ **Revisión Documental:** en opinión de Bavaresco (2002, Pag 26,27) “la investigación documental constituye prácticamente la investigación que da inicio a casi todas las demás por cuanto permite un conocimiento previo o bien del soporte documental o bibliográfico vinculado al tema, objeto de estudio, conociendo los antecedentes y quien han escrito sobre el tema”.

Esta técnica incide en la investigación realizada, sirviendo de apoyo para el conocimiento y desarrollo previo en función a las bases teóricas,

funcionabilidad, parámetros y diseño, para la elaboración de gráfica y dimensional del mecanismo.

- ✓ **Observación**, la observación es un proceso sistemático que permite a quien lo realice detectar particularidades dentro de un proceso o contexto determinado. La observación es también un proceso empleado en diversos campos del que hacer investigativo. De acuerdo con Goetz y Le Compte (1988), favorece de igual forma la labor de cualquier persona que realiza funciones de supervisión, ya que le permite, desde una posición independiente y detallada, reconstruir las características del fenómeno o sujeto en estudio.

La presente técnica ayuda en la presente investigación a determinar mediante cálculos, diseño y simulación o también puede ser descrito como “Calculo, Prueba y Análisis” si el diseño elaborado cumple con su función principal, además de la determinación si el dispositivo causa una falla, para posteriormente corregirla.

INSTRUMENTOS Y MATERIALES APLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

En el desarrollo de la investigación, es de suma importancia destacar las herramientas o instrumentos que sirvieron como ayuda para la determinación y recolección de datos, algunos de estas fueron: lápiz, archivos de notas, calculadora, Software SolidWorks, Software COMSOL Multiphysics y Microsoft Excel.

Análisis y Discusión de los Resultados de la Investigación.

El presente capítulo se relaciona con la discusión y análisis de los resultados obtenidos, que corresponden al Diseño de un Accesorio para Tuberías de Producción Empleadas en la Extracción de Crudos Extra pesados venezolanos, donde fueron planteados objetivos específicos que ayudaron al cumplimiento del Trabajo Especial de Grado.

Resultado de la Primera Fase:

- 1) Recopilar información sobre los diversos sistemas de transferencias de calor.**

Nombre del Documento	Autor(a)	Aportación a la Investigación
Análisis técnico económico de la tecnología del transporte de crudo pesado calentamiento por inducción electromagnética para el crudo castilla usando simulador de procesos HYSYS	Daniel Alfonso Cáceres Maldonado	El documento tuvo gran redundancia en el desarrollo de la investigación dado como aporte a las principales conceptos del calentamiento inductivo descrito en el marco teórico
Caracterización de la viscosidad y su comportamiento en los procesos térmicos aplicados en yacimientos	Rodriguez J, Ortiz A, Figuera R, Orfila L, Molina J.W, Molina JD, Molina F	Mediante este documento, sirvió de ayuda para la comprensión y demostración de procesos térmicos en crudos pasados y extra pesados

de crudos pesados		
Aplicación de ondas electromagnéticas para aumentar el factor de recobro en el campo Tambocha	Holguin Cruz Orly Damian	La finalidad del documentos ante la presente investigación fue el proporcionar la idea mediante el uso del simulador COMSOL Multiphysics para el empleo de diseño inductivo
Manual de calentamiento por inducción	Don Loveless, Raymond L. Cook, Valery Rudnev	El documento proporciono las ecuaciones o cálculos que se tomaron en cuenta para la elaboración del modelo matemático, a su vez complemento el marco teórico
Fundamentos del calentamiento inductivo	Chester A. Tudbury	Igual que el anterior, pero solo se tomó los parámetros de conductividad térmica en tuberías huecas
Diseño y construcción de bobinas de calentamiento para hornos de inducción Electromagnética	González, Winder Aller, José M Lászlo, Sajó B Horvart, Julio W	No tuvo gran redundancia, ya que poseía los mismos conceptos y cálculos correspondientes al documento que tiene por nombre “Manual de calentamiento por inducción”
Propuesta de un laboratorio didáctico de tratamiento térmico superficial por inducción	Carlos Josue Deras Acevedo	Para este documento se tomó en cuenta el cálculo del voltaje efectivo, las perdidas térmicas y de la eficiencia eléctrica
Recuperación térmica del	Douglas A. Alvarado	Mediante el documento se tomó el

curdo	y Carlos Banzer S	cálculo de la densidad del crudo, gravedad específica y de la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura
Fundamentos de transferencia de calor y propiedades termodinámicas	Chromalox Technical Documents	Se obtuvo del documento las definiciones de las propiedades térmicas que se tomaron en cuenta para el desarrollo de la investigación, las cuales se pueden observar en el marco teórico
Instituto Politécnico “Inducción Electromagnética 4º Año”	Ignacio Tabares, Juan Farina	No dedujo gran importancia, ya que algunas planeamientos teóricos y matemáticos ya se habían tomado de otras investigaciones, por ende no produjo un cambio favorable para la investigación

Tabla 3: Revisión Bibliográfica

Fuente: Elaboración Propia

Resultado de la Segunda Fase:

- 2) **Obtener las variables y parámetros a considerar en el diseño del dispositivo calentador.**

Parámetros térmicos	Formula
Perdidas térmicas	$P_{pt} = 3,74 * 10^{-4} * \frac{L_c}{\log_{10} \left(\frac{d_c}{d_w} \right)}$
Eficiencia térmica obtenida	$\eta_{Term} = \frac{P_w}{P_w + P_{pt}}$

Transferencia de calor obtenida	$Q_c = \frac{(T_f - T_i)}{\frac{(r_2 - r_1)}{K * A_{lm}}}$
---------------------------------	--

Tabla 4: Propiedades Térmicas

Fuente: Elaboración Propia

Parámetros de la tubería de producción	Formula
Masa de la tubería	$m = \frac{\pi * ((D_e^2) - (D_i^2))}{4} * L * \rho$
Diferencia de diámetros	$\frac{T}{a_o}$
Radio interno de la tubería	$\frac{D_i}{2}$
Radio externo de la tubería	$\frac{D_e}{2}$
Área logarítmicamente media	$A_{lm} = \frac{2\pi * L * (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$
Volumen de la Tubería	$V = \pi * h * (R^2 - r^2)$

Tabla 5: Parámetros de la Tubería de Producción

Fuente: Elaboración Propia

Variables de crudo	Formula
Temperatura requerida	$T_f - T_i$
Masa del crudo	$m = \rho * v$
Cantidad de calor requerida	$Q = c * m * (T_f - T_i)$
Gravedad Especifica	$\gamma_o = \frac{141,5}{131,5 * ^\circ API}$
Viscosidad de Crudo a Cierta Temperatura	$\ln(\mu) = \ln(a) + \frac{b}{T}$
Densidad del Crudo	$\rho = \frac{m}{v}$
Calor Especifico	$Cp = \frac{0,388 + 0,00045 * T}{\sqrt{\gamma_o}}$

Tabla 6: Propiedades del Crudo

Fuente: Elaboración Propia

Parámetros eléctricos	Formulas
Potencia requerida	$P_w = m * c * \frac{T_f - T_i}{t}$
Resistencia obtenida	$R = \frac{\phi * L}{A}$
Corriente requerida	$I = \frac{P_w}{R}$
Campo magnético obtenido	$B = \mu * \frac{N}{L} * I$
Inductancia obtenida	$L = \frac{N^2 * \phi * A}{l}$
Flujo magnético	$\omega = (B_o - B_f) * A$
Voltaje inducido obtenido	$E = -N * \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
Resistencia equivalente	$R_{2eq} = \frac{\pi * \rho * a_o}{L * d} * K_{R2} * N^2$
Eficiencia eléctrica obtenida	$\eta_{Elec} = \frac{1}{1 + \frac{d_c + \sigma_c}{d_w + \sigma_w} * \sqrt{\frac{\phi_c}{\phi * \phi_w}}}$
Eficiencia total obtenida	$\eta_T = \eta_{Term} + \eta_{Elec}$
Potencia efectiva obtenida	$P_c = \frac{P_w}{\eta_T}$

Tabla 7: Parámetros Eléctricos

Fuente: Elaboración Propia

Parámetro de la bobina	Formula
Área transversal	$A = \frac{\pi * ((D_e)^2 - (D_i)^2)}{4}$
Numero de vueltas necesarias	$N = \frac{L_t}{\frac{d_b}{2}}$
Profundidad de referencia (Bobina)	$\sigma = 3160 * \sqrt{\frac{\phi}{\phi * f}}$

Tabla 8: Parámetro de la Bobina

Fuente: Elaboración Propia

Resultados de la Tercera Fase:

3) Dimensionar el dispositivo calentador basado en la inducción electromagnética.

Para la determinación de este fase, se determina la temperatura deseada mediante un análisis con respecto a la viscosidad del crudo. Teniendo la viscosidad optima y la temperatura necesaria, se realiza los diferentes cálculos para su modelado. Para el modelado se toma en cuenta la utilización de la Herramienta de diseño “Software SolidWorks”, dicha herramienta se especializa en la producción de modelos digitales así como el diseño de piezas y planos, ya sean eléctricos o mecánicos. En esta nos permite la elaboración de dibujos en 2D y modelados en 3D, lo cual se hace beneficiosos a la hora de la construcción del mecanismo, ya que podemos comprobar mediante dimensiones reales, su forma estructural y medidas.

3.1) Modelo Matemático Aplicado

4.1.2) Propiedades del Crudo

Propiedades del Curdo			
Propiedad	Valor	Undades	Obsevaciones
Densidad del Crudo	1008,5531	Kg/m3	
Viscosidad del Crudo	765	cp	
Temperatura en Pozo	594	°K	
Calor especifico del Curdo	0,652515426	J/Kg**K	
Garvedad API	8,8	N/A	
Gravedad Especifica	1,0085531	N/A	

Tabla 9: Propiedades del Crudo

Fuente: Elaboración Propia a Partir de datos obtenidos del Campo

3.1.1) Cálculo de la viscosidad con respecto a la temperatura requerida:

Datos:

Viscosidad 1: 765 cp, 134 °F

Viscosidad 2: 1700 cp, 60 °F

Viscosidad Deseada: ¿? cp, 400 °F

Formula General:

$$\ln(\mu) = \ln(a) + \frac{b}{T}$$

- Se sustituye ambas viscosidades y temperaturas en la ecuación:

Viscosidad 1:

$$\ln(765) = \ln(a) + \frac{b}{134+460}$$

Viscosidad 2:

$$\ln(1700) = \ln(a) + \frac{b}{60+460}$$

- Despejando “Ln(a)” en la primera Viscosidad:

$$\ln(a) = \ln(765) + \frac{b}{594}$$

- Sustituyendo el valor de “Ln(a)” en la Viscosidad 2:

$$\ln(1700) = \ln(765) - \frac{b}{594} + \frac{b}{520}$$

- Factor Común “b”:

$$\ln(1700) = \ln(765) + b \left(-\frac{1}{594} + \frac{1}{520} \right)$$

- Despejando “b” nos queda:

$$b = \frac{\ln(1700) - \ln(765)}{\left(-\frac{1}{594} + \frac{1}{520} \right)} \quad b = 3333,014287$$

- Sustituyendo el valor de “b” en la Viscosidad 2:

$$\ln(a) = \ln(1700) + \frac{3333,014287}{520} \quad \ln(a) = 1,028740671$$

- Sustituyendo los valores de “a” y “b”:

$$\ln(\mu) = \ln(1,028740671) + \frac{3333,014287}{860} \quad \ln(\mu) = 4,90$$

➤ Despejando “ μ ”:

$$\mu = e^{4,90} \quad \mu = 135$$

3.1.2) Cálculo para la temperatura requerida

Datos:

Temperatura en Pozo: 520 °K

Temperatura Deseada: 860 °K

Formula General:

$$T_f - T_i$$

➤ Sustitución de los Valores:

$$860 - 520 = 266 \text{ °K}$$

3.1.3) Cálculo de la cantidad de calor necesaria para el crudo

Datos:

C: 0,652515426 kg/m³

m: ¿?

T: 266 °K

Formula General:

$$Q = c * m * (T_f - T_i)$$

➤ Calculando la masa:

$$m = \rho * v \quad m = 1008,5531 \text{ kg/m}^3 * 765 \text{ cp} \quad m = 8,080748091 \text{ Kg}$$

➤ Sustituyendo Valores:

$$Q = 0,652515426 \text{ kg/m}^3 * 8,080748091 \text{ Kg} * 266 \text{ °K}$$

$$Q = 1402,568201 \frac{J}{kg} * ^\circ K$$

3.1.4) Cálculo de la potencia necesaria

Datos:

Masa de la tubería: ¿?

C: 473 J/kg* °K

T: 266 °K

ρ : 7801 kg/m³

L: 9 m

De: 0,1016 m

Di: 0,0958596 m

Formula General:

$$P_w = m * c * \frac{T_f - T_i}{t}$$

➤ Calculo para la masa de la tubería:

$$m = \frac{\pi * ((D_e^2) - (D_i^2))}{4} * L * \rho \quad m = \frac{\pi * ((0,1016m^2) - (0,0958596m^2))}{4} * 9m * 7801kg/m^3$$

$$m = 407,9180769 Kg$$

➤ Calculando la Potencia Requerida:

$$P_w = 407,9180769 Kg * 473 J/kg^\circ K * \frac{266^\circ K}{900 seg}$$

$$P_w = 57026,04067 V$$

3.1.5) Cálculo de la resistencia eléctrica (Cobre)

Datos:

\emptyset : 0,0000000169 Ω *m

L: 2 m

A: ¿?

