



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD  
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA EN  
PETRÓLEO**

**TEMA:  
APLICACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA AUMENTAR  
EL FACTOR DE RECOBRO EN EL CAMPO TAMBOCOCHA.**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO  
“TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CASO PRÁCTICO”**

**AUTOR:  
HOLGUIN CRUZ ORLY DAMIAN**

**TUTOR:  
ING. CARLOS MALAVÉ, MSC.**

**LA LIBERTAD - ECUADOR 2021**

**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA  
ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA  
EN PETRÓLEO**

**TEMA:**

**APLICACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA  
AUMENTAR EL FACTOR DE RECOBRO EN EL CAMPO  
TAMBOCOCHA.**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO  
“TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CASO PRÁCTICO”**

**AUTOR:**

**HOLGUIN CRUZ ORLY**

**DAMIAN TUTOR:**

**ING. CARLOS MALAVÉ, MSC.**

**LA LIBERTAD -  
ECUADOR 2021**

Santa Elena, 12 de marzo del 2021

## CARTA DE ORIGINALIDAD

**Ing. Marllelis Gutiérrez Hinestroza,  
PhD directora de la Carrera de  
Petróleos Universidad Estatal  
Península de Santa Elena**

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Uds. La Tesina Titulada “Aplicación De Ondas Electromagnéticas Para Aumentar El Factor De Recobro En El Campo Tambococha”, para que se considere la Sustentación, señalando lo siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente Investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El Tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

### **NOMBRES Y APELLIDOS**

**Holguín Cruz Orly Damián**



**Firma:**

**Nº de Cedula 0927662072**

**Correo: orly.holguincruz@upse.edu.ec**

**Msc. Tutor:**

**Nombres Y Apellidos**

**Ing. Carlos Malave,**



**Firma:**

**Nº de Cedula 0912370095**

**Correo: cmalave@upse.edu.ec**

## **DEDICATORIA**

A Dios quien guía mi vida, dueño de toda sabiduría, mi guía y fortaleza en todo momento, quien me ha colmado de bendiciones y ha cumplido en mi vida sus deseos, y en su infinita bondad y misericordia, me ha permitido cumplir una meta más en mi vida.

A mi padre y mi madre por su apoyo incondicional, por el esfuerzo que día a día realiza para que pueda terminar mis estudios, siempre me ha motivado a esforzarme, quienes lo han dado todo para que pueda culminar esta etapa, quienes con su ejemplo me enseñaron a nunca rendirme.

A toda mi familia, quienes con su apoyo contribuyeron de una u otra manera para que hoy cumpla esta meta, por tomarse el tiempo de estar a mi lado cuando lo he necesitado, sus palabras de aliento, bromas y momentos inolvidables disfrutados durante todo este tiempo.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, el creador de todas las cosas, por sus bendiciones, por darme la oportunidad de tener una formación profesional en este mundo, llenándome de fortaleza y así no desfallecer en este camino a pesar de todas las adversidades que se presentaron.

A mis Padres y hermanos, por ser esa motivación y confianza en todo momento dentro de mi formación profesional.

A La Ilustre Universidad Estatal Península De Santa Elena, por ser el medio de formación en la disciplina de Ingeniero de Petróleo.

A mi tutor Ingeniero Carlos Malavé Carrera por su orientación, enseñanzas y su tiempo brindado, para poder llevar a cabo este proyecto de la mejor manera.

## RESUMEN

### APLICACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PARA AUMENTAR EL FACTOR DE RECOBRO EN EL CAMPO TAMBOCOCHA

**Tutor:** Ing. Carlos Malavé, Msc.

Ecuador, Santa Elena, Facultad Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ing. de Petróleo, Año 2021.

A través de los años cada vez son mayores los retos que se enfrenta la industria petrolera en diferentes ambientes alrededor del mundo, en el siguiente trabajo 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 del campo Tambococha ubicado en el oriente Ecuatoriano, el cual contiene una gran cantidad de reservas de hidrocarburos pesados produce aproximadamente 287 Millones de barriles de petróleo Bpd, con un API de 16°, a 5450 ft de profundidad(Arena M1), se planea 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, con el pozo productor y la antena emisora de ondas electromagnéticas, ubicada en el extremo de la malla, lo resultados muestran un aumento en el factor de recobro en un 4.7 % aumentando la producción a 63110 Bpd en todo el campo Tambococha.

**Palabras Clave:** Factor de Recobro, Calentamiento Electromagnético, Simulación de Yacimientos, Crudos pesados

## **ABSTRACT**

### **APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES TO INCREASE THE RECOVERY FACTOR IN THE TAMBOCOCHA FIELD**

**Tutor:** Ing. Carlos Malavé, Msc.

Ecuador, Santa Elena, Facultad Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ing. de Petróleo, Año 2021.

Through the years, the challenges faced by the oil industry in different environments around the world are increasing, in the following work it is proposed to apply the electromagnetic heating technique as one of the alternatives for improved recovery in heavy hydrocarbon reservoirs, the electromagnetic heating scheme is analyzed, using the numerical simulation of reservoirs as a working tool, the conceptual model of the heavy oil reservoir of the Tambococha field located in eastern Ecuador is studied, which contains a large amount of heavy hydrocarbon reserves produces approximately 287 Million barrels of oil Bpd, with an API of 16°, at a depth of 5450 ft (Sand M1), it is planned to evaluate the increase in production and the recovery factor obtained through the application of heating electrical, the commercial simulator STARS from CMG is used, which assigns a constant value to the cells of the mesh, with the producing well and the electromagnetic wave emitting antenna, located at the end of the mesh, the results show an increase in the recovery factor by 4.7%, increasing production to 63110 Bpd in the entire Tambococha field.

**Key Words:** Recovery Factor, Electromagnetic Heating, Reservoir Simulation, Heavy Crudes

## ÍNDICE

CARTA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. ANTECEDENTES.....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3. OBJETIVO.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
1.4. PALABRAS CLAVES.....	6
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACION .....	8
1.7. VARIABLES .....	8
1.7.1. VARIABLE DEPENDIENTE .....	8
1.7.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	8
CAPITULO II .....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. CAMPO TAMBOCOCHA .....	9
2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO TAMBOCOCHA.....	9
2.3. DESCRIPCIÓN GEOLOGICA .....	11
2.3.1. ESTRUCTURAS.....	12
2.4. CARACTERISTICAS DEL RESERVORIO DEL CAMPO TAMBOCOCHA .....	13
2.4.1. Arenisca M1 .....	13
2.4.2. Arenisca U.....	13



2.4.3. Basal Tena .....	14
2.5. CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO DEL CAMPO TAMBOCOCHA.....	14
2.6. ESTRATIGRAFÍA DEL CAMPO TAMBOCOCHA .....	14
2.7. LITOLOGÍA DEL CAMPO TAMBOCOCHA .....	15
2.8. CALENTAMIENTO ELÉCTRICO .....	17
2.9. CALENTAMIENTO POR ONDAS ELECTROMAGNETICAS .....	18
2.10. EFECTOS DEL CALENTAMIENTO ELÉCTRICO SOBRE EL PETRÓLEO.....	19
2.10.1. La viscosidad.....	19
2.10.2. Incremento de la permeabilidad efectiva.....	19
2.10.3. LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL CALENTAMIENTO ELECTROMAGNETICO .	20
2.10.4. MODELAMIENTO DEL EMH.....	21
2.10.5. RÉGIMEN DE FLUJO .....	23
2.10.6. CMG TECHNOLOGIES LAUNCHER.....	26
2.10.7. ELEMENTOS DE LA VENTANA DEL PROGRAMA WINPROP .....	28
2.10.8. BUILDER – CMG.....	29
2.10.9. STARTING BUILDER.....	30
2.10.10. SIMULADOR START – CMG .....	30
CAPITULO III .....	32
3. MARCO METODOLÓGICO .....	32
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO.....	32
3.2. CREACIÓN DEL CRUDO PESADO PARA LA SIMULACIÓN .....	32
3.3. CREACIÓN DEL MALLADO.....	34
3.4. SIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	35
3.5. DEFINICIÓN DE SLOTS.....	36
3.6. INDUCCIÓN DE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS .....	36
3.7. MODELAMIENTO DE CALENTAMIENTO RADIAL.....	37
3.8. ARREGLO DEL ENMALLADO .....	37

CAPITULO IV .....	39
4. RESULTADOS .....	39
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO DEL YACIMIENTO .....	39
4.2. CAMBIO DE LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA .....	39
4.3. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO .....	40
4.3.1. PRESIÓN DEL RESERVORIO DURANTE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO.....	41
4.3.2. CORTE DE AGUA .....	41
4.1. RELACION GAS PETROLEO .....	42
4.4. FACTOR DE RECOBRO .....	43
4.5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	44
4.5.1. PROYECCIÓN DE COSTO DE PETRÓLEO DEL ORIENTE ECUATORIANO.....	44
4.5.2. TABLA DE VALORES .....	45
CONCLUSIONES .....	46
RECOMENDACIONES .....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del campo Tambocochoa .....	10
Figura 2. Descripción geológica.....	12
Figura 3. Estructuras.....	13
Figura 4. LITOLOGÍA DEL CAMPO TAMBOCOCHA.....	16
Figura 5. BUILDER – CMG .....	29
Figura 6. SIMULADOR START – CMG .....	31
Figura 7. Creación del crudo para pesado para la simulación.....	34
Figura 8. Creación del mallado .....	35
Figura 9. SLOTS .....	36
Figura 10. Modelamiento de Calentamiento Radial.....	37
Figura 11. Cambio de la viscosidad en función a la temperatura.....	40
Figura 12. Producción de petróleo.....	40
Figura 13. Corte de agua .....	42
Figura 14. Relación gas petróleo .....	42
Figura 15. Factor de recobro. ....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos que componen el petróleo .....	33
Tabla 2. Análisis Económico .....	45
Tabla 3. Análisis económico VAN y TIR .....	45



## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la amplia demanda de crudo y la declinación de producción han generado mucho interés en la recuperación de crudos pesados, en la industria petrolero ya existen numerosos tipos de recuperación con diferentes métodos aplicados, sin embargo, en la recuperación de crudos pesados, los métodos térmicos son uno de los cuales destacan en la recuperación crudo pesado, debido al efecto que causa en la viscosidad de dicho fluido.