De: 0,0127m

Di: 0,00889m

Formula General:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

➤ Calculando el Área del alambre:

$$A = \frac{\pi \cdot (D_e)^2 - (D_i)^2}{4} \quad A = \frac{\pi \cdot ((0,0127m)^2 - (0,00889m)^2)}{4}$$

$$A = 6,46052 \times 10^{-5} m^2$$

➤ Calculado la Resistencia del alambre:

$$R = \frac{0,0000000169 \Omega \cdot m \cdot 2m}{6,46052 \times 10^{-5} m^2} \quad R = 0,000523178 \Omega$$

3.1.6) Cálculo para la corriente necesaria

Datos:

Pw: 57026,04067 V

R: 0,000523178 Ω

Formula General:

$$I = \frac{P_w}{R}$$

➤ Sustituyendo:

$$I = \frac{57026,04067 V}{0,000523178 \Omega} \quad I = 108999377,7 A$$

3.1.7) Cálculo del número de vueltas (Bobina)

Datos:

L: 2 m

Da: 0,0127 m

Formula General:

$$N = \frac{L_t}{\frac{d_b}{2}}$$

➤ Sustituyendo:

$$N = \frac{\frac{2 \text{ m}}{0,0127 \text{ m}}}{2} \quad N = 78,74015748$$

3.1.8) Cálculo del campo magnético

Datos:

N: 79

L: 2 m

I: 108999377,7 A

φ : 0,00000125662 H/m

Formula General:

$$B = \frac{\varphi * N * I}{L}$$

➤ Sustituyendo:

$$B = \frac{0,00000125662 \text{ H/m} * 79 * 108999377,7 \text{ A}}{2 \text{ m}} \quad B = 120156,7943 \text{ Tesla}$$

3.1.9) Calculo del voltaje inducido

Datos:

N: 79

$\Delta\omega$: ¿?

Δt : 900 seg

Bo: 0 Tesla

Bf: 120156,7943 Tesla

A: 0,012667687 m

Formula General:

$$E = -N * \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

➤ Calculando Flujo Magnético

$$\omega = (B_o - B_f) * A \quad \omega = (0 - 120156,7943) * 0,012667687 \text{ m}$$

$$\omega = -1522,10866 \text{ Tm}^2$$

➤ Calculando Voltaje Inducido:

$$E = -79 * \frac{-1522,10866 \text{ Tm}^2}{900 \text{ seg}} \quad E = 133,1678617 \text{ V}$$

3.1.10) Calculado de la inductancia

Datos:

N: 79

A: 0,012667687 m²

L: 2 m

φ : 0,00000125662 H/m

Formula General:

$$L = \frac{N^2 * \varphi * A}{l}$$

Sustituyendo:

$$L = \frac{79^2 * 0,00000125662 \text{ H/m} * 0,012667687 \text{ m}^2}{2 \text{ m}} \quad L: 4,93474 * 10^{-5} \text{ Hz}$$

3.1.11) Cálculo de la resistencia equivalente (Tubería de Producción)

Datos:

σ : ¿?

a_o : 0,1016 m

ρ : 7801 Kg/m³

\varnothing : 0,0000000143 Ω *m

Tg: 0,0057404 m

K_{R2} : ¿?

φ : 0,000126 H/m

L: 9 m

f : 200000 Hz

N: 79 m

Formula General:

$$R_{2eq} = \frac{\pi * \rho * a_o}{L * \sigma} * K_{R2} * N^2$$

- Calculando la Profundad de Penetración:

$$\sigma = 3160 * \sqrt{\frac{\phi}{\varphi * f}} \quad \sigma = 3160 * \sqrt{\frac{0,0000000143 \Omega * m}{0,000126 \frac{H}{m} * 200000 \text{ Hz}}}$$

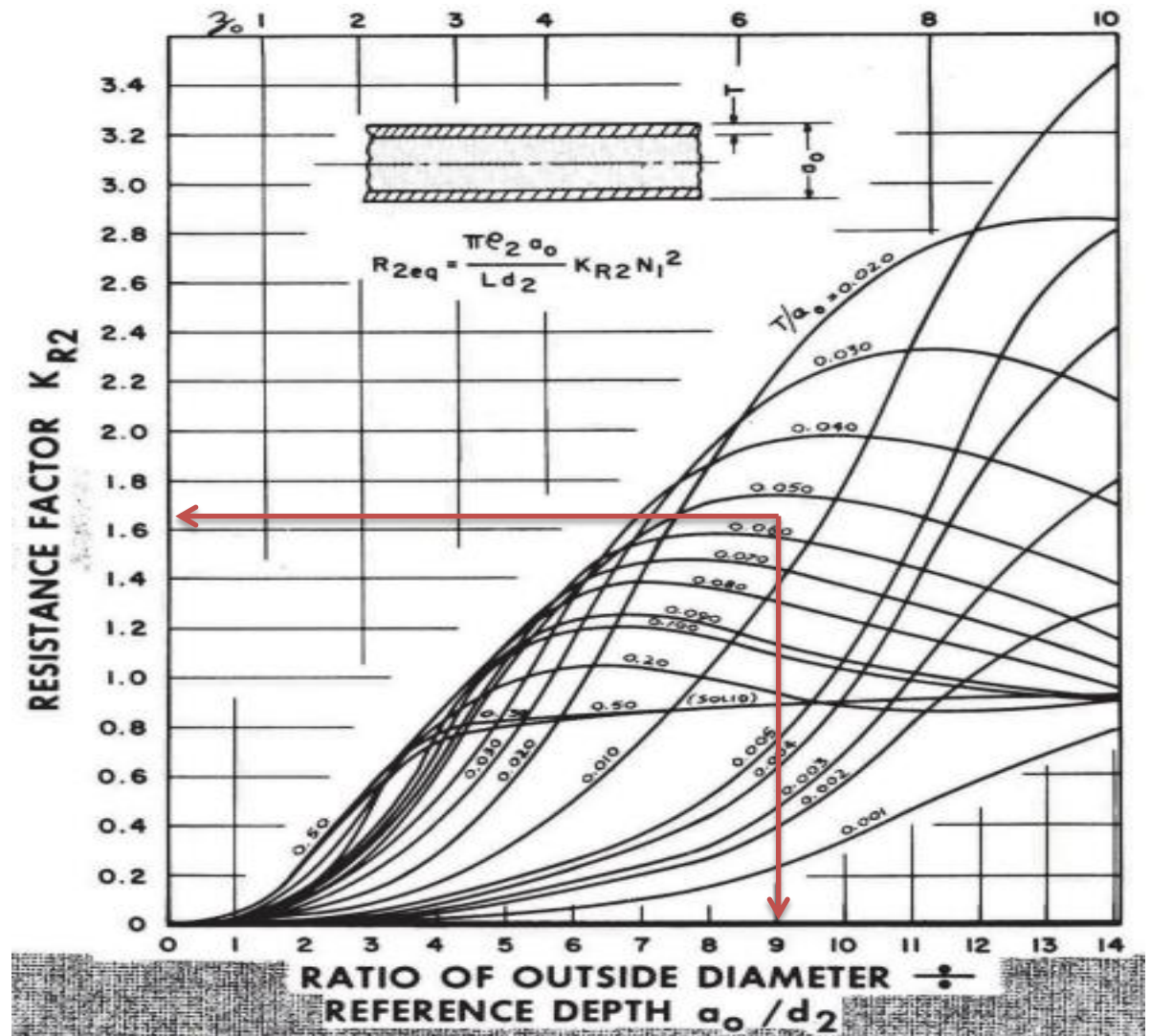
$$\sigma = 0,075275705$$

- Obteniendo K_{R2} :

- Calculando $\frac{Tg}{a_0}$

$$\frac{0,0057404 \text{ m}}{0,1016 \text{ m}} = 0,0565$$

Mediante el siguiente Grafico se Obtiene K_{R2} :



Grafica 1: Factor Resistencia

Fuente:

Con el resultado obtenido en T_g/a_o , se ubica en el eje de las "x" entre la curva 0,050 y 0,060, luego se realiza una transición hacia el eje de las "y" para tomar el valor de K_{R2} , en este caso se tomó el valor de 1,62

➤ Calculando R_{2eq} :

$$R_{2eq} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot a_o}{L \cdot \sigma} \cdot K_{R2} \cdot N^2 \quad R_{2eq} = \frac{\pi \cdot 0,1016 \text{ m} \cdot 7801 \text{ Kg/m}^3}{9 \text{ m} \cdot 0,0565} \cdot 1,62 \cdot 79^2$$

$$R_{2eq} = 3,76309 \times 10^{-5}$$

3.1.13) Cálculo de la eficiencia eléctrica

Datos:

d_b : 0,127 m	\varnothing_t : 0,0000000143 $\Omega \cdot \text{m}$:
d_t : 0,1016 m	σ_b : ¿?	
\varnothing_b : 0,0000000169 $\Omega \cdot \text{m}$	σ_t : 0,075275705	
φ_t : 0,000126 H/m	φ_b : 0,00000125662 H/m	

Formula General:

$$\eta_{Elec} = \frac{1}{1 + \frac{d_b + \sigma_b}{d_t + \sigma_t} \sqrt{\frac{\varnothing_b}{\varphi \cdot \varnothing_t}}}$$

➤ Calculando la Profundidad de Penetración de la Bobina

$$\sigma = 3160 * \sqrt{\frac{\varnothing}{\varphi * f}} \quad \sigma = 3160 * \sqrt{\frac{0,0000000169 \Omega \cdot \text{m}}{0,00000125662 \text{ H/m} * 200000 \text{ Hz}}}$$

$$\sigma = 0,819433007$$

➤ Calculando la eficiencia Eléctrica:

$$\eta_{Elec} = \frac{1}{1 + \frac{0,127 \text{ m} + 0,819433007}{0,1016 + 0,075275705} * \sqrt{\frac{0,0000000169 \Omega * \text{m}}{0,000126 \text{ H/m} * 0,0000000143 \Omega * \text{m}}}}$$

$$\eta_{Elec} = 0,001925977$$

3.1.14) Cálculo de la eficiencia térmica

Datos:

$$L: 9 \text{ m} \quad P_w: 57026,04067 \text{ V}$$

$$d_t: 0,127 \text{ m} \quad P_{pt}: ?$$

$$d_b: 0,1016 \text{ m}$$

Formula General:

$$\eta_{Term} = \frac{P_w}{P_w + P_{pt}}$$

➤ Calculando Pérdidas Térmicas

$$P_{pt} = 3,74 * 10^{-4} * \frac{L_c}{\log_{10}\left(\frac{d_c}{d_w}\right)} \quad P_{pt} = 3,74 * 10^{-4} * \frac{2m}{\log_{10}\left(\frac{0,1016m}{0,127m}\right)}$$

$$P_{pt} = 0,0077518501$$

➤ Calculando la Eficiencia Térmica:

$$\eta_{Term} = \frac{57026,04067 \text{ V}}{57026,04067 \text{ V} + 0,0077518501} \quad \eta_{Term} = 0,999999865$$

3.1.15) Cálculo de la eficiencia total del sistema

Datos:

$$\eta_{Term}: 0,999999865$$

$$\eta_{Elec}: 0,001925977$$

Formula General:

$$\eta_T = \eta_{Term} + \eta_{Elec} \quad \eta_T = 0,999999865 + 0,001925977$$

$$\eta_T = 1,001925 = 100\%$$

3.1.16) Cálculo de la potencia efectiva

Datos:

$$P_w: 57026,04067 \text{ V}$$

$$\eta_T: 1,001925$$

Formula General:

$$P_c = \frac{P_w}{\eta_T}$$

➤ Sustituyendo:

$$P_c = \frac{57026,04067 \text{ V}}{1,001925} \quad P_c = 56916,4286 \text{ V}$$

3.1.17) Cálculo de la transferencia de calor por conducción (Tubería de Producción)

Datos:

$$r_1: 0,0478298 \text{ m}$$

$$K: 43 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$L: 9 \text{ m}$$

$$r_2: 0,0508 \text{ m}$$

$$A_{lm}: ?$$

Formula General:

$$Q_c = \frac{(T_f - T_i)}{\frac{(r_2 - r_1)}{K \cdot A_{lm}}}$$

➤ Calculando el Área Logarítmica Media

$$A_{lm} = \frac{2\pi \cdot L \cdot (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad A_{lm} = \frac{2\pi \cdot 9\text{m} \cdot (0,0508\text{m} - 0,0478298\text{m})}{\ln \frac{0,0508\text{m}}{0,0478298\text{m}}}$$

$$A_{lm} = 6,425899618 \text{ m}^2$$

➤ Calculando la Transferencia de calor

$$Q_c = \frac{(T_f - T_i)}{\frac{(r_2 - r_1)}{K \cdot A_{lm}}} \quad Q_c = \frac{(860 - 594)}{\frac{(0,0508m - 0,0478298m)}{43J/KgK \cdot 6,425899618 m^2}} \quad Q_c = 25607776,4 \frac{J}{Kg \cdot K}$$

Mediante los valores obtenidos, se presenta la siguiente tabla:

Parametros Obtenidos de una Bobina con 2 metros de Longitud	
Parametros	Resultados
Potencia Requerida	57026,04067 V
Cantidad de Calor	1402,568201 J/Kg*K
Resistencia Electrica	0,000523178 Ω
Corriente	10899377,7 A
Numero de Vueltas	79
Campo Magnetico	120156,7943 Tesla
Inductancia	0,0000493474 Hz
Voltaje Inducido	133,1678 V
Resistencia Equivalente	0,0000376309 Ω
Eficiencia Termica	0,001925977
Eficiencia Electrica	0,99999984
Eficiencia Total	1,00192584
Potencia Efectiva	56916,42866 V
Conductividad Termica	25607776,4 J/Kg.K

Tabla 10: Parámetros de una Bobina de 2 metros de Longitud

Fuente: Elaboración Propia

Ahora se procede a realizar todos los cálculos propuestos, pero implementado una bobina con una longitud de 6 metros, donde da como resultado los siguientes parámetros:

Parametros Obtenidos de una Bobina con 6 metros de Longitud	
Parametros	Resultados
Potencia Requerida	57026,04067 V
Cantidad de Calor	1402,568201 J/Kg*K
Resistencia Electrica	0,001596533
Corriente	36333125,91 A
Numero de Vueltas	237
Campo Magnetico	120156,7943 Tesla
Inducctancia	0,0001484042 Hz
Voltaje Inducido	399,503585 V
Resistencia Equivalente	0,000338678 Ω
Eficiencia Termica	0,001925977
Eficiencia Electrica	0,99999984
Eficiencia Total	1,00192584
Potencia Efectiva	56916,42866 V
Conductividad Termica	25607776,4 J/Kg.K

Tabla 11: Parámetros de una Bobina de 6 metros de Longitud

Fuente: Elaboración Propia

Dando como resultado la elección de la Bobina de 2 metros, se consideró este diseño ya que mediante los parámetros obtenidos se visualiza que el voltaje inducido en la bobina es menor en comparación a la bobina de 6 metros. Además se toma en cuenta el ahorro del material utilizado, ya que la bobina de 2 metros necesita solo de 79 vueltas, mientras que la bobina de 6 metros requiere 237 vueltas.

También se considera implementar dos Bobinas de 2 metros en la tubería de producción, ubicadas en cada extremo de dicha tubería. Se toma esta decisión para obtener una conductividad térmica uniforme, por ende eficiente en la totalidad de la tubería de producción.

3.2) Dimensionamiento 2D

3.2.1) Dimensionamiento 2D de la Bobina Inductiva

Para el dimensionamiento en 2D, se realizaron planos del embobinado, esto para detallar desde una mejor perspectiva en el diseño y medidas que se deben tomar para el modelado 3D.

Como anteriormente se especifica para el diseño del dimensionamiento de la bobina inductiva, se le anexaran medidas correspondiente para su óptimo desempeño y funcionamiento.

Las medidas previstas para el diseño de la bobina inductiva son:

Medidas de la Bobina

Medida	Dato	Unidades
Diámetro Externo	0,127	Metros
Diámetro Interno	0,1143	Metros
Longitud	2	Metros

Tabla 12: Medidas de la Bobina

Fuente: Elaboración Propia

Medidas del Alambre y del Embobinado

Medida	Dato	Unidad
Diametro Externo	0,0127	Metros
Diametro Interno	0,00762	Metros

Espesor Radial o Separación de cada vuleta	0,00001	Metros
Grado de Utilidad o Factor Espacio	0,90	Procentaje

Tabla 13: Mediadas del Alambre de Cobre

Fuente: Elaboración Propia

A continuacion se presenta los planos de la bobina inductiva:

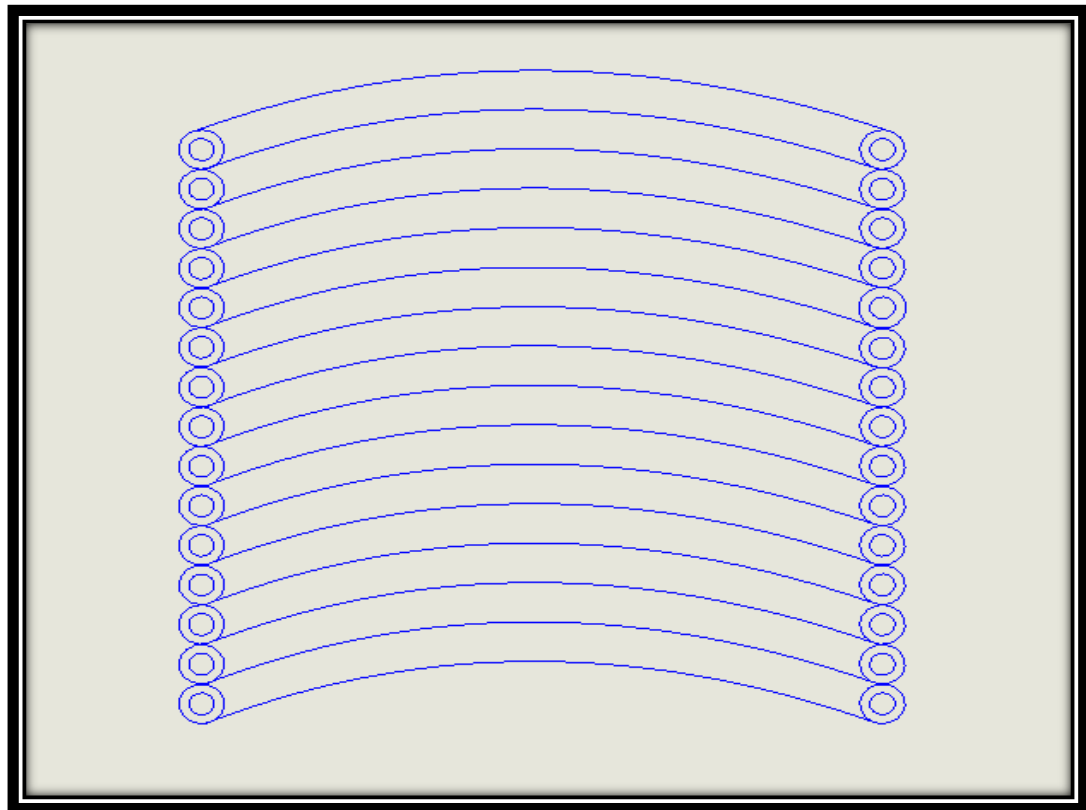


Figura 2: Bobina Inductiva 2D

Fuente: Elaboración Propia

En este plano Figura 2 se puede detallar desde una perspectiva frontal de la bobina inductiva donde esta dividida por la mitad. En esta se puede

visualizar el diametro interno y externo del alambre, asi como su enrollado.

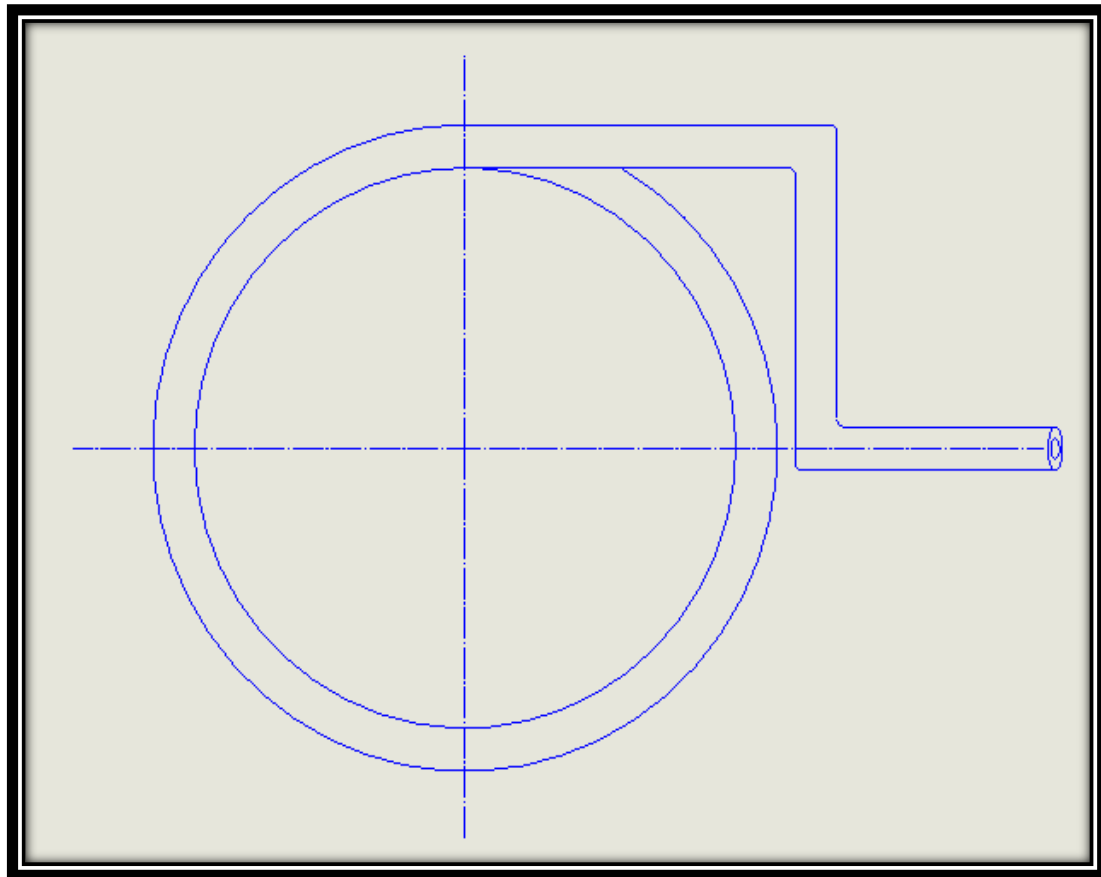


Figura 3: Bobina Inductiva "Vista Superior" 2D

Fuente: Elaboración Propia

Para el presente plano Figura 3, se presenta desde la perspectiva superior de la bobina inductiva, con respecto a este plano se determina los diámetros de la bobina, ya sea el interno como el externo. Además de visualizar el diseño que tendrá la conexión entre el alambre primario y el alambre secundario.

3.2.2) Dimensionamiento 2D del ensamblaje de ambas piezas.

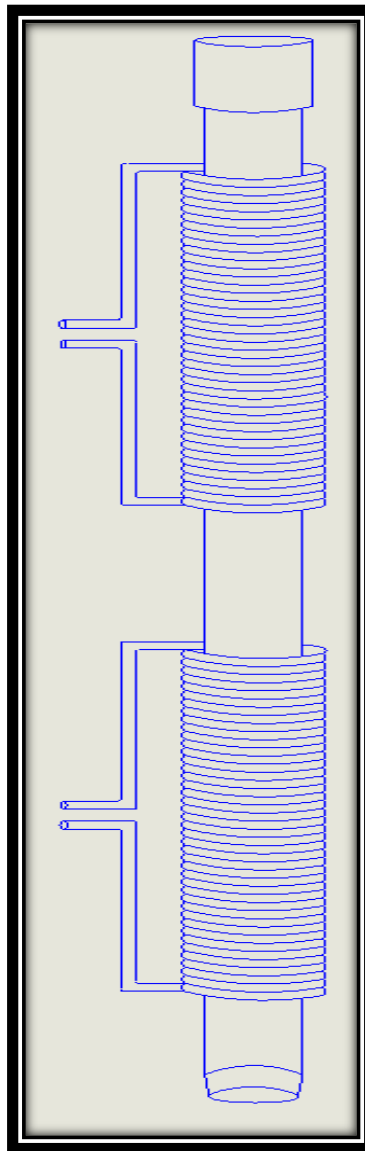


Figura 4: Ensamblaje de las Piezas

Fuente: Elaboración Propia

Mediante el plano Figura 4 que se presenta, se visualiza el acoplamiento de la bobina inductiva con la tubería de producción, se tomo en base la implementacion de dos embobinados en la tubería de producción, esto para que el crudo mantenga la temperatura suministrada de manera continua y con

baja disminucion de dicha temperatura.

3.3) Modelado 3D.

3.3.1) Modelado 3D de la Bobina Inductiva.

En la construccion del diseño de la bobina en 3D, se toman las medidas ya seleccionadas. Como material de la bobina se eligio el Cobre

A continuacion se muestran el embobinado ya diseñado en 3D, con sus respectivas vistas:

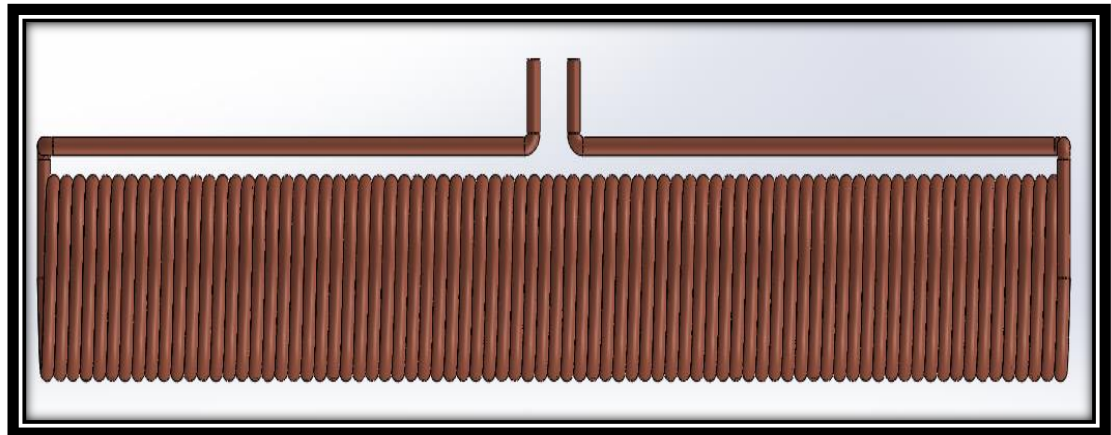


Figura 5: Bobina 3D "Vista Horizontal"

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la siguiente figura 5 se muestra desde una perspectiva Alzado orientada horizontalmente. La bobina diseñada contiene una numero de vueltas de "79", con un diametro exterior 5 pulgadas y diametro interior de 4,5 pulgadas.

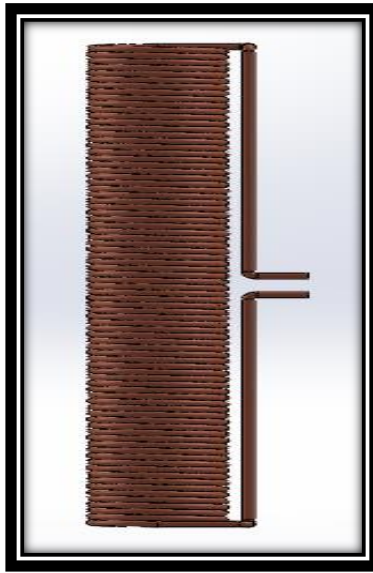


Figura 6: Bobina 3D "Vista Vertical"

Fuente: Elaboración Propia

De igual manera para la figura 6, se toma la vista Alzado pero orientada verticalmente.