En nuestro país tenemos el campo Tambococha, que cuenta con un crudo pesado de 16° API, y una reserva estimada de 287 millones de barriles en situ, este trabajo tiene como objetivo tener una alternativa a los sistemas de producción actual del campo, con la que podamos optimizar la producción de crudo y a su vez disminuir costos de operación. Cada vez son mayores los retos a los que nos enfrentamos para poder extraer el crudo, lo cual nos lleva a realizar proyectos que requieren de un estudio minucioso y detallado con la finalidad de establecer su factibilidad, para así dar mejoras a técnicas para el aumento de la eficiencia de recuperación de hidrocarburo y a su vez reducir costos, en este trabajo implementaremos una técnica de recuperación mediante el calentamiento asistido por ondas que es una alternativa en la recuperación mejorada en los yacimientos de hidrocarburo.

Por esta razón se implementará el procedimiento para el diseño de un sistema de inyección de corriente en el pozo, que tiene por objetivo generar una zona de calentamiento cercana al pozo, se le hará circular corriente eléctrica hasta el fondo del pozo, en donde se interconecta con el Casing y éste a su vez con la tierra del sistema, cerrando de este modo el circuito. Este procedimiento genera un incremento de temperatura en la tubería como consecuencia de las pérdidas eléctricas propias del acero y como consecuencia esta zona de calentamiento disminuye los altos valores de viscosidad asociados a estos hidrocarburos, este incremento en la temperatura facilita la movilidad del crudo en ascenso por el tubing desde el fondo del pozo hasta la superficie.

Para optimizar la producción de los pozos es necesario un método accesible y eficaz, el

sistema de inyección de ondas electromagnéticas es un método rentable y de bajo costo inicial, poco mantenimiento, siendo una buena alternativa para optimizar costos y producción en los pozos. Para este estudio se recolectó toda la información necesaria de campo Tambococha, parámetros tales como caudales, completación del pozo, Factor de recobro, relación gas petróleo, corte de agua.

Para analizar cada uno de estos parámetros que nos describen la vida productiva del campo se procedió a realizar una simulación de yacimientos en el simulador comercial STARS de la compañía CMG(Computer Modelling Group), dicho simulador nos ofrece herramientas que nos permiten configurar un conjunto de datos, como crear un modelo de crudo pesado con 16° API, diseñar el reservorio, simular el calentamiento electromagnético, y cargar resultados de gráficos en 2D y 3D, para analizar la simulación.

La simulación nos muestra resultados favorables, demostrando un aumento del factor de recobro debido al descenso que presenta la viscosidad del crudo creado con los datos del campo Tambococha, por motivo de la aplicación del método de calentamiento electromagnético, también se nota una reducción del corte de agua de un 6% a un 1%, el incremento de la tasa de producción fue aproximadamente de un 43%, se puede observar que la producción aumenta en un valor de 63110 barriles por día en un periodo de simulación de 8 años, mediante los resultados mostrados por la simulación, se analiza si el proyecto es viable y rentable, debido al aumento de la producción se determinó que con el valor actual del petróleo y asumiendo que durante los siguientes años el precio se mantenga constante, la implementación del método de calentamiento electromagnético aplicado en el campo Tambococha, luego de realizar el análisis del flujo efectivo, nos dan una VAN(Valor Actual Neto) de 1.224.732\$ y un TIR de 14%.

# CAPÍTULO I

## 1.1. ANTECEDENTES.

Para comprender cómo funciona el método de Calentamiento Eléctrico, se dará repaso a algunos conceptos útiles. Este capítulo es fundamental dado que el Calentamiento Eléctrico tiene como base la termodinámica, el electromagnetismo, la petrofísica del yacimiento y las propiedades de los fluidos que se encuentren en el campo Tambococha.

El proyecto surge de la necesidad de implementar alternativas que contribuyan al incremento de la producción de hidrocarburos en el campo Tambococha, el cual su producción ha ido declinando desde su inicio que fue en el año 1992 por la empresa Petro producción con 12.586 Bpd. Como antecedente se tiene que la vida productiva del Campo Tambococha empezó en el año 1992, en la actualidad la producción promedio es de 49400 Bpd. Mediante este proyecto se analizará cada uno de los componentes para implementar la aplicación de uno de los el sistema de recuperación mejorada por ser eficiente y factible para la empresa.

El calentamiento electromagnético proviene la investigación de Klaila(1978) que introdujo el concepto desestabilización por microondas en trabajos que fueron patentados como un factor de desestabilizador de emulsiones, al ser las emulsiones expuestas durante un determinado tiempo a ondas que irradiaban las emulsiones, dejando así en claro la importancia del calentamiento eléctrico y los avances que este podría aportar a la recuperación de crudo pesado y extrapesados.

En el año 1994 Fang y Lai determina que el calentamiento electromagnético provee una opción más de ruptura de emulsiones agua-petróleo, separando los fluidos en capas, separan las emulsiones viscosas que son difíciles de bombear y mezclar con químicos demulsificante, esto se debe a la transmisión de pequeños gradientes de temperatura que irradian las emulsiones, ya que las emulsiones viscosas son calentadas más rápidamente y uniformemente por las ondas electromagnéticas, proporcionando una separación más rápido de agua-petróleo

En el año 2002 Chan y Chen presentaron un trabajo de desestabilización de emulsione

agua-petróleo por radiación de microondas, realizaron una prueba con una emulsión preparada, difícil de separar por los métodos tradicionales, pero a una potencia de 240 W en adelante por un tiempo de 6 segundos, se logra percibir la separación de fases, pero dejándola por más tiempo esta pasa su punto de ebullición, los resultados muestra que el calentamiento por ondas electromagnéticas consta con las características de ser rápida, volumétrica, selectiva, es factible para ser usada como método de recuperación mejorada por calentamiento eléctrico, y no requiere de aditivos químicos y los porcentajes de consumo de energía son bajos.

En el año 2011 Cazorla Johan, presenta un trabajo de Calentamiento electromagnético en crudos pesados y extrapesados, pero este trabajo está enfocado en la implementación de la simulación del aumento del factor de recobro, mediante una simulación de transferencia de calor a las celdas del mallado, utilizando un simulador comercial llamado STARS proveniente de la compañía CMG(Computer Modelling Group), los resultados mostraron un aumento considerable en la tasa de producción debido a la implementación del método, debido a que el calentamiento produjo una reducción de viscosidad, también se visualizó una disminución del corte de agua y la relación gas - petróleo.

En el año 2014 En la universidad Central de Venezuela Romero Isabelis Presento un trabajo de aplicación de ondas electromagnéticas, transmitidas por un cable calentador en el campo Zauta, en la faja petrolífera del Orinoco, la cual se realizó un análisis de producción demostrando un incremento de un 47%, en el cual se escogió el pozo JK2306, para realizarle la completación respectiva, una vez elegido el pozo, se realizaron las predicciones en el simulador STARS, por un periodo de 30 años, dejando una valor de ganancias de 8.84 MM\$ y 45.99 de TIR.



## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para extraer hidrocarburos se debe tener en cuenta las características de tipos comerciales como la factibilidad, rentabilidad y el método a emplearse para la extracción, por estas razones nos enfrentamos a un verdadero reto, para lograr optimizar procesos de explotación y a su vez aumentar el factor de recobro, debemos tomar en cuenta las características de los fluidos, las propiedades físicas y químicas del reservorio y el estado en que se encuentra.

El petróleo original en situ (POES) de la arena M1 del campo Tambococha, está estimado 287 MMSTB de reservas probadas y 14.60 MMSTB de reservas no probadas, en el año 1992 uno de los problemas principales en el campo Tambococha es la baja producción de petróleo, existen varios factores que hacen que la producción caiga a Trávez del tiempo, a las pérdidas de presión originadas por diversas causas como los efectos gravitacionales, de fricción y cambios de energía cinética, ocasionados durante el recorrido del fluido desde el yacimiento hasta la superficie que comprende los componentes del sistema en general que son: el reservorio, la tubería de producción, el cabezal, a esto se suma que el campo Tambococha ubicado en la cuenca oriente poses un crudo pesado de 16° API, con una viscosidad de 60000 cp. en el campo Tambococha por sus grandes reservas de crudo situadas en la formación se desea diseñar un método de recuperación por calentamiento mediante ondas electromagnéticas, donde su ventaja principal es originar una zona de calentamiento en la formación para reducir la viscosidad del crudo para que el factor de movilidad sea favorable para así aumentar el factor de recobro en un 20% aproximadamente, dicho estudio está enfocado en el calentamiento de la zona de hidrocarburo, evaluando las características físicas y químicas, con el objetivo de realizar un barrido eficiente en el yacimiento.

### **1.3. OBJETIVO**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el diseño óptimo para la aplicación de ondas electromagnéticas mediante, un estudio técnico - económico del campo Tambococha para incrementar el factor de recobro de crudos pesados.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir las condiciones actuales del campo Tambococha operado por PETROAMAZONAS EP.
- Simular el calentamiento electromagnético en el campo Tambococha, por medio de el simulador comercial Stars de la compañía CMG.
- Evaluar los resultados de la simulación realizada con las características del crudo pesado del campo Tambococha, relación Gas-Petróleo, Factor de recobro, viscosidad.
- Evaluar la viabilidad financiera de la instalación de la unidad de la aplicación de ondas electromagnéticas seleccionado para el pozo Tambococha.

### **1.4. PALABRAS CLAVES**

- Factor de Recobro.
- Calentamiento Electromagnético.
- Simulación de Yacimientos.
- Crudos pesados.

## 1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El siguiente proyecto describe una manera fundamental para el área producción de petróleo pesado en el campo Tambococha, el cual consta con un crudo de 16° API, donde se aplicará un método de recuperación mejorada, mediante calentamiento electromagnético.

El campo Tambococha contiene una gran cantidad de hidrocarburos probados y no probados in situ, provenientes de la formación M1 que se encuentra en un intervalo de 5430-5495 ft, debido a que otros métodos de recuperación no generan un barrido eficiente, por esta razón se debe realizar estudios con otras técnicas de recuperación mejorada, que logren ser más eficiente y factible.

El calentamiento electromagnético es una de las nuevas tecnologías que ya se han empezado a explorar con planes pilotos en otros países, sin embargo, en el Ecuador existe muy poca información de este tema y aún no se ha realizado ninguna aplicación, por lo que un estudio con esta tecnología dará una mayor amplitud a la visión general que tenemos de tecnologías aplicables a nuestros reservorios.

El éxito de este estudio demostrará que esta tecnología puede ser aplicada en este tipo de reservorios y delimitará los parámetros básicos de estudio para futuras aplicaciones de esta tecnología.

Ambientalmente, aplicando esta tecnología no necesita ningún medio, mecanismo o material nocivo, que pueda afectar su entorno, por lo que es considerado un proyecto no dañino para el medio ambiente.

## **1.6. ALCANCE DE LA INVESTIGACION**

El siguiente trabajo tiene como finalidad evaluar el aumento de la producción y el factor de recobre que se obtiene a través de la aplicación de ondas electromagnéticas, dentro del campo Tambococha que tiene un crudo pesado con base de 16 °API, para así reducir su viscosidad, aumentando el factor de la movilidad del crudo, la investigación abarca la factibilidad del método, determinada mediante una simulación con el programa STARS de CMG, con estos resultados evaluaremos el historial de producción, la relación gas petróleo, saturación de agua, viscosidad y factor de recobro, simulados a un periodo de 30 años, con estos resultados se realizara un análisis económico tomando en cuenta el valor actual del petróleo y el costo que generaría producir un barril de petróleo implementando este método de calentamiento electromagnético.

## **1.7.VARIABLES**

### **1.7.1.VARIABLE DEPENDIENTE**

Utilización del método de recuperación mejorada mediante calentamiento electromagnético para la recuperación de crudos pesados en el Campo Tambococha con la utilización de generadores eléctricos en el fondo del pozo.

### **1.7.2.VARIABLE INDEPENDIENTE**

Utilizando el método de Calentamiento Electromagnético, mediante la utilización de generadores eléctricos ubicados en el fondo del pozo, se logrará crear un generador de microondas, reduciendo la viscosidad del hidrocarburo, para que se facilite la producción del mismo.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo definiremos la parte teórica a utilizar para la implementación del calentamiento electromagnético en el campo Tambococha, tales como el inicio de producción del campo y su producción actual, el método a implementar en este caso el calentamiento electromagnético, las distintas ecuaciones que se acoplaron para determinar el alcance de la onda irradiada en el yacimiento, y el simulador de yacimiento STARS que es un simulador comercial definido para la creación de un crudo, mallado de un reservorio, y nos muestra resultados gráficos que pueden ser analizados y nos ayudan en el momento de la toma de decisiones.

#### **2.1. CAMPO TAMBOCOCHA**

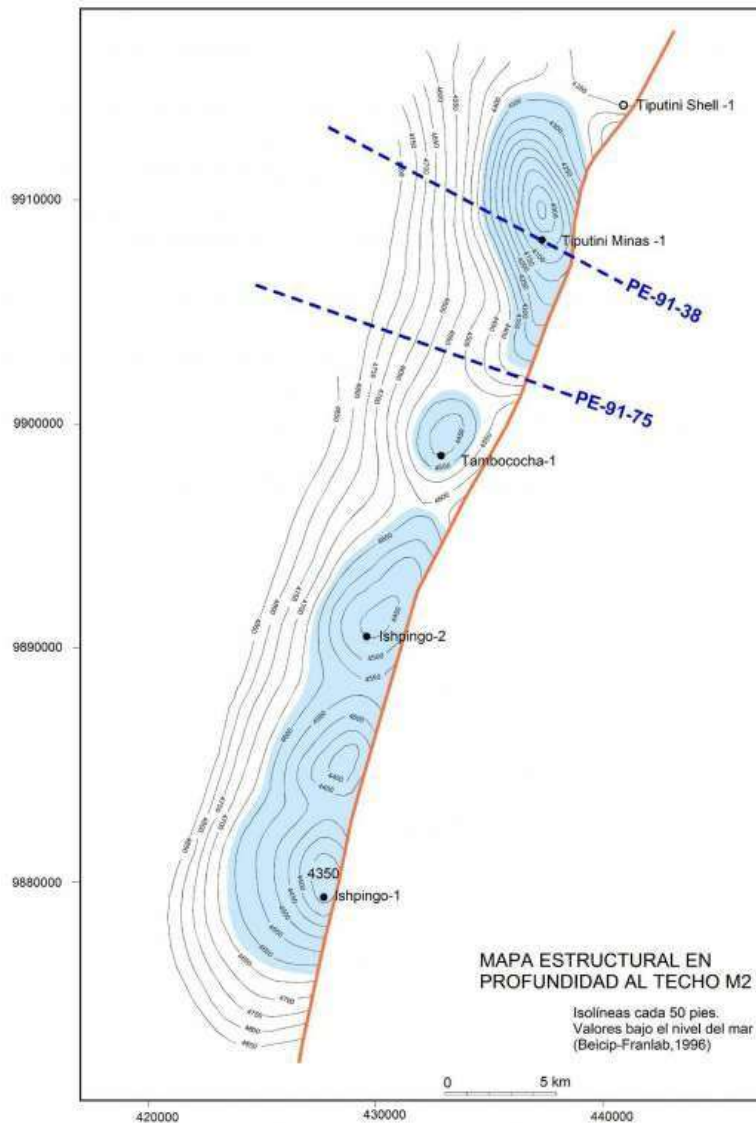
El campo Tambococha fue descubierto por la corporación estatal petrolera entre los años 1992 y 1993, se inició con una producción de 4.707 Bpd proveniente de la arena M1, con una gravedad API de 16°, con una viscosidad de 20 cp. aproximadamente, actualmente consta de 8 pozos perforados con una producción de 49400 Bpd, aportando con una gran cantidad al bloque 43 del cual forma parte, las reservas probadas del campo Tambococha, son aproximadamente de 308.4 MMSTB y reservas no probadas de 14.60 MMSTB, el campo Tambococha forma parte del bloque 43 que está conformado por los campos, Tiputini, Tambococha he Ishpingo actualmente el bloque 43 se estima que tiene una reserva de 716 MMSTB.

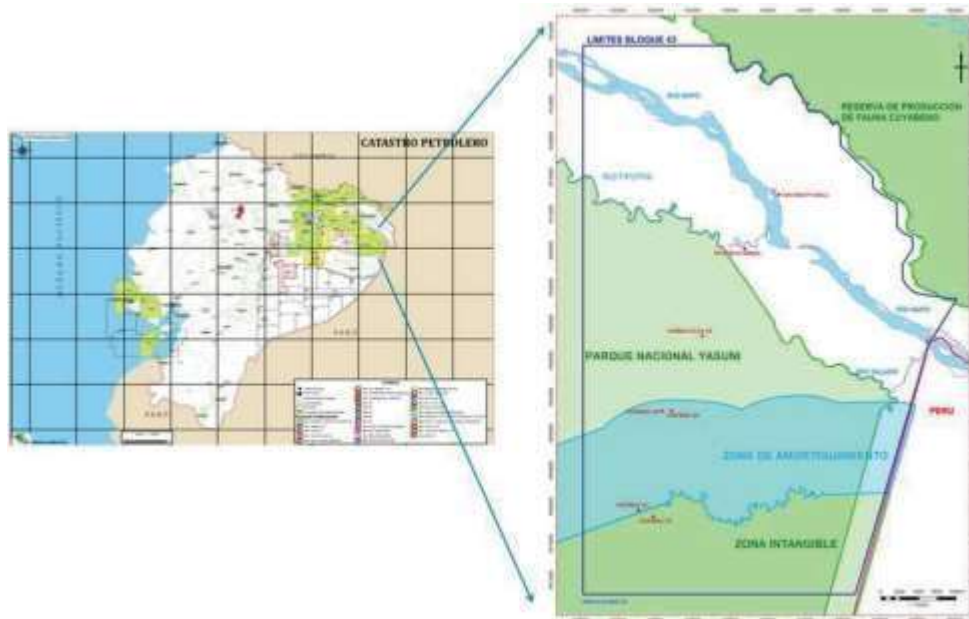
#### **2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO TAMBOCOCHA**

El campo Tambococha está ubicado en la provincia de Orellana, al este de la región Amazónica, los límites en el cual se encuentra son al Sureste con la frontera de Perú, y al límite Noroeste es la reserva Cuyabeno, al Oeste se encuentra el bloque 31(Apaika-Nenke) y al Sur encontramos el Parque Nacional Yasuní, El Campo Tambococha que forma parte del ITT, está

conformado geológicamente por cuatro estructuras anticlinales de dirección aproximadamente Norte Sur, seguida por una falla inversa en la misma dirección, este eje estructural tiene una larga extensión que inicia desde el Norte de la cuenca Oriente hasta el Sur de la misma cuenca. (Rivadeneria, 1998).