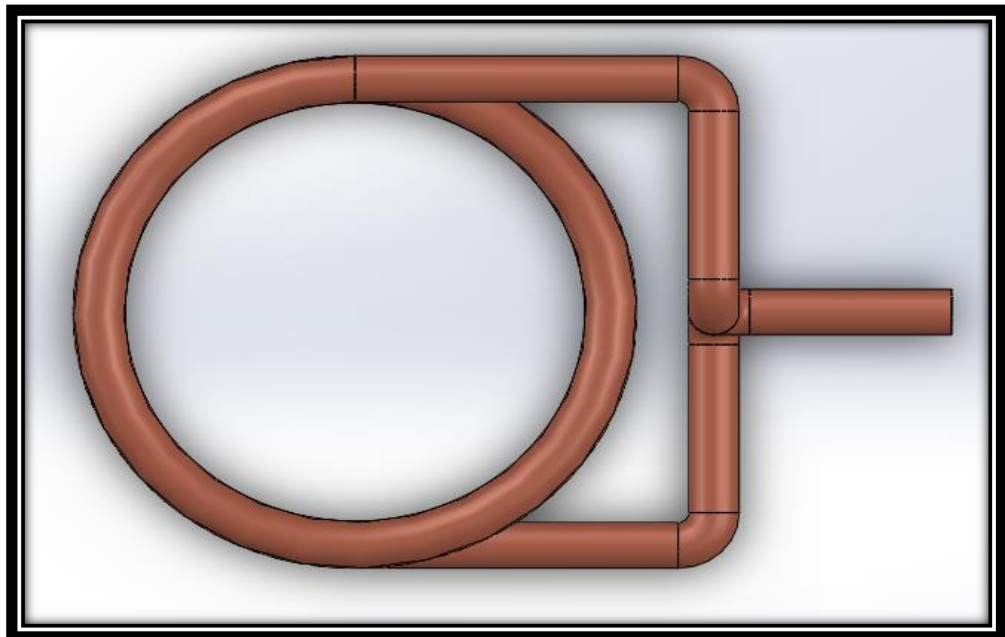


Figura 7: Bobina 3D "Vista Superior"

Fuente: Elaboración Propia

Para la figura 7, se toma la vista de planta, donde se puede visualizar como ya se había dibujado en el figura 2, determinando la dirección y conexión de los alambres de la bobina.

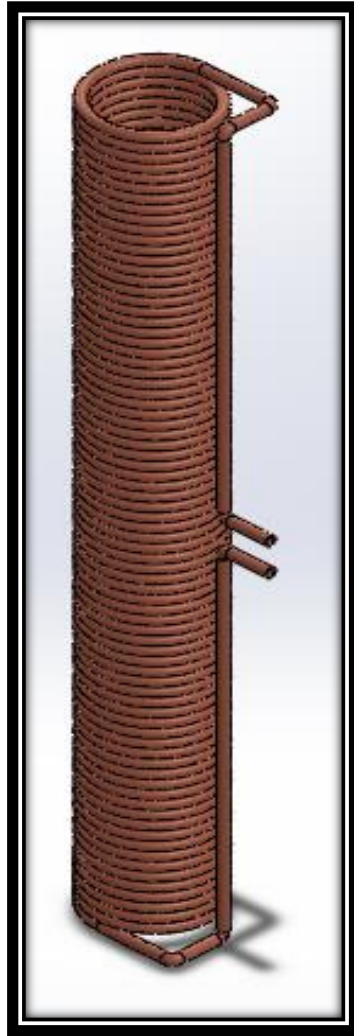


Figura 8: Bobina 3D Perspectiva Completa

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 8, se muestra la bobina inductiva, la vista visualizada es una perspectiva seleccionada independientemente del diseñador, con el objetivo de proporcionar una vista enfocada en la conectividad de los

alambres.

3.3.2) Modelado 3D de la Tubería de Producción.

Para la elaboración del diseño de la tubería de producción se tomaron medidas reales de una tubería. Mediante el material elegido para la tubería, se determinó el Acero al Carbono.

A continuación las medidas seleccionadas para el diseño 3D de la tubería de Producción:

Medida	Dato	Unidades
Longitud	9	Metros
Diametro Externo	0,1016	Metros
Diametro Interno	0,0958596	Metros
Grosor de la Pared	0,0057404	Metros

Tabla 14: Medidas de la Tubería de Producción

Fuente: Elaboración Propia

Concluido con las medidas seleccionadas se da a la elaboración del modelado o diseño 3D de la tubería de producción, dando como resultado las siguientes figuras:



Figura 9: Tubería de Producción 3D "Vista Horizontal"

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la figura 9 se muestra la tubería ya modelada en su versión 3D, mediante la vista horizontal de la pieza.

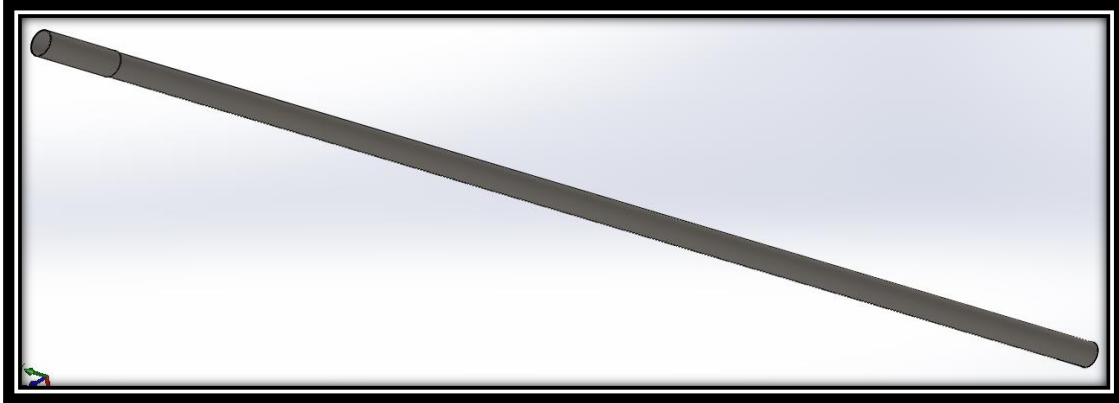


Figura 10: Tubería de Producción 3D "Vista Alzado"

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la figura 10, la tubería es representada por la vista alzado con un ángulo de inclinación 45°

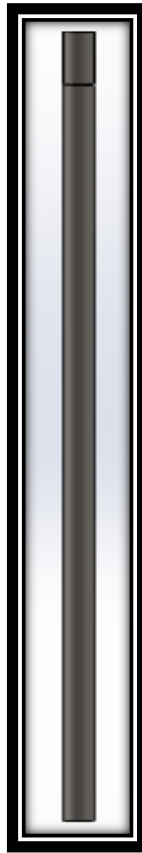


Figura 11: Tubería de Producción 3D "Vista Vertical"

Fuente: Elaboración Propia

Para la figura 11, se muestra la tubería desde la vista alzado con una perspectiva horizontal.

3.3.3) Modelado 3D del ensamblaje de ambas piezas

En el ensamblaje de ambas piezas, como se vio anteriormente se diseño individualmente la bobina inductiva y por otro lado la la tubería de producción, mediante la elaboración de un nuevo plano se presenta la opción de “ensamblaje de piezas”, donde podemos elegir la pieza principal (que en este caso se selecciono la tubería de producción), a la cual se le añadira o anexara uno o varios accesorios (para el caso del accesorio se le añadieron dos bobinas inductivas).

A continuación se muestran las diversas figuras, con diferentes vistas o perspectivas de las piezas ya ensambladas:

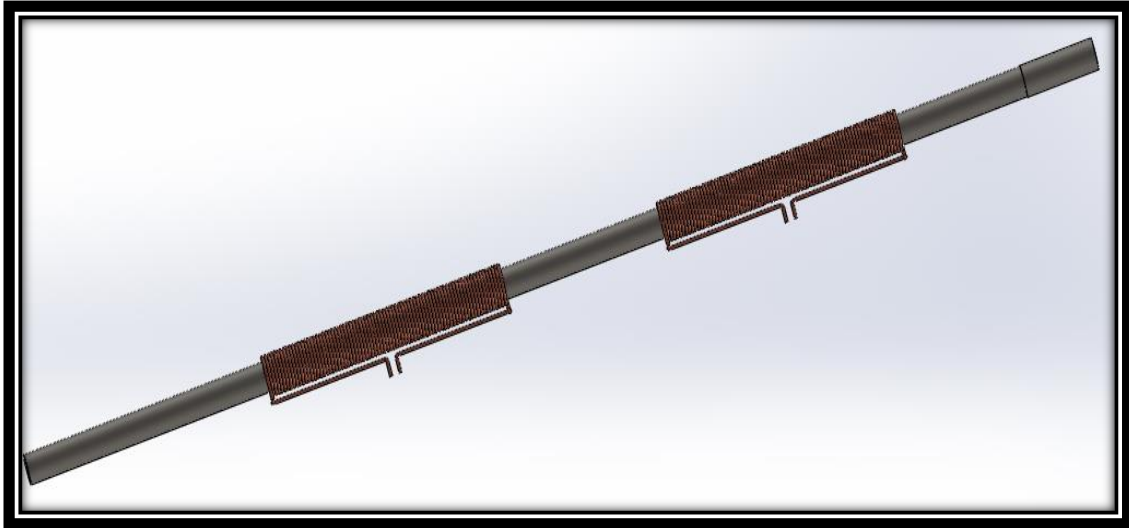


Figura 12: Ensamblaje 3D de las Piezas

Fuente: Elaboración Propia

En la presente figura 12 se muestra la pieza completa desde el punto de vista alzado, con un grado de inclinación de 45° .

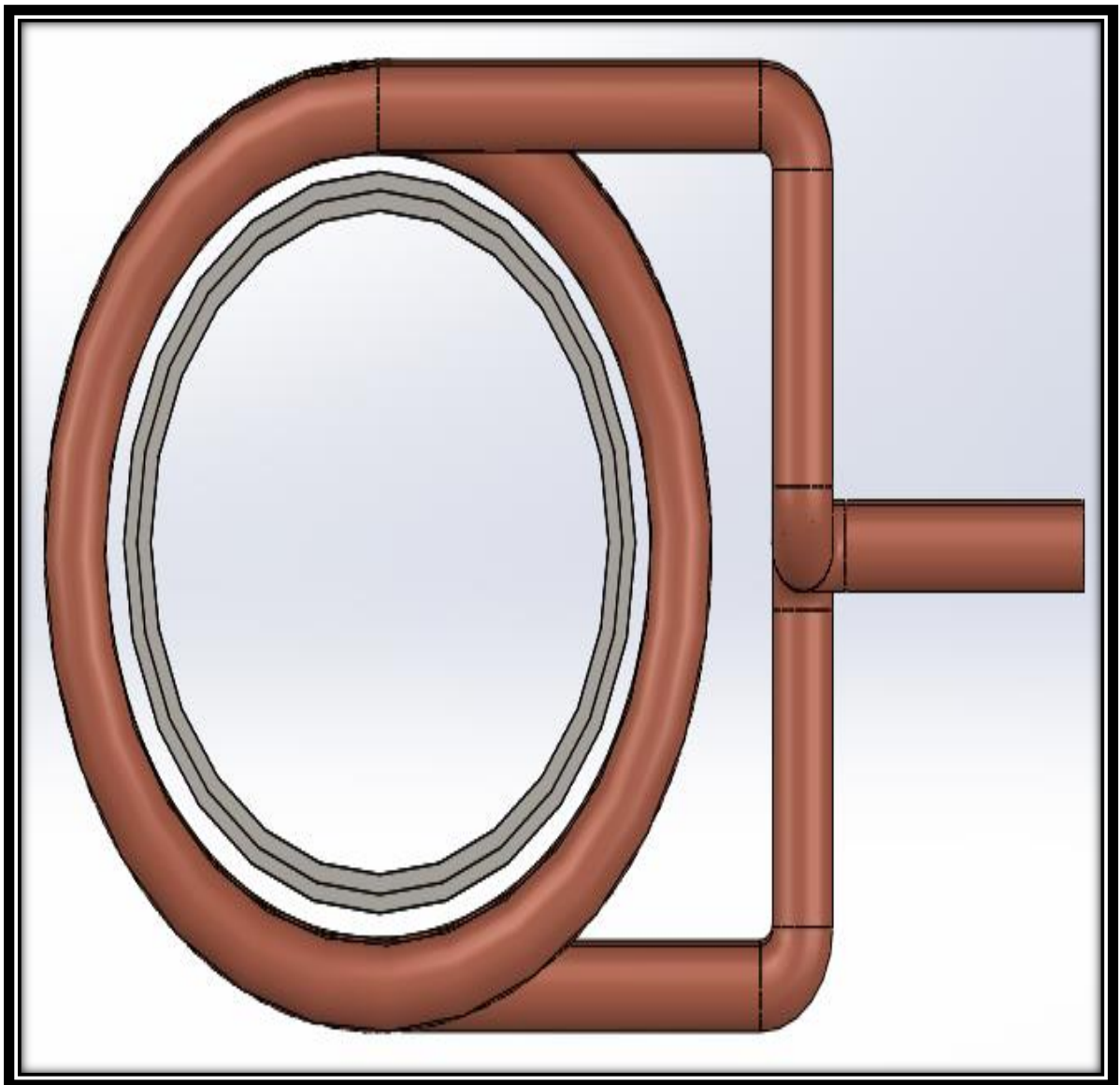


Figura 13: Ensamblaje de las Piezas 3D "Vista Superior"

Fuente: Elaboración Propia

Para la figura 13 como comunmente se ha ido mostrando en las figuras 2 y en la figura 6 se toma esta perspectiva de vista ahora tomando ambas piezas .