**Figura 1. Ubicación geográfica del campo Tambococha**



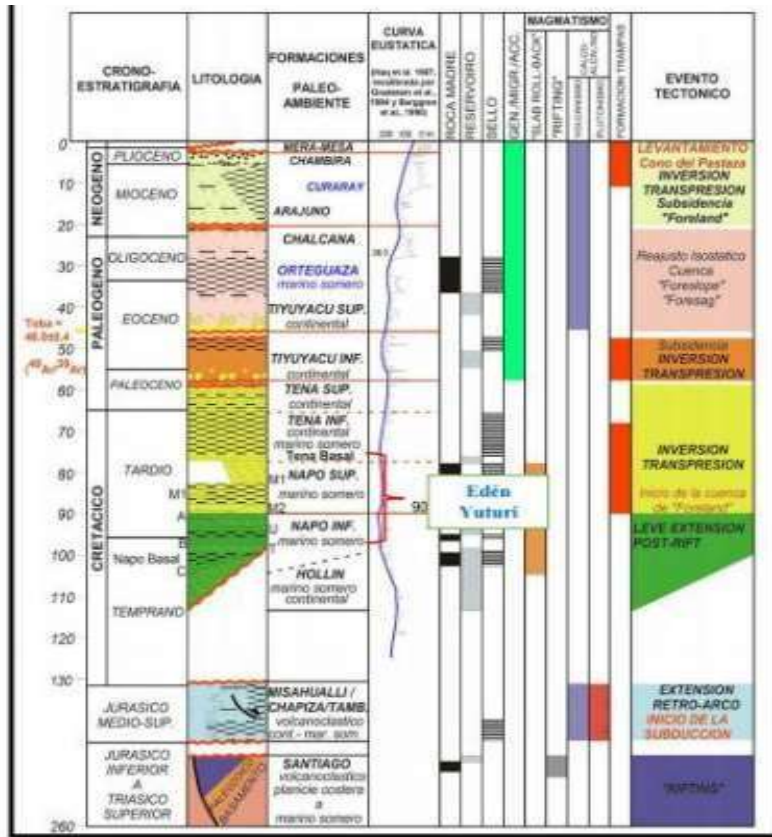


### 2.3. DESCRIPCIÓN GEOLOGICA

La estructura geológica del campo Tambococha, se han interpretado las arenas Napo M1, Napo U y Napo T, El bloque 43 conformado por los campos Ishpingo, Tambococha y Tiputini, es definido como un solo cuerpo debido a que en la interpretación sísmica 2D no se observa alineamientos, pliegues o fallas secundarias transversales, que pueden ser definidos como límites para separar la estructura de los campos, los altos estructurales del bloque 43 están alineados de Suroeste a Noroeste en una distancia de 45 Km.

Mediante la interpretación sísmica se obtuvieron los mapas estructurales en tiempo a los horizontes Napo M1, Napo U y Napo T, donde podemos ver que estas arenas forman el alto estructural y la falla que forma un solo cuerpo, con esta información podemos obtener los mapas estructurales en profundidad, que están correlacionados con los pozos perforados en el campo Tambococha.

**Figura 2. Descripción geológica**



**2.3.1. ESTRUCTURAS**

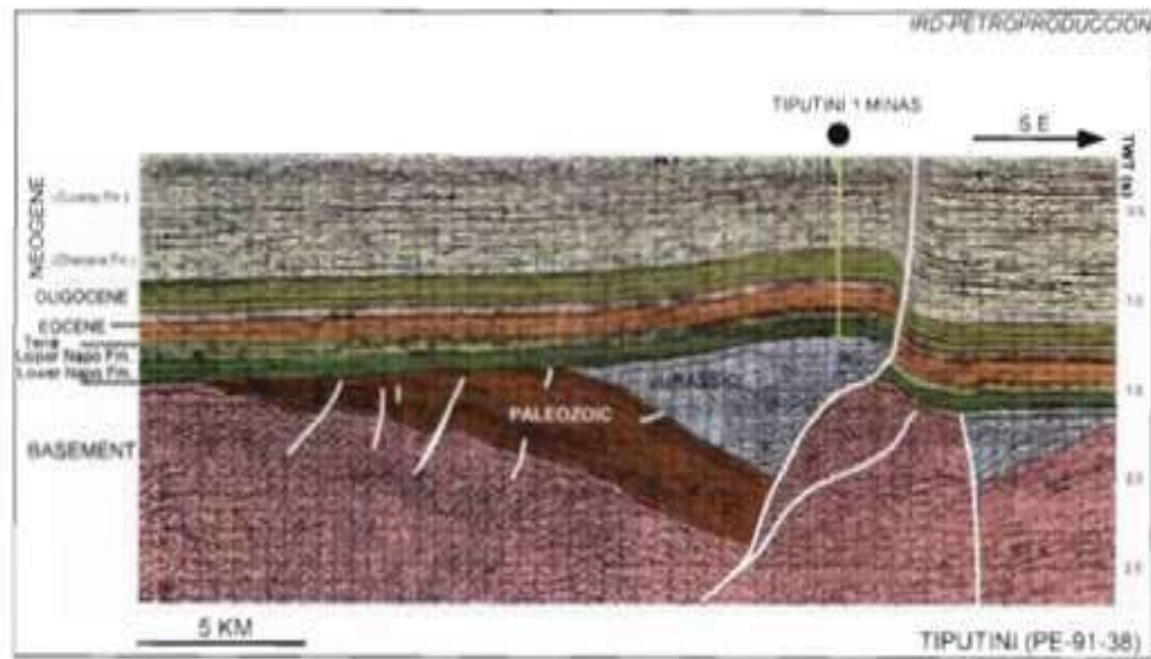
El “tren” estructural Ishpingo-Tambococha-Tiputini-Imuya se considera un sistema transpresional, asociado a la falla regional Yasuní de orientación NNE-SSO al norte, presenta un fallamiento de orientación NNE-SSE. La falla principal es de alto ángulo hacia superficie, disminuyendo su buzamiento y tornándose bajo la secuencia cretácea. El anticlinal Tiputini muestra una dirección NNO de su eje, divergente a la orientación de la falla principal NNE-SSO, mostrando la morfología típica de un pliegue formado en un contexto transpresivo.

Son estructuras antiguas como muestra la deformación sin-sedimentaria de Tiyuyaco inferior (en algunas secciones, se observan indicios de una primera reactivación Cretácico tardía, que afecta Napo Superior y la Formación Tena). La última reactivación se inició



probablemente en el Mio-Plioceno, y se continúa hasta el presente, ya que la falla alcanza la superficie como se observa en varias secciones sísmicas deformando los depósitos más recientes.

**Figura 3. Estructuras**



## 2.4. CARACTERISTICAS DEL RESERVORIO DEL CAMPO TAMBOCOCHA

### 2.4.1. Arenisca M1

El ambiente de depositación hacia la base, parece corresponder a canales fluviales, lo que se confirma por la ausencia total de fósiles marinos en varias muestras analizadas, sugiere un ambiente transicional. Es una arenisca transgresiva que culmina con lutitas de ambiente marino somero reductor. (Franlab, 1997).

### 2.4.2. Arenisca U

Esta formación se depositó en un ambiente fluvial de canales, evolucionando hacia el techo a un ambiente transicional de canales retrabajados por define en cambio un ambiente

deltaico-estuarino, con influencia mareal. Se presentan ocasionales niveles de lutitas negras y tobáceas blancas. (Labogeo, 1993)

### **2.4.3. Basal Tena**

Esta formación se depositó en un ambiente fluvial de canales, evolucionando hacia el techo a un ambiente transicional de canales retrabajados por mare) define en cambio un ambiente deltaico-estuarino, con influencia mareal. Se presentan ocasionales niveles de lutitas negras y tobáceas blancas. (Rivadeneira M., 2014).

## **2.5. CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO DEL CAMPO TAMBOCOCHA**

El petróleo crudo es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua, el cual está formado en su mayoría por átomos de carbono e hidrogeno y pequeñas porciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, (Sotillo, 2015). El campo Tambococha, consta con un crudo de 16° API, con una viscosidad aproximada de 1400cp y un porcentaje de peso de azufre de 3%, de los crudos analizados, las tendencias de madurez termal de los crudos varían entre bajas y moderadas, y muestran un grado variable de degradación, estando la mayoría severamente degradados, como muestran sus cromatogramas de gases, en los que se observa una pérdida casi completa de las fracciones livianas. (Rivadeneira M., 2014).

## **2.6. ESTRATIGRAFÍA DEL CAMPO TAMBOCOCHA**

Por su ubicación al Este de la Cuenca Oriente, la estratigrafía del campo Tiputini es particular, no se desarrolló la formación Hollín, las formaciones cretácicas y terciarias disminuyen en espesor, especialmente la formación Tena y desaparecen algunos de los marcadores conocidos en el resto de la Cuenca, como las calizas A, B y C.