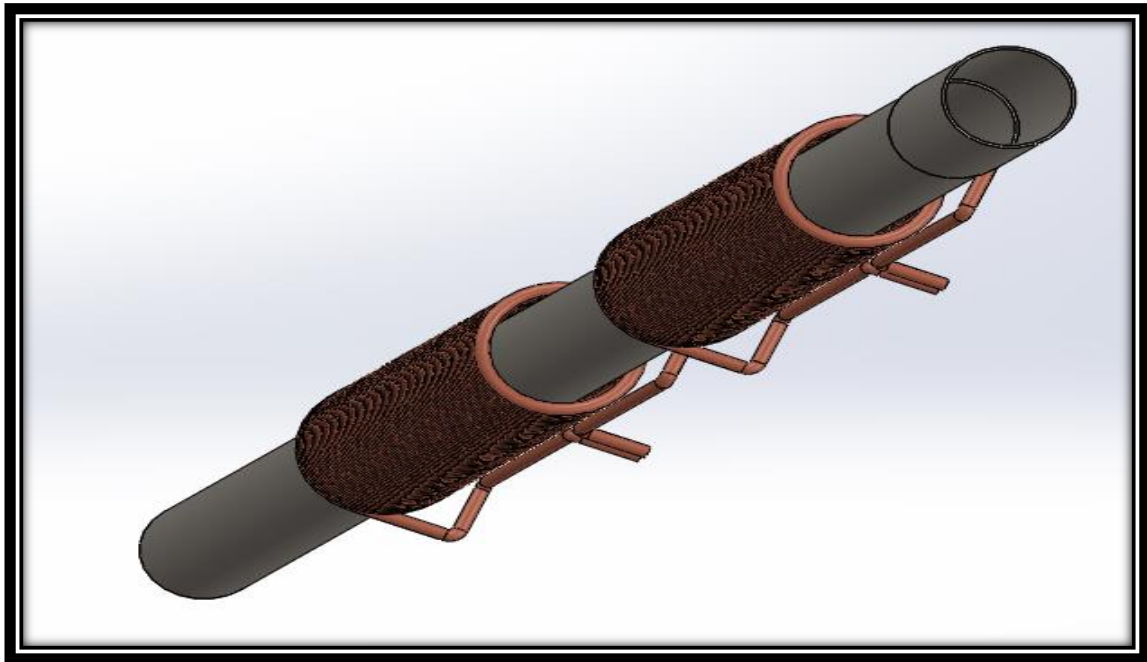


Figura 14: Ensamblaje 3D “Vista Manual”

Fuente: Elaboración Propia

Para concluir con las presentes figuras, la figura 14 la cual su vista fue elegida por la proporción del diseñador, para un mejor plano del ensamblaje diseñado.

Resultados del cuarto objetivo específico:

4) Creación del modelo computarizado del dispositivo.

4.1) Propiedades y Parámetros

Mediante las siguientes propiedades las cuales fueron utilizadas para el dimensionamiento del dispositivo, de igual manera se utilizaran las variables obtenidas para la implementación del modelo computarizado.

4.1.1) Propiedades de la Tubería de Producción

Propiedades de la Tubería de Producción			
Propiedad	Valor	Unidades	Obsevaciones
Tipo de Acero	N/A	N/A	Acero al Carbono
Longitud	9	Metros	
Diametro Externo	0,1016	Metros	
Diametro Interno	0,0958596	Metros	
Groso de la pared	0,0057404	Metros	
Densidad del Material	7801	Kg/m ³	
Resistividad Electrica	1,43E-08	Ω *m	
Permeabilidad Relativa	0,000126	H/m	
Conductividad Termica	43	W/m**K	
Calor Especifico	473	J/Kg**K	
Conductividad Electrica	69930069,93	S/m	
Volumen de la tubería	0,008012219	m ³	

Tabla 15: Propiedades de la Tubería de Producción

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3) Propiedades de la Bobina

Propiedades de la Bobina			
Propiedad	Valor	Unidades	Observaciones
Material	N/A	Cobre	N/A
Permeabilidad Relativa	1,25662E-06	H/m	N/A
Densidad del Material	8960	Kg/m ³	
Resistividad Electrica	1,69E-08	Ω*m	
Longitud	2	Metros	N/A
Diametro Externo del alambre	0,0127	Metros	N/A
Diametro Interno del Alambre	0,00889	Metros	N/A
Conductividad Electrica	58,1086	S/m	
Diametro de la Bobina	0,127	Metros	N/A
Tiempo de Operación	900	seg	
Area de la Bobina	0.012667687	Metros	

Tabla 16: Propiedades de la Bobina

Fuente: Elaboración Propia

4.3) Simulación mediante el Software COMSOL Multiphysics

Para la realización de la simulación mediante la herramienta “Software COMSOL Multiphysics”, se planteó el siguiente proceso:

4.3.1) Elección Dimensionamiento del espacio:

Se eligió la dimensión 2D Aximetrico, esto ya que facilita el diseño geométrico de las piezas sin tener que reestructurar el dispositivo ya previamente elaborado. Al ser una versión antigua del Software, al tratar de modelar en 3D el dispositivo, no modela con exactitud, por ende se eligió dicha dimensión.

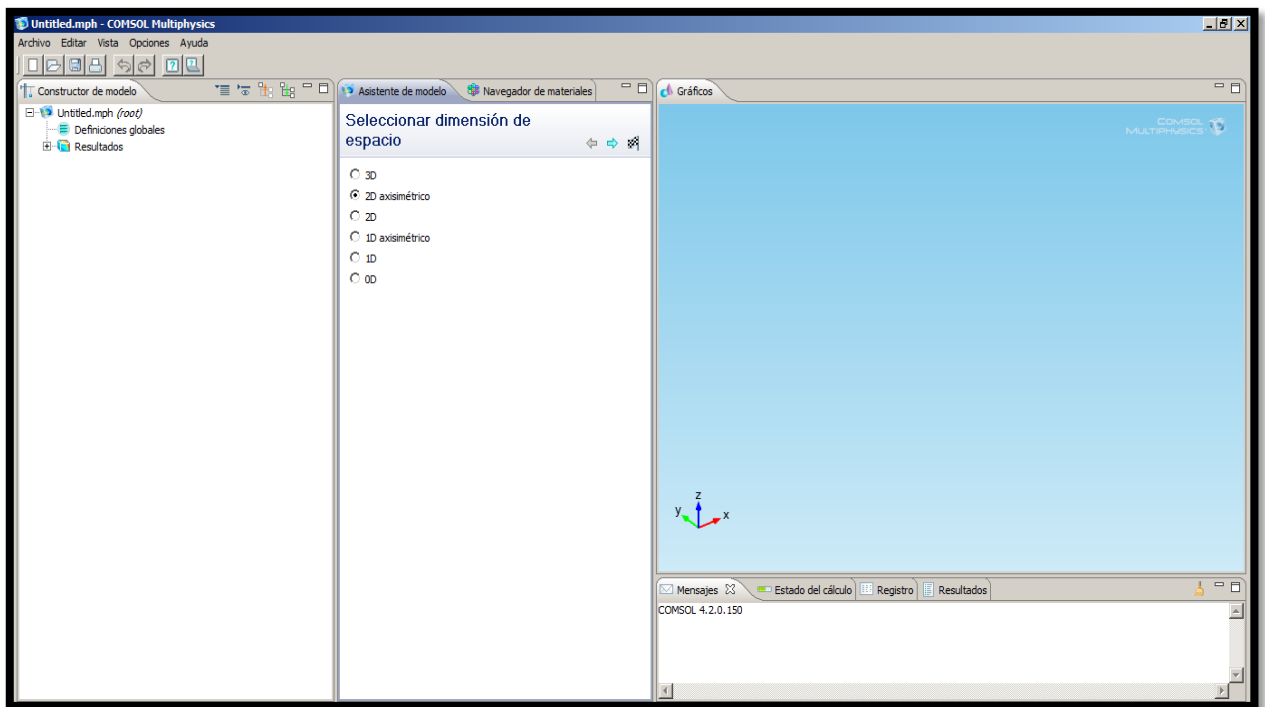


Figura 15: Elección del Dimensionamiento

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2) Eleccion de las Fisicas que se desean simular

En este apartado seleccionamos que tipo de fisica deseamos emplear en el diseño y que peviamente sera simulado. En esta selección debemos ser precavidos y elegir con precision las fisicas que nuestro dispositivo interpretara, para la simulacion se tomaron tres fisicas, las cuales son:

- ✓ Calentamiento por induccion, principal y fundamental ya que de ella nos permitira la generacion de la energia.
- ✓ Campo Magnetico, fisica ideal para la simulacion de embobinados, dando la generacion del campo electrico, flujo de calor y las propiedades de la bobina inductiva
- ✓ Transferencia de calor, en esta fisica se selecciona que pieza es la que suministrara el calor generado.

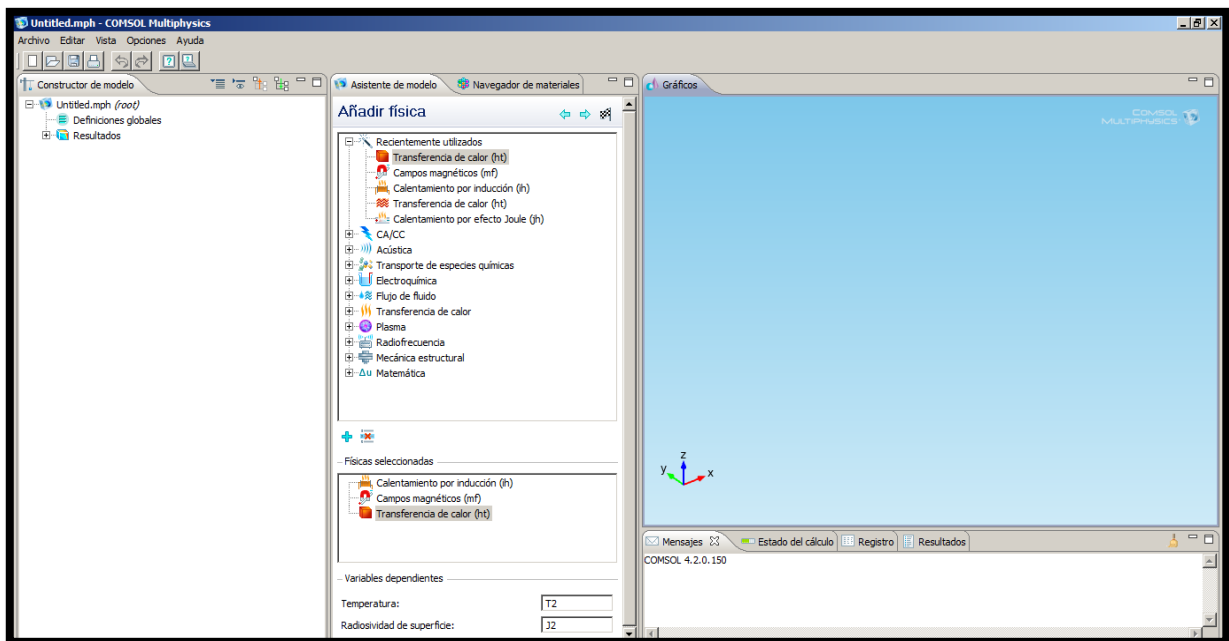


Figura 16 Elección de las Físicas:

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3) Selecciona el estudio

Para el estudio de la simulación se eligió “Frecuencia Transcendente o Transcendente”, esto ya que los valores de los materiales suele variar con respecto a la temperatura y del tiempo de funcionamiento del dispositivo, a su vez para obtener una simulación más precisa y concreta para los resultados:

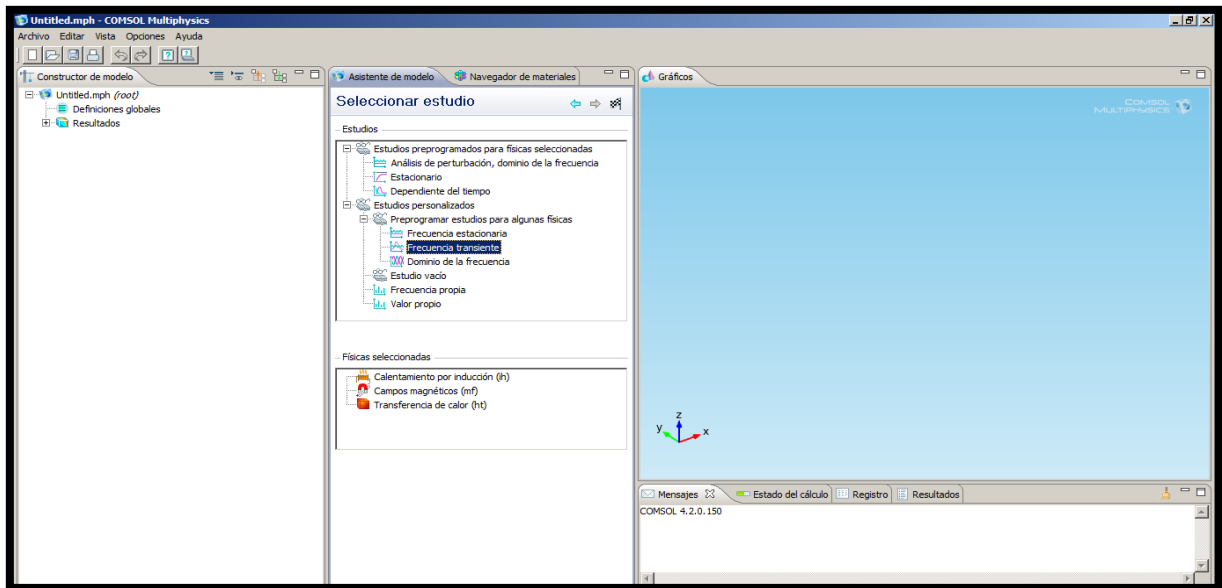


Figura 17: Elección del Estudio

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4) Se realiza el diseño geométrico de dispositivo

A continuación se visualizan el diseño del dimensionamiento geométrico, para la tubería y los embobinados:

Donde se utilizaron 2 rectángulos, el primero rectángulo para la tubería de producción con las medidas ya anteriormente seleccionadas y el segundo rectángulo para el área o espacio externo del dispositivo, el cual se toma como Aire, con respecto a dicho espacio se modificó la temperatura, anexándole la temperatura de pozo, es decir, $594\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($320\text{ }^{\circ}\text{C}$)

También se añadió 2 círculos que serán los embobinados, cada círculo en diferentes longitudes y con el mismo diámetro, junto a esto mediante la operación "Matriz o Vector" seleccionamos los círculos para que realice la función de copiado, añadimos las tantas cantidad de veces se desea que copie dicho círculo y a que tanta separación estará de uno con otro.