## 2.7. LITOLOGÍA DEL CAMPO TAMBOCOCHA

En el área de Tambococha solo en Napo M1 se probó la existencia de hidrocarburo y se estimaba la presencia del mismo en la formación Basal Tena. En los nuevos pozos perforados en la plataforma Tambococha 3 no se encontró el reservorio Basal Tena como en Tambococha e Ishpingo, debido tal vez a la presencia de un paleo alto en esta área. Yacimiento Basal Tena: Formada por arenisca intercalada con lutita, arcillolita y limolita.

Arenisca: Cuarzosa, gris clara, blanca, gris verdosa, hialina, subtransparente a subtranslúcida, suelta, friable, de grano muy fino a muy grueso, angular a subredondeada, en partes moderada clasificación, cemento calcáreo, cemento silíceo, parcialmente matriz argilácea. Presenta manchas puntuales de hidrocarburo color negro a café claro, fluorescencia natural no visible, corte amarillo verdoso pálido moderadamente rápido en forma de venas, residuo no visible, presencia regular de hidrocarburos. Arcillolita: Café rojiza, rojo ladrillo, crema, suave, irregular a blocosa, cerosa, no calcárea, soluble.

A la base de este yacimiento se encuentra un nivel de lutita gris oscura, gris clara, firme a muy firme, en bloques, en parte fisil a subfisil, ocasionalmente quebradiza, no calcárea. Yacimiento Napo M1: Formada por varias capas de arenisca intercaladas con lutita.

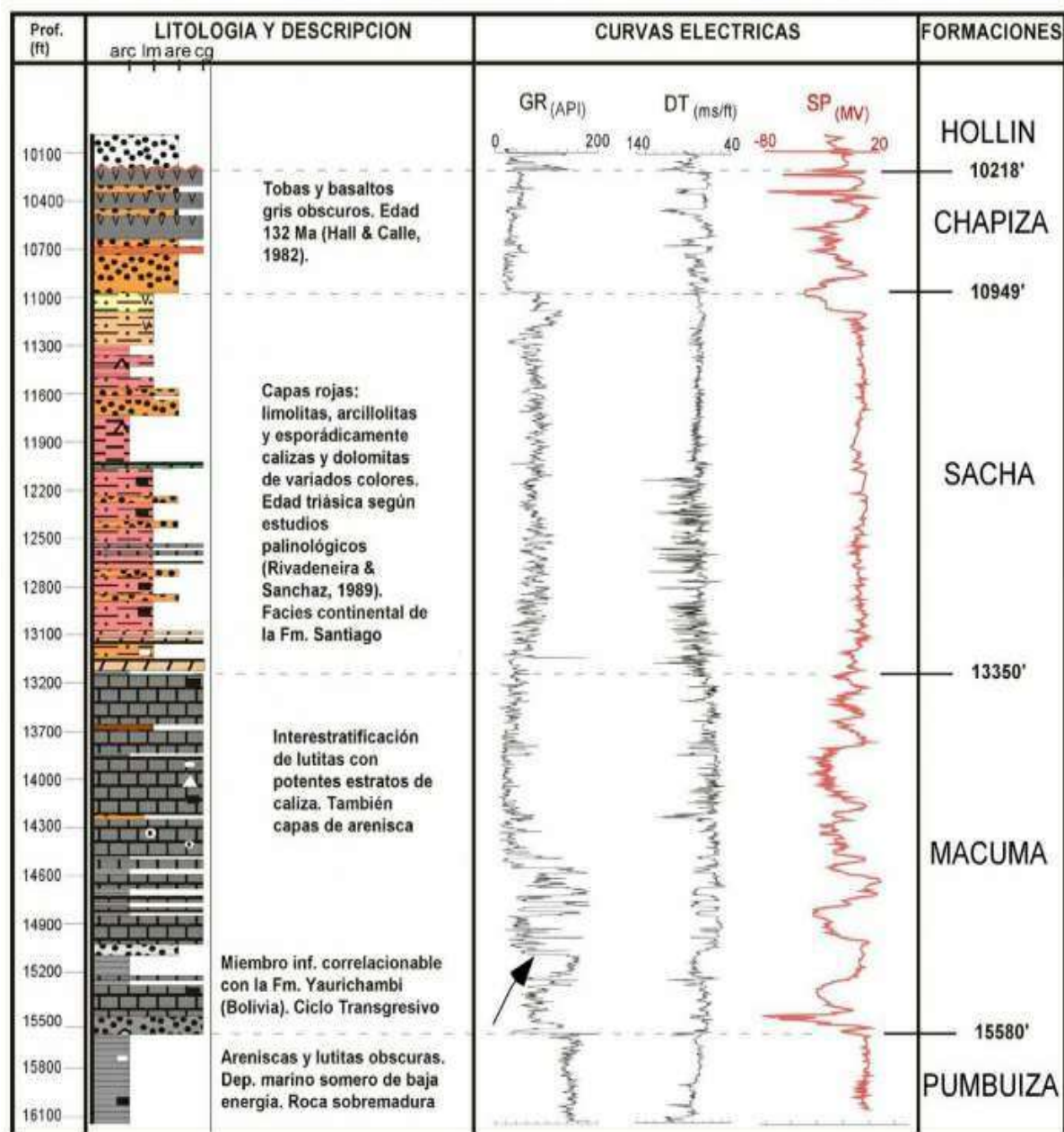
Hacia el tope se presenta una arenisca hialina, blanca, transparente a translúcido, friable en partes suelta, grano medio a fino, en partes muy fino, cuarzosa, subangular a subredondeado, moderado sorteo, cemento no visible, no visible porosidad. Regular presencia de hidrocarburo: 10- 20% de la muestra. Manchas de hidrocarburos en puntos y parches de color café oscuro. Con fluorescencia natural amarillo dorado brillante. Fluorescencia al corte blanco lechoso, rápido, radial, fuerte. Con L.U.V: Anillo residual café claro, fino.

Lutita: Negra, gris oscura, moderadamente dura a suave, fisil, laminar, sub- blocosa, cerosa, ligeramente calcárea.

Arenisca: Hialina, café claro, transparente a translúcida, suelta, grano medio a grueso,

cuarzosa, subangular a angular, buen sorteo, matriz no visible, cemento no visible, no visible porosidad. Regular presencia de hidrocarburo: TR-10% de la muestra. Manchas de hidrocarburos en parches y de color café oscuro. Fluorescencia natural amarillo dorado brillante. Fluorescencia al corte blanco lechoso, rápido, radial, fuerte. Con L.U.V: Anillo residual café claro, fino.

**Figura 4. LITOLOGÍA DEL CAMPO TAMBOCOCHA**



## 2.8. CALENTAMIENTO ELÉCTRICO

El calentamiento eléctrico puede clasificarse de dos formas, según la frecuencia y según la forma como se entrega la energía eléctrica, en lo que respecta a la entrega de la energía eléctrica existe el calentamiento directo y calentamiento indirecto, y por el tipo de frecuencia tenemos corrientes de baja frecuencia que están entre 50 - 60 Hz que se utilizan en los métodos de calentamiento resistivos/Óhmicos, corrientes de alta frecuencia que van en un promedio de 4250 MHz, cabe recalcar que cada tipo de calentamiento dependerá de las condiciones del reservorio y la completación del pozo.

El calentamiento directo es el de tipo óhmico este método ocurre en las cercanías de la cara de los pozos, un par de pozos productores pueden actuar de ánodo y cátodo aplicando un diferencial de potencial eléctrico entre ambos pozos y el agua del yacimiento actúa como conductor para la corriente, en el cual el material a calentar actúa como resistencia al flujo de la corriente eléctrica.

Para la generar las ondas de radio frecuencia se usa una válvula de vacío para generar la microonda, entre las válvulas de vacío se destacan los tríodos, las klistrón y los tubos de onda progresiva TWT, las ondas generadas son transferidas a través de dos electrodos en paralelo y el material a ser calentado se coloca entre los dos electrodos, (Davinson , 2004)

El indirecto es el calentamiento dieléctrico en el cual la energía eléctrica es convertida en radiación electromagnética no ionizante, como por ejemplo las ondas de radio frecuencia que van en el espectro electromagnético desde 0.003 a 300 MHz, y las ondas microondas que van en el espectro electromagnético desde 300 y 300000 MHz, y para logra esta frecuencia utilizamos un magnetrón, ocasionando que las microondas generadas son transferidos mediante una guía de ondas dirigidas a el cuerpo que se desea calentar( hidrocarburo pesado), y a su vez para mejorar la distribución de esta se debe usar un deflector. (Gonzales, 2018).

## 2.9. CALENTAMIENTO POR ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Uno de los métodos para aumentar el factor de recobro es el calentamiento electromagnético, generando calor en el pozo o en el yacimiento, mediante ondas electromagnéticas que provienen de cables o estructuras metálicas que son administradas y monitoreadas desde la superficie. Las ondas electromagnéticas fueron predichas por Maxwell en 1864, pero en 1888, Hertz fue quien demostró la existencia de ondas electromagnéticas, una de las aplicaciones del método de microondas es el horno de microondas. (González, 2018).

El calentamiento electromagnético consiste en que una onda electromagnética es expulsada por el dispositivo emisor para ello se puede utilizar ya sea una válvula de triodo o una válvula de magnetrón, hasta el yacimiento con petróleo crudo, mientras la onda se empieza a propagar por el yacimiento, los fluidos y la roca no permite que la onda fluya libremente ya que estas proveen resistencia, la intensidad de la onda se va atenuando y la energía de esta se transforma en calor, y esta a su vez irradia la formación produciendo que las moléculas del agua y todas las que pueden formar dipolos, roten o vibren por la presencia de un campo eléctrico, el movimiento de los dipolos también causa fricción de esta manera generaríamos calor, la velocidad de este movimiento es proporcional a la frecuencia de alternancia del campo eléctrico, semejante movimiento de las moléculas resulta en un calentamiento significativo del cuerpo irradiado.

Al utilizar este principio nos damos cuenta que durante el tiempo de implementación del método de calentamiento electromagnético, encontramos que es libre de compuestos tóxicos, no produce humo, se puede usar fuentes renovables para lograr generar las ondas electromagnéticas, para poder calentar el crudo el procedimiento es sencillo y los equipos de subsuelo operados desde la superficie cuentan con un sistema de apagado y encendido rápido. (González, 2018).

## **2.10. EFECTOS DEL CALENTAMIENTO ELÉCTRICO SOBRE EL PETRÓLEO**

### **2.10.1. La viscosidad**

La viscosidad es una propiedad que poseen los fluidos, es una medida que se refiere a la resistencia durante su desplazamiento mutuo entre dos capas líquidas, y su deformación, la viscosidad del crudo depende directamente de la presión y temperatura, a mayor temperatura la viscosidad empieza a disminuir, pero con la presión entre mayor sea esta la viscosidad será mayor, mientras que un decremento de presión en la cantidad de gas en solución en el líquido disminuye la viscosidad, siendo la cantidad de gas en solución una función directa de la presión. (Helbing, 1985). En el petróleo crudo la viscosidad es uno de los parámetros que puede ser afectado por el cambio de temperatura, el calentamiento eléctrico debido a la temperatura que logra elevar el yacimiento hace que la viscosidad del petróleo crudo disminuya entonces el petróleo adquiere una relación de movilidad más favorable o bien su flujo será mayor, este es el objetivo de administrar calor a la formación mediante las ondas electromagnéticas (Mott, 1996).

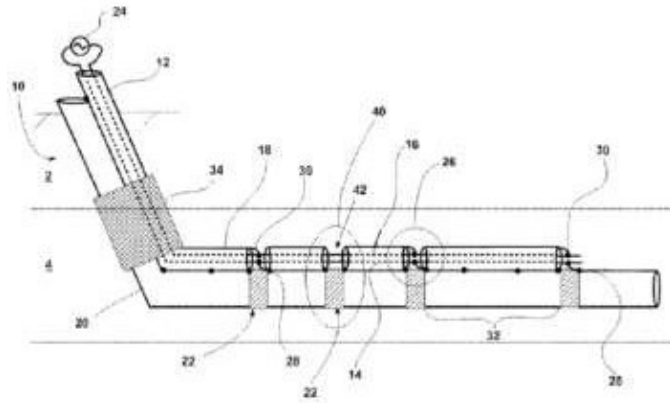
### **2.10.2. Incremento de la permeabilidad efectiva**

La permeabilidad efectiva del crudo incrementa gracias a los mecanismos electromagnéticos, por lo tanto, su movilidad aumenta y con ello, su producción, Aumenta aparentemente la permeabilidad absoluta en el caso de yacimientos de arenas, areniscas o lutitas hidratadas, puede aumentar aparentemente la permeabilidad absoluta, mientras se aplique corriente eléctrica, gracias a la Electro-Ósmosis.

### **Hinchamiento**

Junto con el incremento de temperatura, se manifiesta un incremento de presión que podría provocar que el crudo se hinche al hacer que fracciones de gas disuelto liberado se disuelvan nuevamente en el crudo (en el caso de yacimientos saturados), dependiendo de la presión, la temperatura y la composición del hidrocarburo. Aún si dichas fracciones de gas no se disolvieran nuevamente en el crudo, la entalpía del petróleo aumentaría provocando que de igual modo sus moléculas se hinchen.

### 2.10.3. LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL CALENTAMIENTO ELECTROMAGNETICO



1. **Ensamble del electrodo.** Consiste en segmentos de la tubería de revestimiento y juntas aislantes. Es prediseñado optimizando la potencia-gasto basado en estudios de las características del yacimiento.
2. **Unidad acondicionadora de energía.** Provee los mecanismos para modificar la línea de poder (generalmente 480 V, 50/60 Hz) a una forma apropiada para deliberarla hacia el yacimiento. Un rango de frecuencias puede ser producido para optimizar el consumo y repartición de energía. Típicamente las unidades acondicionadoras de energía están disponibles en módulos de 100 kW y pueden ser conectadas en paralelo o en serie para igualar los diferentes requerimientos de una aplicación en particular.
3. **Sistema de entrega de energía.** Consiste en tuberías, cables o la combinación de ambos. Este sistema esencial provee los medios para transportar la energía de una manera eficiente y segura.
4. **Sistema a tierra.** Designa la regulación del flujo de energía en el yacimiento.
5. **Sistema de monitoreo/grabación.** Provee el hardware y el software para controlar y monitorear, de manera manual o automática, la energía y las temperaturas a través investigaciones montadas en el sistema.



#### 2.10.4. MODELAMIENTO DEL EMH

El parámetro  $\epsilon$  es conocido como una constante dieléctrica compleja (Ayappa 1997), en la cual dicho parámetro contiene una parte real  $\epsilon'$  que representa la capacidad que tiene un material para almacenar energía eléctrica y, una parte imaginaria  $\epsilon''$  que está asociada con la capacidad de disipación de energía térmica que posee el material. Aunque también se puede obtener una representación más general llamada ecuaciones complejas, tales como:

$$\epsilon' = \text{Re}(\epsilon) - \ln\left(\frac{\sigma}{\omega}\right)$$

Sin embargo, algunos autores prefieren obviar la parte compleja ejecutando una simplificación de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\epsilon' &= \epsilon \\ \epsilon'' &= \left(\frac{\sigma}{\omega}\right)\end{aligned}$$

O expresarlas relacionándolas con el valor de la permitividad en el vacío de la siguiente forma

$$K'' = \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon_0}\right) K'' = \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon_0}\right)$$

Donde  $\kappa'$  es la constante dieléctrica relativa que describe la habilidad que tienen las moléculas para ser polarizadas por un campo eléctrico oscilante y  $\kappa''$  es el factor de pérdida dieléctrica relativa que mide la eficiencia en la cual la radiación electromagnética puede ser transformada en calor (Ayappa 1997).

Estas constantes son muy importantes porque nos ayudan a definir la profundidad de penetración de la onda y la capacidad de disipación del material en conjunto con otros parámetros como lo es la frecuencia. Ayappa en 1997 presentó la forma compleja de la siguiente manera:

$$\kappa = \alpha + i\beta$$

Estos parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  dependen de las propiedades dieléctricas y la frecuencia de la onda.

$$\alpha = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\frac{\kappa' \sqrt{1 + \tan 2\delta} + 1}{2}}$$

La constante  $\alpha$  representa el cambio de fase de la onda de propagación y la relación entre las longitudes de ondas para la radiación electromagnética en el medio respecto al vacío, se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha}$$

Por otro lado, la constante  $\beta$  es:

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\frac{\kappa'(\sqrt{1 + \tan 2\delta}) - 1}{2}}$$

$\beta$  Es una constante de atenuación adimensional. Esta ecuación es muy importante, ya que, el inverso de ella  $\beta^{-1}$  nos ayuda a cuantificar la profundidad de penetración que adquiere la onda, en el medio que la absorbe, como se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$\beta^{-1} = \frac{c}{2\pi f} \sqrt{\frac{2}{\kappa'(\sqrt{1 + \tan 2\delta}) - 1}}$$

$$\tan \delta = \frac{\kappa''}{\kappa'}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

**Teorema Poynting** Las ondas electromagnéticas como su palabra lo indica son ondas constituidas por un campo magnético y un campo eléctrico, estos campos viajan de manera simultánea y en forma sinusoidal. Estos campos están relacionados entre sí en cuanto a su magnitud como, por ejemplo, cuando ocurre un máximo del campo eléctrico también debe

ocurrir un máximo del campo magnético, pero cada campo está asociado de forma independiente en cuanto a su dirección, es decir, el vector del campo magnético es perpendicular al vector del campo eléctrico y estos dos campos a su vez son perpendiculares al vector de propagación de la onda. En el mismo vector en que se propaga la onda, se manifiesta también de forma perpendicular el vector Poynting que es el vector que cuantifica la energía que transmite la onda al medio que dicha onda atraviesa. La magnitud de este vector representa la rapidez con la cual la energía fluye a través de una unidad de volumen donde la cara superficial del medio es perpendicular a la dirección de propagación de la onda, es decir, representa la unidad de potencia por unidad de volumen.

$$s = \frac{1}{\mu_0} E \times B$$

Y la siguiente ecuación se utiliza para representar la energía que disipa el medio en función de las propiedades dieléctricas, la frecuencia, la permitividad al vacío y el campo eléctrico (Ayappa 1997).

$$p(r) = \frac{1}{2} (2) \omega \epsilon_0 k'' E \cdot E *$$

Conociendo esta ecuación podemos inferir que a altas frecuencias podemos suministrar mayor energía, pero con este tipo de frecuencia la onda tiene bajos valores de profundidad de penetración en el medio que se desea atravesar, es por eso, que se debe compensar estas dos situaciones utilizando una frecuencia que permita tener un óptimo en cuanto a la penetración y energía que se suministra, todo esto depende del objetivo que se quiere alcanzar. También debemos saber que la constante de pérdida dieléctrica depende de la frecuencia y en algunos casos esta distribución de valores en función con la frecuencia causa cambios muy significativos

### **2.10.5. RÉGIMEN DE FLUJO**

Estas ecuaciones describen un comportamiento para un radiador totalmente simple y básico y tomando en consideración la simetría radial del pozo. Sabiendo esto, se parte con un principio fundamental que ocurre en el proceso de transferencia de energía desde la onda electromagnética hacia el medio, primero se debe considerar el hecho de evaluar la transferencia de energía en una profundidad determinada del medio, luego se infiere por lógica, que la energía

disipada en este punto por el medio es igual al cambio de energía que pierde la onda en el mismo instante que atraviesa este punto, al tener en cuenta que la única manera en que la onda electromagnética pierda energía.

$$\frac{d\phi}{dx} = -\frac{1}{2}\alpha_{ab}\phi(x)$$

$\phi(x)$  es la densidad de energía expresada en *Watts cm* 3.