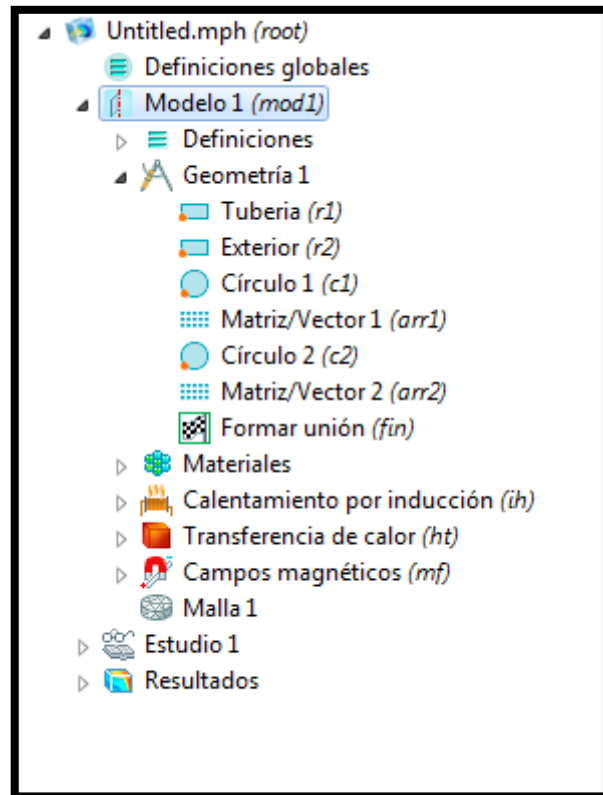


Figura 18: Construcción Geométrica de las Piezas

Fuente: Elaboración Propia

Ya previamente seleccionado las geometrías del diseño y añadiéndole sus respectivas medidas, nos queda de la siguiente manera:

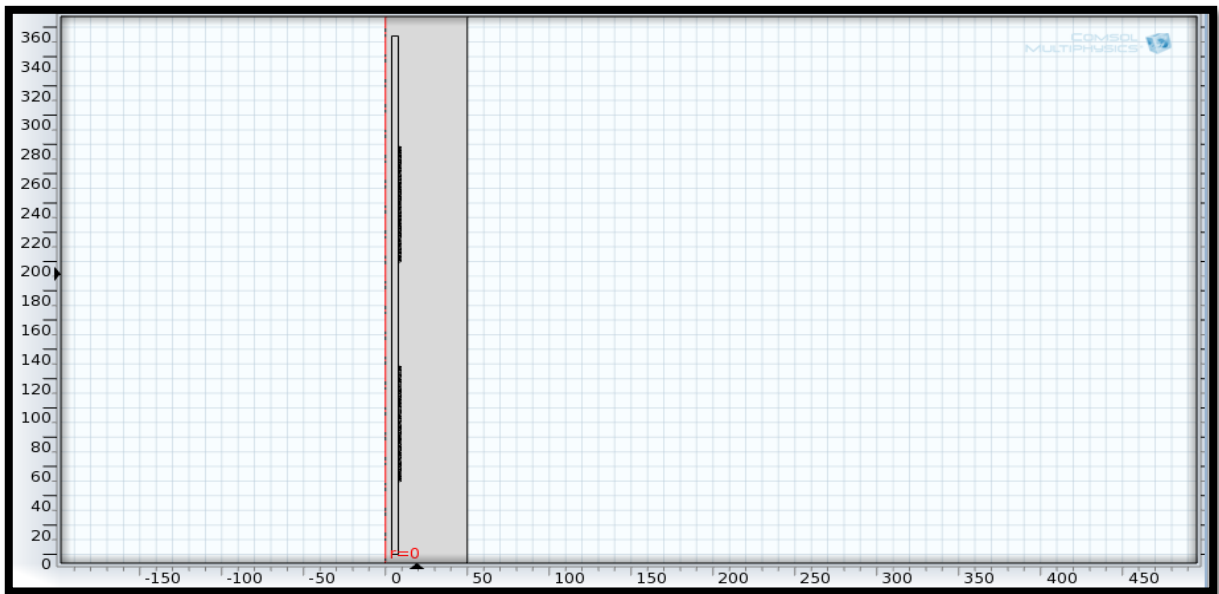


Figura 19: Diseño Construido "Vista Completa"

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Figura 19 se puede observar el diseño completo, donde el rectángulo de mayor longitud es el exterior de la pieza, el rectángulo más delgado es la tubería de producción y los círculos de menor diámetro son las bobinas de inducción.

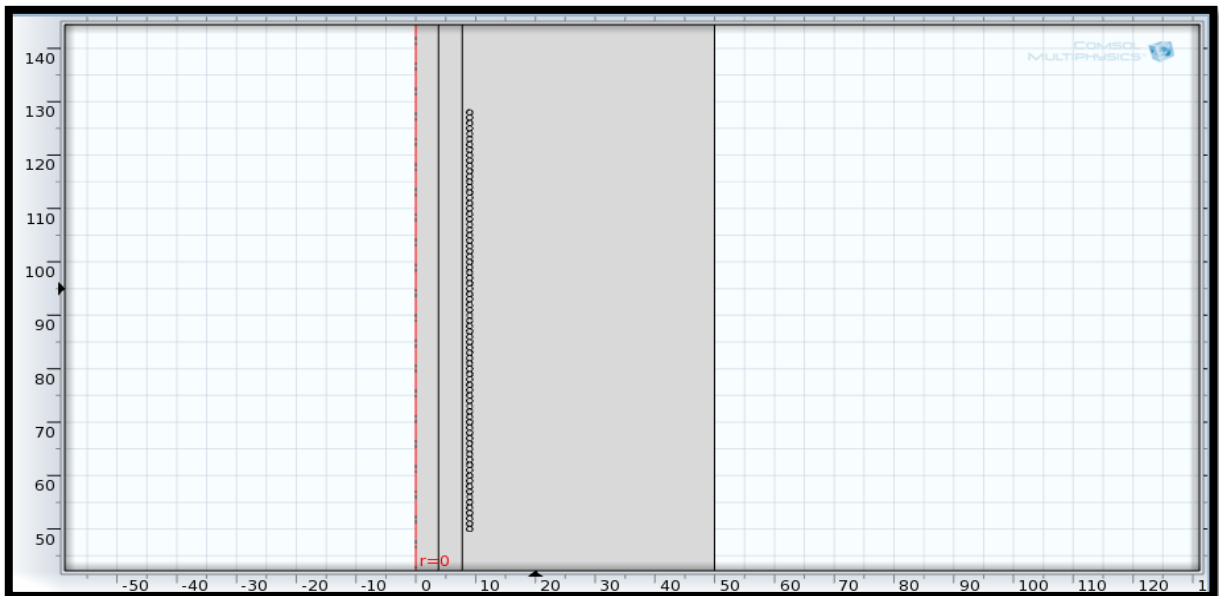


Figura 20: Diseño Construido "Vista Cercana de las Piezas"

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 20 se muestra desde una perspectiva mas cercana la parte de la tuberia (Rectangulo) y la bobina de induccion (Circulos)

4.3.5) Selección de los materiales

En la eleccion de los materiales, se eligieron:

- ✓ Copper (Cobre), este para los dos embobinados.
- ✓ Air (Aire), para la parte exterior del dispositivo.

Acero al carbono, para la tuberia de produccion, este ultimo al no poseerlo el programa, se tuvo que añadirle las propiedades manualmente.

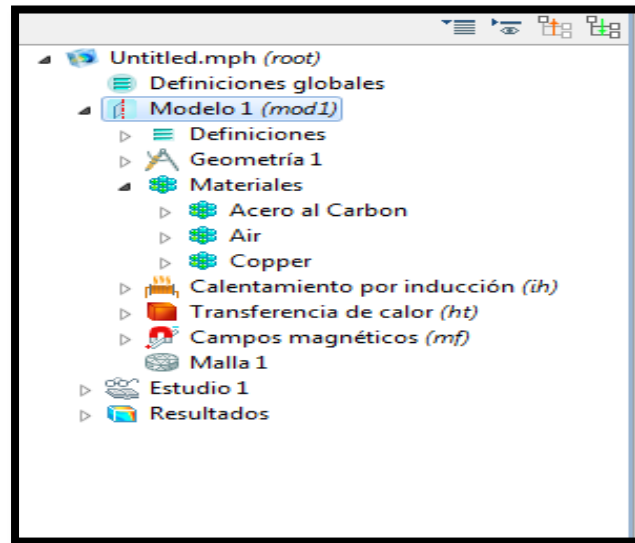


Figura 21: Selección de los Materiales

Fuente: Elaboración Propia

Para el acero al carbono el simulador pide anexar las siguiente propiedades:

Tipo de elemento: Sólido

Contenido de material

Propiedad	Nombre	Valor	Unidad	Grupo de propiedad
✓ Conductividad térmica	k	43	W/(m*K)	Básico
✓ Densidad	rho	7801	kg/m ³	Básico
✓ Capacidad térmica a presión constante	Cp	473	J/(kg*K)	Básico
✓ Conductividad eléctrica	sigma	6.9999	S/m	Básico
✓ Permitividad relativa	epsilon _r	1	1	Básico
✓ Permeabilidad relativa	mu _r	0.000126	1	Básico

Apariencia

Familia: Acero

Figura 22: Modificación de las Propiedades

Fuente: Elaboración Propia

Algunas propiedades como conductividad termica, calor especifico y la conductividad electrica varian con respecto a la temperatura, se añadio mediante la funcion de interpolación que contiene el programa, los resultados de la variacion de cada propiedad, los cuales son:

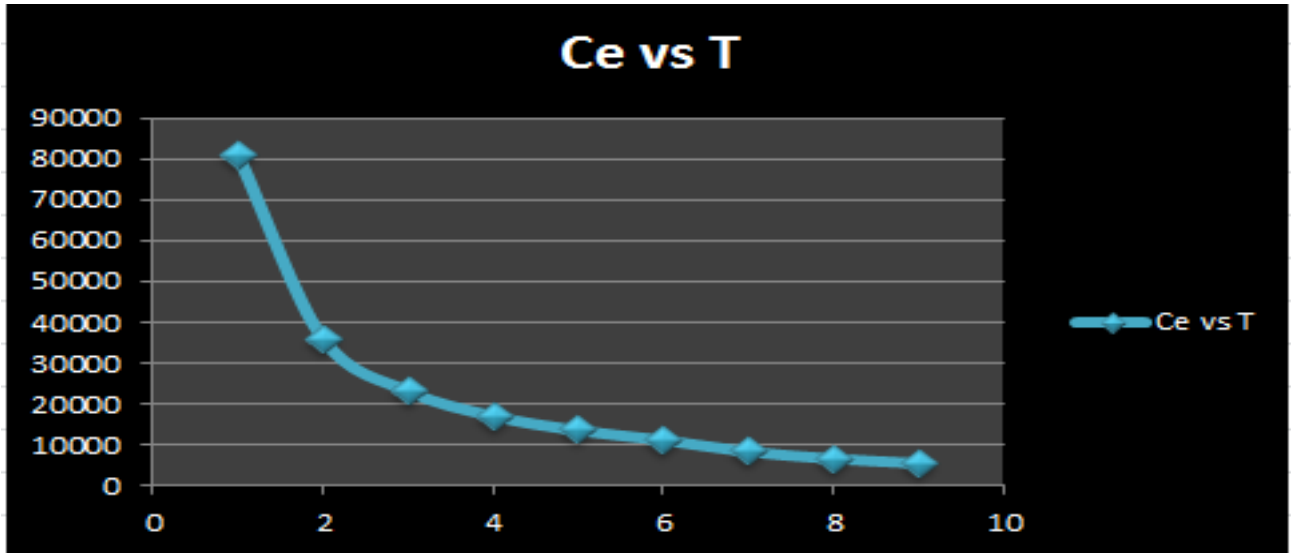
4.3.5.1) Conductividad Electrica vs Temperatura

Temperatura	Resistividad Electrica	Unidades		Temperatura	Conductividad Electrica	Unidades
100	1,23695E-05	Ω.m		100	80844,01148	S/m
200	2,78135E-05	Ω.m		200	35953,76346	S/m
300	4,32575E-05	Ω.m		300	23117,37849	S/m
400	5,87015E-05	Ω.m		400	17035,33981	S/m
500	7,41455E-05	Ω.m		500	13486,99516	S/m
600	8,95895E-05	Ω.m		600	11162,02234	S/m
800	0,000120478	Ω.m		800	8300,305036	S/m
1000	0,000151366	Ω.m		1000	6606,525265	S/m
1200	0,000182254	Ω.m		1200	5486,863078	S/m
Resistividad	Coefficiente de dilatacion lineal					
1,43E-08	10,8			20	69930069,93	S/m

Tabla 17: Conductividad Eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la siguiente grafica a mayor temperatura menor conductividad, esto pasa a lo contrario con respecto a la resistividad a mayor temperatura mayor resistividad.