$x$  es la coordenada de posición y se expresa en *cm*.

$\alpha_{ab}$  es el coeficiente de absorción y se encuentra expresado en *1 cm*.

El coeficiente de absorción  $\alpha_{ab}$  es igual a:

$$\alpha_{ab} = 0,002\alpha_e$$

Donde  $\alpha_e$  es:

$$\alpha_e = \frac{\omega^2 \mu \epsilon}{2} \left( \left( 1 + \left( \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right)$$

$$\frac{d\phi(r)}{dx} = \left( \alpha_{ab} - \frac{1}{r} \right) \phi(x)$$

### **Régimen de flujo estable.**

En este punto se analizará la distribución de la temperatura que ocurre en el medio en función del radio, cuando no existe variación de la temperatura en el tiempo además dentro de estas evaluaciones no se considerará el calentamiento por conducción.

$$T(r_0) = T_0 + \frac{P_0 e^{-a(r-r_0)}}{4.18\rho_0 q_0 S_0}$$

### **Energía Disipada.**

De las ecuaciones de Maxwell se puede derivar la siguiente expresión simplificada del poder disipado, o energía absorbida, o tasa de generación de calor en un volumen poroso V

determinado es producido por el fenómeno de atenuación de la onda electromagnética y de puede ser calculado con la siguiente expresión

Donde:

$$P_{ave} = w \epsilon_0 \epsilon'' E^2 V [\text{watts}]$$

$$P_{ave} = \sigma E^2 V [\text{watts}/m^3]$$

$E$  = la fuerza del campo eléctrico generalmente en [voltios/metro]  $F$  = la frecuencia del microondas [Hz]

$\epsilon_0$  = la permitividad del espacio libre =  $8.8541878176 \times 10^{-12}$  F/m

$\epsilon''$  = el factor de perdida dieléctrica

$\omega$  = Frecuencia angular =  $2\pi f$  siendo  $f$  la frecuencia

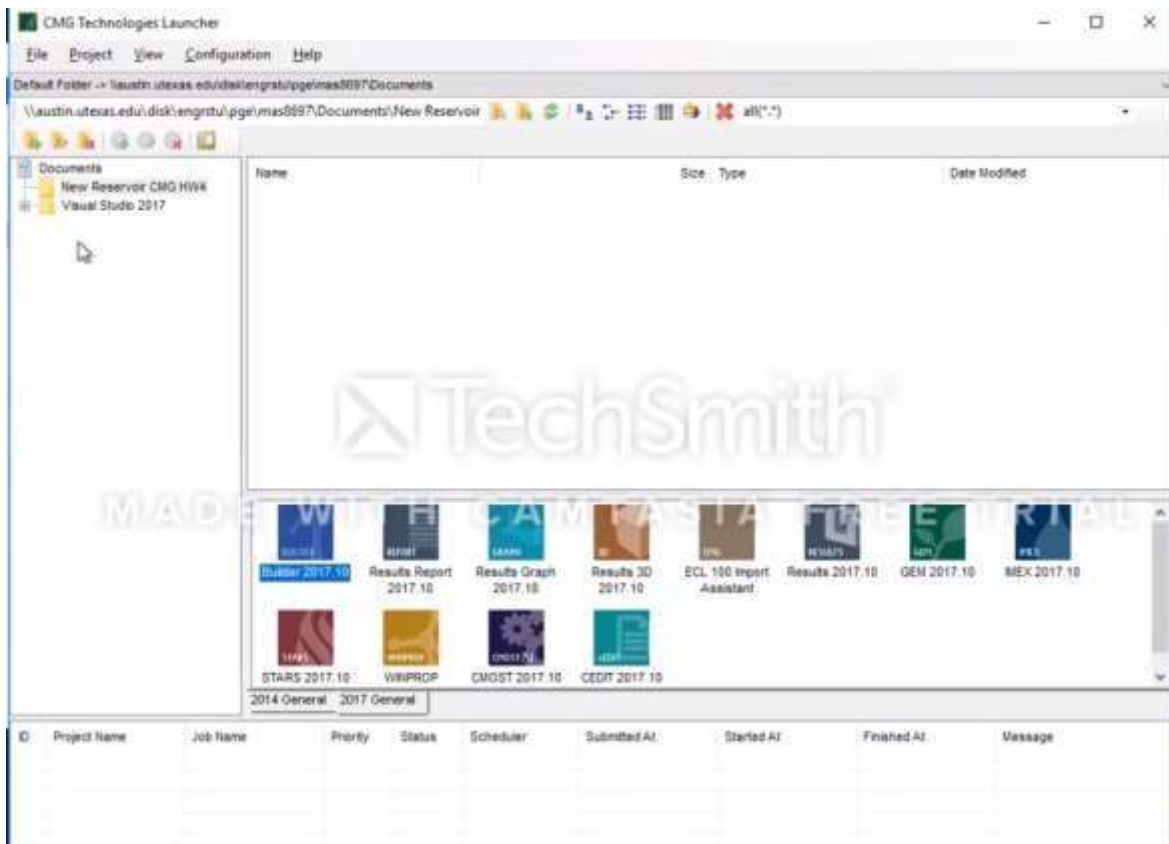
$\sigma$  = conductividad eléctrica (mho/m) =  $\omega \epsilon_0 \epsilon''$  para altas frecuencias

## PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN

Es importante conocer la profundidad de penetración de la onda por debajo de la superficie del material a calentar, ésta, es la distancia en la cual la potencia de una MO o una ORF disminuye  $e^{-1}$ , es decir, 36.8% de su valor transmitido. Nótese que, a mayor longitud de onda, es decir, menor frecuencia, se obtiene mayor penetración.

$$dp = \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{2}\epsilon'} (\kappa'(\sqrt{1 + \tan^2\delta}) - 1)^{-0.5}$$

## 2.10.6. CMG TECHNOLOGIES LAUNCHER



("Launcher") es una aplicación de gestión de proyectos que le permite realizar un seguimiento de sus simulaciones CMG y lanzar trabajos desde una ubicación. Usando Launcher, puede configurar proyectos y carpetas en su computadora para contener archivos de simulación relacionados.

A partir de estos proyectos, puede:

- Inicie Builder para configurar su conjunto de datos
- Iniciar un trabajo de simulador
- Cargar gráfico de resultados o resultados 3D para analizar resultados de simulación

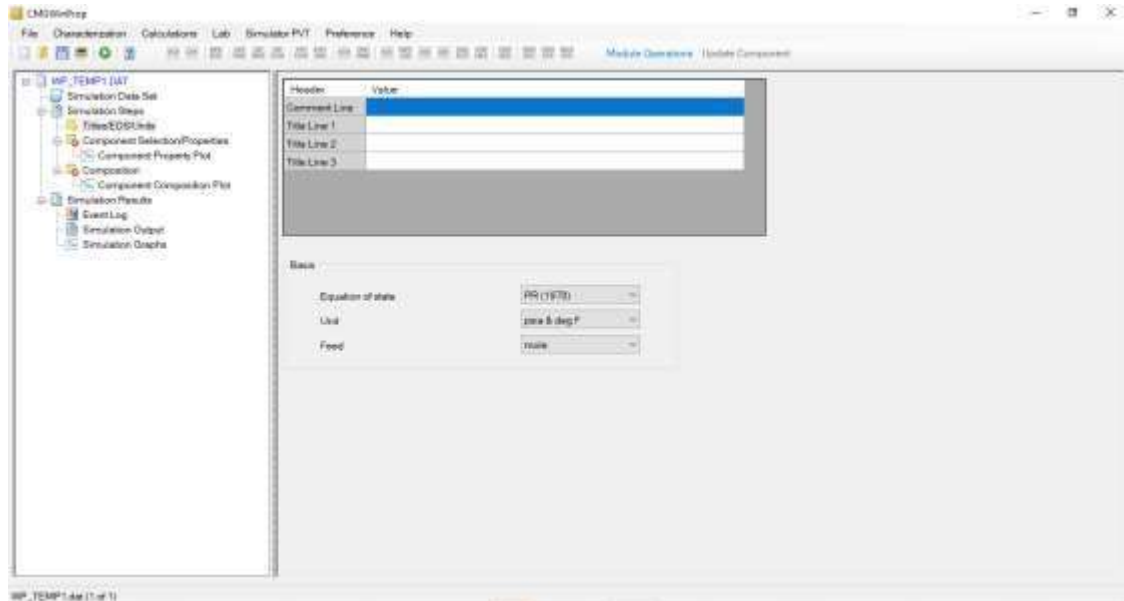
Launcher garantizará que los trabajos se ejecuten en orden para que cada trabajo tenga acceso a los recursos informáticos que necesita. Puede usar el Iniciador para enviar trabajos a tecnologías de clúster informático como Microsoft HPC Server o IBM Plataforma LSF, o a una colección de computadoras que ejecutan el Servicio de trabajos CMG. Launcher utiliza arrastrar y soltar para iniciar simuladores y aplicaciones. Puede agregar iconos para otras aplicaciones al área de iconos de la aplicación Launcher.