Grafica 2: Conductividad Eléctrica vs Temperatura

Fuente: Elaboración Propia

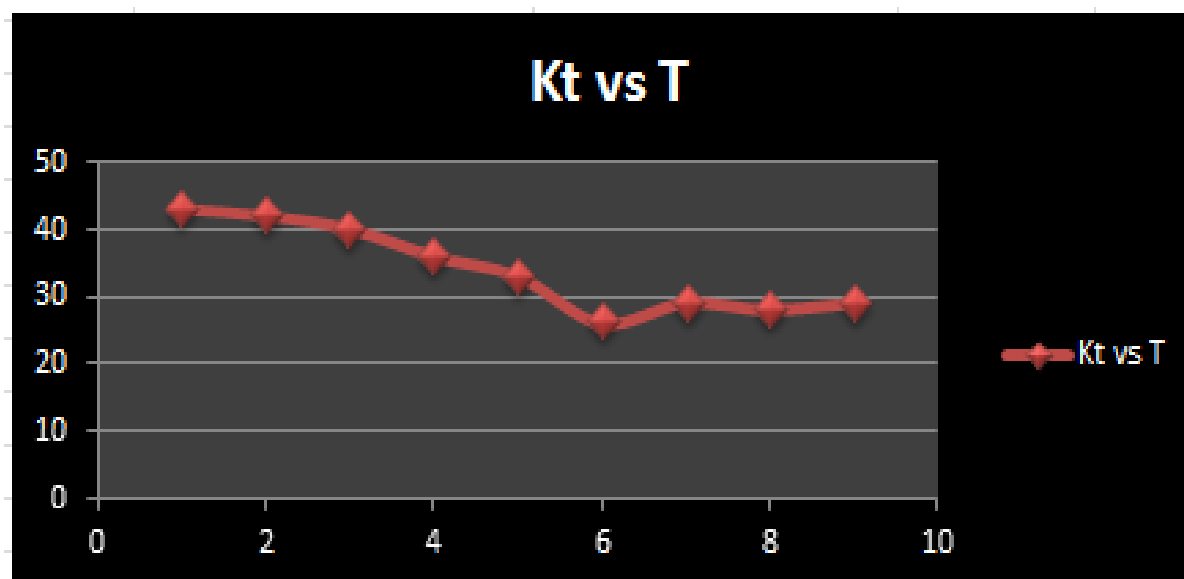
4.3.5.2) Conductividad Termica vs Temperatura

18	Temperatura	Conductividad Termica	Unidades
19	100	43	W/m K
20	200	42	W/m K
21	300	40	W/m K
22	400	36	W/m K
23	500	33	W/m K
24	600	26	W/m K
25	800	29	W/m K
26	1000	28	W/m K
27	1200	29	W/m K

Tabla 18: Conductividad Térmica

Fuente: Elaboración Propia

Para la siguiente grafica se logra deducir mediante va aumentando la temperatura la conductividad termica va disminuyendo, hasta llegar un punto que dicha conductividad comienza a ser constante.



Grafica 3: Conductividad Térmica vs Temperatura

Fuente: Elaboración Propia

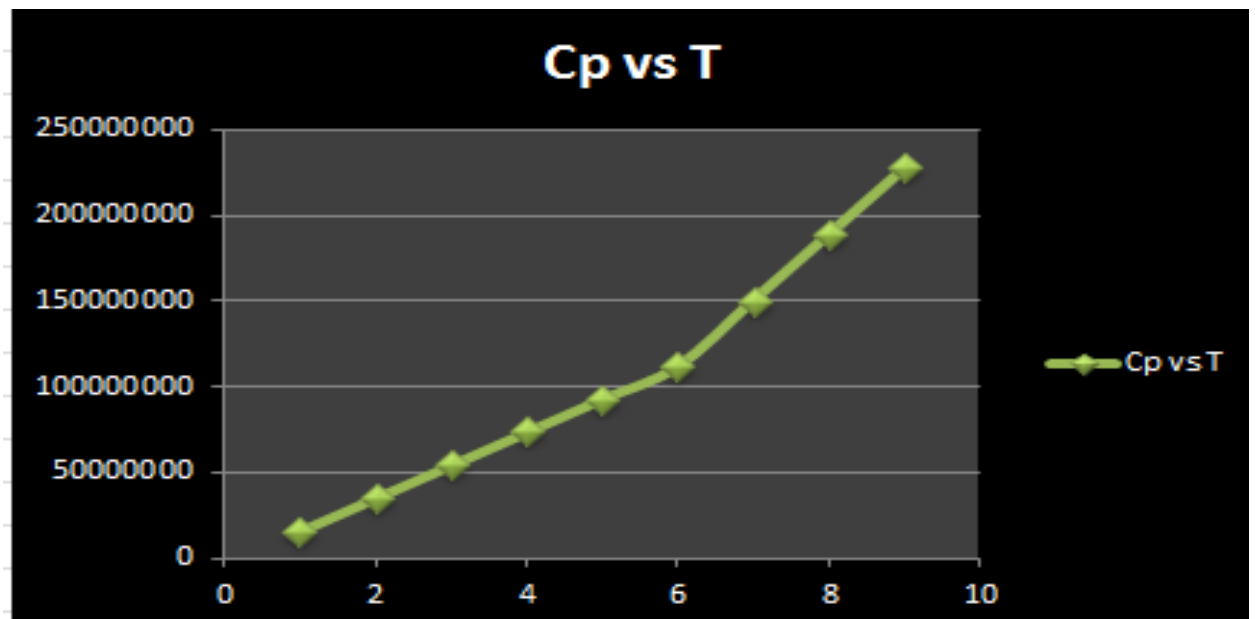
4.3.5.3) Calor Especifico vs Temperatura

Temperatura	Calor Especifico	Unidades
100	15438720	j/kg K
200	34737120	j/kg K
300	54035520	j/kg K
400	73333920	j/kg K
500	92632320	j/kg K
600	111930720	j/kg K
800	150527520	j/kg K
1000	189124320	j/kg K
1200	227721120	j/kg K
Calor especifico a 20C	473	j/kg K
Masa	408	kg

Tabla 19: Calor Especifico

Fuente: Elaboración Propia

Ahora para el calor especifico se tiene que a mayor temperatura mayor sera el calor especifico del material, cabe destacar que la masa usada para el calculo del calor especifico es el de la masa anteriormente calculada de la tuberia de produccion.



Grafica 4: Calor Especifico vs Temperatura

Fuente: Elaboración Propia

4.3.6) Se realiza el mallado del dispositivo

Es el proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes. Además de analizar los elementos finitos considerados en el modelo, este interactúa como una red de elementos interconectados. El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño ya que te identifica algún error o fallo si es que existe.

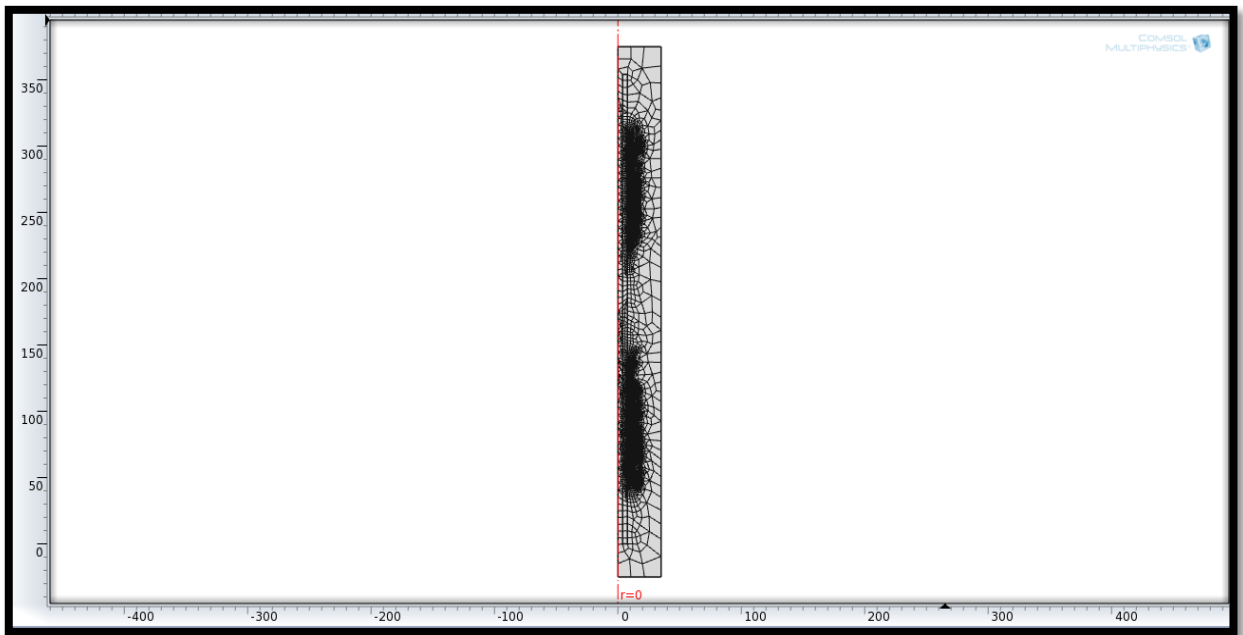


Figura 23: Ejecución del Mallado

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la figura 23 se visualiza el mallado que realiza el programa receptivamente a toda la pieza anteriormente diseñada

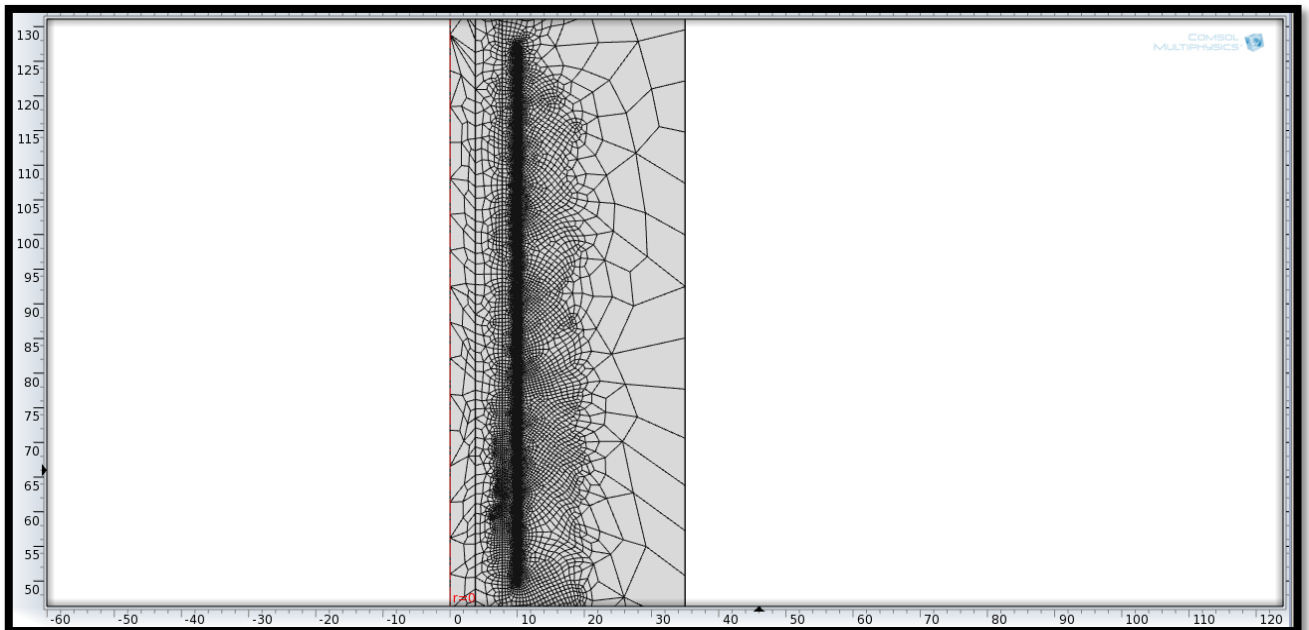


Figura 24: Ejecución del Mallado "Vista Cercana"

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 24 se realiza un acercamiento del mallado en la parte del embobinado para una mejor visualización del mismo

4.3.7) Simulación Realizada

Al tener los datos anexados del embobinado, la tubería de producción y los ajustes de las físicas seleccionadas en el simulado, se da comienzo a la ejecución del programa, el cual dio como resultado las siguientes figuras:

Como se puede visualizar en la figuras 25 y 26 mediante una perspectiva horizontal y verticalmente, la tubería de producción y las bobinas de inducción. Donde se logra determinar visualmente, la transferencia de calor y la conductividad térmica de la tubería.

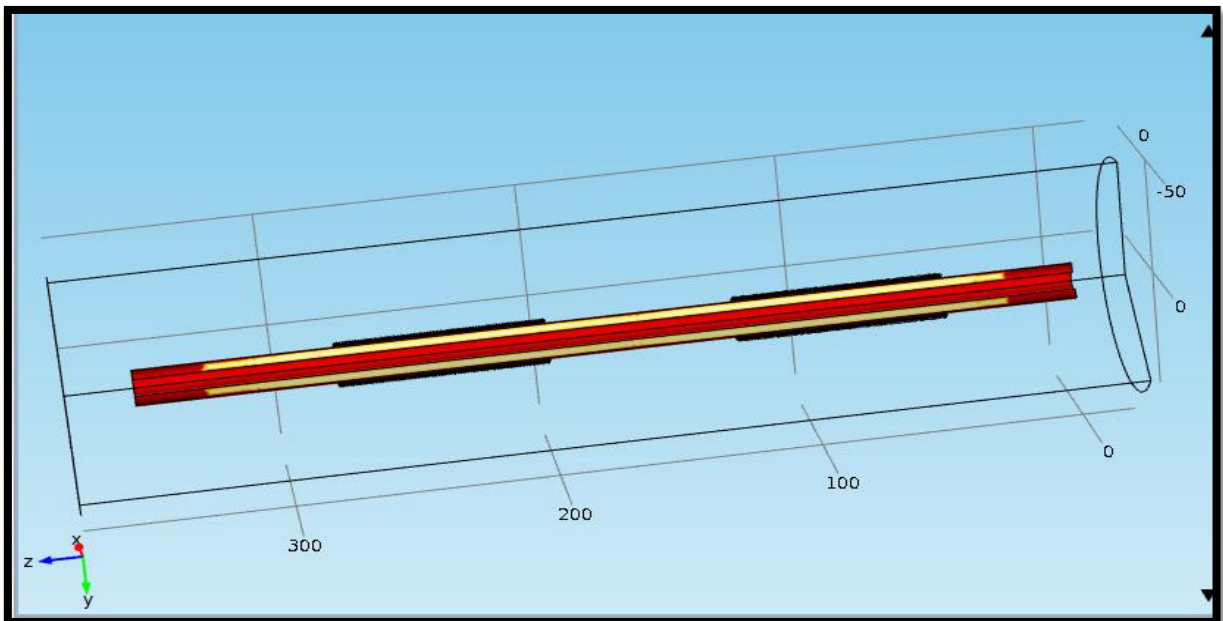
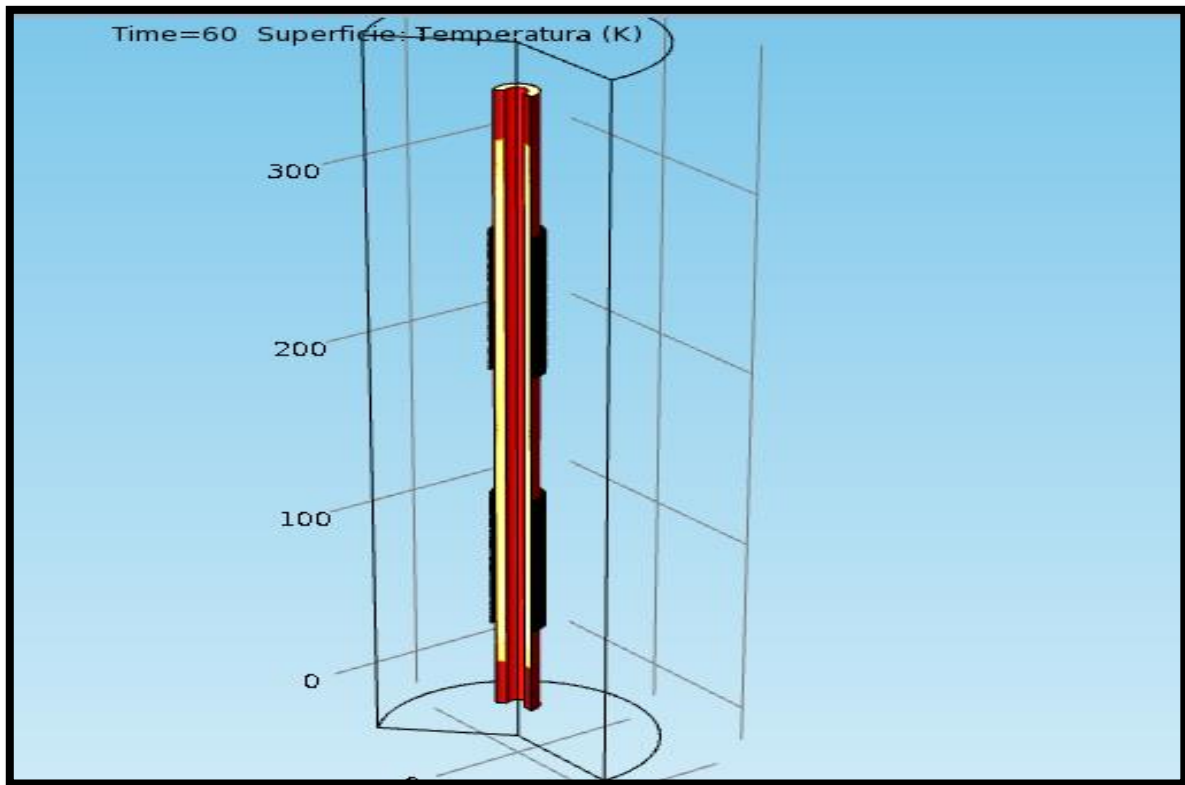


Figura 25: Ejecución de la Simulación "Transferencia de Calor"

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 26: Ejecución de la Simulación "Transferencia de Calor",
Vista Horizontal**

Fuente: Elaboración Propia

También se logró determinar el gradiente de temperatura generado en la tubería de producción mediante la simulación, obteniendo un gradiente de temperatura favorable y constante.

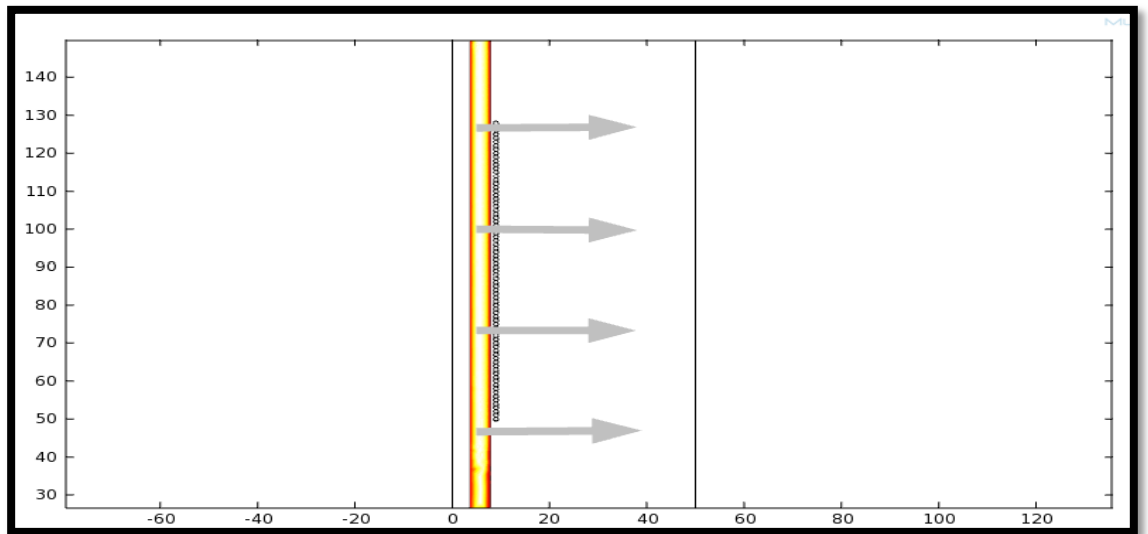


Figura 27: Simulación, Gradiente de Temperatura Mediante la Transferencia de Calor

Fuente: Elaboración Propia

Para concluir, la simulación dio como resultado una transferencia de calor y conductividad térmica de la tubería aceptable y eficiente, esto mediante los cálculos realizados y los parámetros seleccionados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Tras la investigación y el correspondiente análisis de los resultados finales, se extraen las siguientes conclusiones:

1. Mediante la revisión documental, el dimensionamiento del dispositivo y la simulación, se logró diseñar el dispositivo alcanzado un modelo óptimo y capaz para la transferencia de calor, que a su vez será implementado como un accesorio para tuberías de producción
2. Los cálculos y la simulación realizada con los parámetros y propiedades obtenidas, se concluyó que el dispositivo funciona y transfiere la temperatura requerida a la tubería de producción.
3. Se dedujo mediante pruebas de simulación, una mejor efectividad al emplear dos bobinas inductivas en la tubería de producción, ya que abarcaría una mayor zona de calentamiento continua y uniforme.
4. Mediante un cálculo matemático, se extrajo la viscosidad que tendría el crudo a la temperatura alcanzada o suministrada a la tubería de producción, dando como resultado una factibilidad en la reducción de la viscosidad del crudo.

RECOMENDACIONES

1. Para la obtención de mejores datos referentes a la viscosidad, es necesario la utilización una versión más reciente de la herramienta “Software COMSOL Multiphysics”, u otro simulador con la capacidad de trasladar fluidos en la tubería.
2. Se recomienda crear el dispositivo en físico y emplearlo en la tubería, esto para poder realizar pruebas y obtener datos más acertados, mediante estas pruebas se puede considerar el trabajo del dispositivo en un ambiente del sub suelo, para determinar el cambio con respecto al campo magnético.
3. A su vez realizar pruebas con crudos con cierto porcentaje de sólidos, como también con cierto porcentaje de agua y de gas, esto para determinar el comportamiento de los diversos líquidos o materia que se traslada en la tubería a la temperatura implementada.
4. Para la implementación del dispositivo en la tubería en procesos de producción se debe analizar el dato de gradiente de temperatura del pozo, para poder determinar a qué profundidad se haya el menor punto de temperatura y por ende mayor viscosidad del crudo.
5. Para los cálculos de los parámetros que se encuentran en el modelo matemático, no se debe olvidar de implementar los datos de las variables con respecto a la temperatura, correspondiente a la temperatura dada por el registro de gradiente de temperatura del pozo.

GLOSARIO:

Aislamiento: Separan un espacio climatizado del exterior o de otros espacios para reducir la transmisión de calor entre ellos

Cinética: Parte de la física que estudia los sistemas estáticos o en movimiento mediante el empleo de los conceptos de longitud, tiempo y masa.

Cohesión: Unión entre las moléculas de un cuerpo, debida a la fuerza de atracción molecular.

Cuantitativa: De la cantidad o relacionado con ella.

Destilación: Separación sucesiva de los líquidos de una mezcla aprovechando la diferencia entre sus puntos de ebullición.

Electromotriz: es la acción eléctrica producida por una fuente no eléctrica, medida en voltios.

Entropía: Magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular de un sistema.

Ferromagnético: fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra, en la misma dirección y sentido

Imperceptible: Que es tan débil que apenas puede ser percibido.

Magnetismo: Fenómeno físico por el que los objetos ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales.

Permeabilidad: es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su composición

Traslado: Acción de trasladar o trasladarse de lugar

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chester A. Tudbury, (1960) “Basics of Induction Heating” (Vol. 1), Estados Unidos. [Documento en Línea], Disponible: https://books.google.com/books/about/Basics_of_Induction_Heating.html?id=kNhby7xjXQsC

Daniel Alfonso Cáceres Maldonado (2016) “Análisis técnico económico de la tecnología del transporte de crudos pesados calentamiento por inducción electromagnética para el crudo castilla usando simulador de procesos HYSYS” [Documento en Línea], Disponible: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/1462?locale-attribute=en>

Don Loveless, Raymond L. Cook, Valery Rudnev (2017). “Handbook of Induction Heating” (2ed), Inglaterra, Reino Unido [Documento en Línea], Disponible: https://books.google.com/books/about/Handbook_of_Induction_Heating_Second_Edi.html?id=kmg7uAAACAAJ

Douglas A. Alvarado y Carlos Banzer S. (2002) “Recuperación Térmica de Petróleo”, Caracas [Documento en Línea], Disponible: https://www.academia.edu/32598826/Alvarado_D_A_and_Banz%C3%A9r_C_R_recuperaci%C3%B3n_T%C3%A9rmica_de_Petr%C3%B3leo

Franco, Y. (2014) Tesis de Investigación. Población y Muestra. Tamayo y Tamayo. [Blog Internet] Venezuela Disponible: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/poblacion-y-muestra-tamayo-y-tamayo.html>

Gonzales, Winder Aller, Jose M. Loszlo, Sajo B. Horvart, Julio W (2013) “Diseño y construcción de bobinas de calentamiento para hornos de inducción Electromagnética” Miranda, Universidad Simón Bolívar [Documento en Línea],

Disponible:

http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S131648212013000100004&script=sci_abstract

Jacquelin H. (2010). Metodología de la Investigación: guía para la comprensión holística de la ciencia. (4ed). Caracas: Quirón, Disponible: <https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-quicc81a-para-la-comprensiocc81n-holicc81stica-de-la-ciencia.pdf>

Ley Organca de Ciencia, Tecnologia e Innovacion (2014) [Documento en Linea], Disponible: <https://siteal.iiep.unesco.org/bdnp/3628/ley-organica-ciencia-tecnologia-innovacion>

Orly Damian Holguin Cruz (2021) “Aplicación De Ondas Electromagnéticas Para Aumentar El Factor De Recobro En El Campo Tambococha” [Documento en Linea], Disponible: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6188>

Plan de la Patria 2019-2025 de Venezuela, [Documento en línea]. Disponible: <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-la-patria-2019-2025-de-venezuela>

Ramírez, Tulio. Como hacer un proyecto de investigación. Editorial Panapo. Venezuela.2007. Disponible: <https://www.urbe.edu/UDWLibrary/InfoBook.do?id=11229>

Rodriguez J, Ortiz A, Figuera R, Orfila L, Molina J.W, Molidá JD, Molina F (2020) “Caracterización de la viscosidad y su comportamiento en los procesos térmicos aplicados en yacimientos de crudos pesados” [Documento en Linea], Disponible: <https://www.nakasawaresources.com/wp-content/uploads/2020/07/2020-012-VISCOSIDAD-THERMAL-RECOVERY.pdf>

Tamayo y Tamayo, M. (2006). Técnicas de Investigación. (2ª Edición).
México: Editorial Mc Graw Hill. Disponible:
https://www.academia.edu/7012157/MARIO_TAMAYO_Y_TAMAYO

Anexos



Ilustración 8 : Propiedades de los Pozos Campo Morichal

Fuente: Jennifer Flores (2019)

Pozo	MOR1	MOR2	MOR3	MOR4	MOR5
Yacimiento	MPG1	MPG1	MPG1	MPG1	MPG1
Presión Inicial P_i (lpc)	1576	1576	1576	1576	1576
Temperatura ($^{\circ}$ F)	134	134	134	134	134
Relación gas-petróleo (PCN/BN)	53	14	76	1665	223
$^{\circ}$ API	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
Segregación comercial (Mercy 16)	15.5-16 $^{\circ}$	15.5-16 $^{\circ}$	15.5-16 $^{\circ}$	15.5-16 $^{\circ}$	15.5-16 $^{\circ}$
Factor volumétrico de petróleo β_o (BY/BN)	1.0839	1.0839	1.0839	1.0839	1.0839
Viscosidad del petróleo μ_o (cP)	765	765	765	765	765
Permeabilidad Horizontal K_h (mD)	5300	3310	1300	4300	2500
Permeabilidad Vertical K_v (mD)	4800	3110	1050	3000	2125
Porosidad \emptyset (%) (Adim)	32	32	32	32	32
Longitud de la Sección horizontal (pies)	4000	2000	500	3700	2000
Espesor de arena h (pies)	110	110	110	110	110
Radio del pozo r_w (pies)	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354

Ilustración 9; Especificaciones de los Pozos del Campo Morichal

Fuente Jennifer Flores (2019)