## **WINPROP – CMG**

WinProp es la ecuación de CMG del paquete de propiedades de equilibrio de estado multifásico que ofrece caracterización de fluidos, agrupamiento de componentes, comparación de datos de laboratorio mediante regresión, simulación de procesos de contacto múltiple, construcción de diagramas de fase, precipitación de sólidos y más. Los experimentos de laboratorio considerados en WinProp incluyen recombinación de separador de petróleo y gas, mediciones de compresibilidad, expansión de composición constante, liberación diferencial, prueba de separador, agotamiento de volumen constante y prueba de hinchamiento. Puede usar WinProp para analizar el comportamiento de fase de los sistemas de gas y petróleo de yacimientos, y para generar propiedades de componentes para el simulador de composición CMG GEM, el simulador de aceite negro IMEX y el simulador térmico de vapor y aditivos STARS.

## 2.10.7. ELEMENTOS DE LA VENTANA DEL PROGRAMA WINPROP

La siguiente pantalla muestra las áreas principales de la ventana del programa WinProp:



La vista de árbol en el lado izquierdo de la ventana del programa muestra la estructura del conjunto de datos. Al seleccionar cualquier nodo en la vista de árbol haciendo clic con el mouse o usando las teclas de flecha, se muestra la información asociada con ese nodo en el área de Entrada de datos y resultados a la derecha.

El nivel superior del árbol proporciona el nombre del conjunto de datos en mayúsculas, " Data Set Name" en el ejemplo anterior. El nombre del archivo que contiene el conjunto de datos es el nombre del conjunto de datos seguido de data, por ejemplo, " Data Set Name.dat". Debajo del nivel superior hay tres nodos:

- Simulation Data Set: muestra el archivo de entrada de palabras clave para la ejecución de la simulación.
- Simulation Results: muestra los resultados de la simulación.

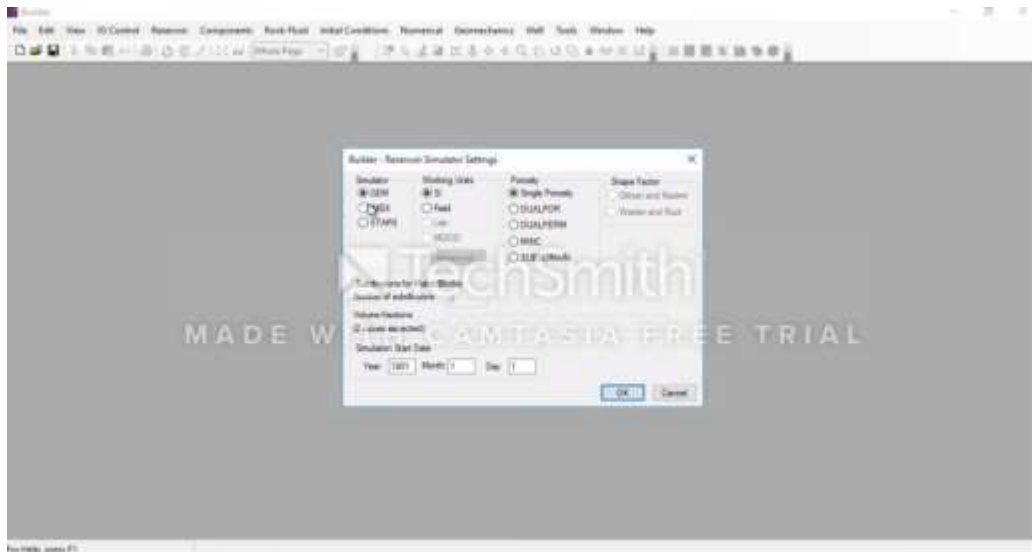
De forma predeterminada, Pasos de simulación contiene tres nodos, en orden:



- Titles/EOS/Units: para documentar la ejecución, seleccione el sistema de unidades y elija la ecuación de estado (EOS) que se utilizará para todos los cálculos incluidos en el conjunto de datos.
- Component Selection/Properties: para seleccionar y editar componentes.
- Composition: para especificar la composición del sistema. Tenga en cuenta que se pueden agregar nuevos pasos de definición de composición en cualquier punto del conjunto de datos.

## 2.10.8. BUILDER – CMG

*Figura 5. BUILDER – CMG*



Builder es una herramienta de software basada en Microsoft Windows que puede usar para crear archivos de entrada de simulación (conjuntos de datos) para simuladores CMG. Los tres simuladores CMG: IMEX, GEM y STARS, son compatibles con Builder. Builder cubre todas las áreas de entrada de datos, incluida la creación e importación de cuadrículas y propiedades de cuadrícula, ubicación de pozos, importación de datos de producción de pozos, importación o creación de modelos de fluidos, propiedades de fluidos de roca y condiciones iniciales. Builder contiene una serie de herramientas para la manipulación de datos, la creación de tablas a partir de correlaciones y la verificación de datos. Le permite visualizar y verificar sus datos antes de ejecutar una simulación.

### **2.10.9. STARTING BUILDER**

Antes de iniciar Builder, debe configurar un directorio de proyecto dentro del CMG Technologies Launcher. Si necesita convertir cualquier mapa de contorno o archivos de mapa de malla, esto también debe hacerse antes de iniciar Builder. Para iniciar Builder desde CMG Technologies Launcher para crear un nuevo conjunto de datos:

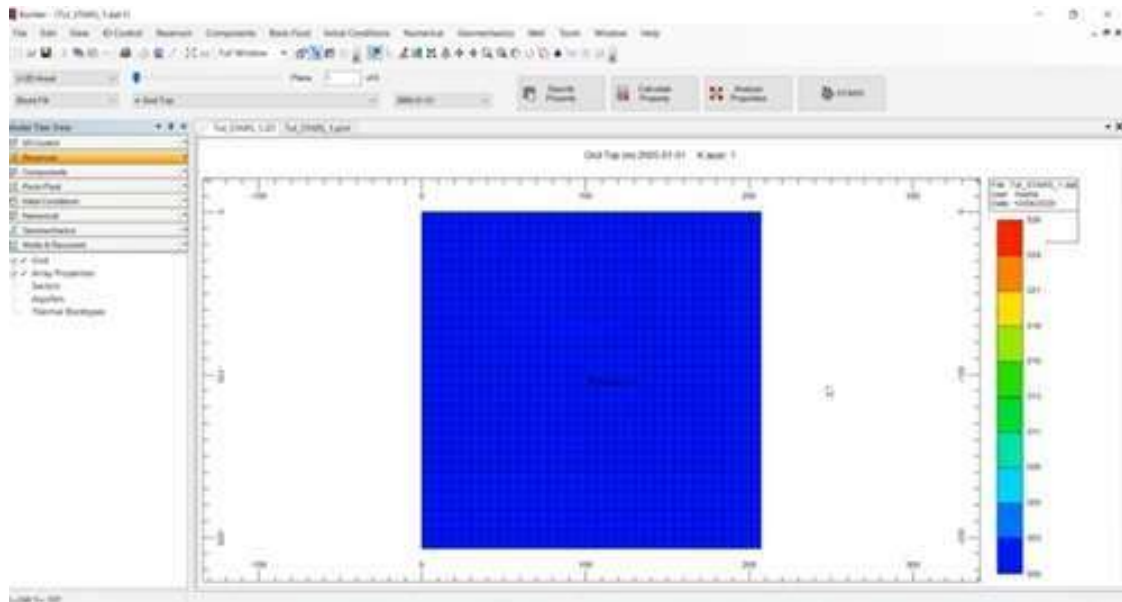
1. En CMG Technologies Launcher, abra el Generador haciendo doble clic en el icono del Generador.
2. Haga clic en Archivo | New. Se muestra el cuadro de diálogo Configuración del simulador de depósito:
3. En Simulador, seleccione el simulador que usará.
4. En Unidades de trabajo, seleccione el sistema de unidades a utilizar.
5. Si estaba creando un conjunto de datos STARS, se habilitará el botón Avanzado ... Actualmente, esto se utiliza para especificar las unidades "Except" (consulte la palabra clave \* EXCEPT en la Guía del usuario de STARS). Consulte Especificación de unidades "Except" en STARS.
6. En Porosidad, seleccione Porosidad simple o una de las opciones de porosidad dual. Algunas de las opciones de doble porosidad permitirán la entrada de Factor de forma o Subdivisiones para la entrada de Bloques de matriz.
7. Ingrese la Fecha de inicio de la simulación. Esta suele ser la fecha de inicio de la producción o inyección en el pozo más temprano.
8. Haga clic en Aceptar para aplicar su configuración.

### **2.10.10. SIMULADOR START – CMG**

Start de la compañía CMG, es un simulador numérico en la industria petrolera encargada de simular procesos de recuperación de crudo con procesos térmicos y avanzados tales como: inyección de vapor, solventes, aire y productos químicos, START es un simulador completo y es utilizado para modelar los siguientes procesos de recuperación mejorada.

- Procesos Térmicos: Inyección eléctrica, Inyección de agua caliente, inyección continua de vapor, inyección cíclica de vapor, Drenaje Gravitacional Asistida por Vapor SAGD, combustión in situ convencional y en reverso.
- Procesos Químicos: Inyección de polímeros, surfactantes, álcalis, ASP (álcalis, surfactantes y polímeros).
- Modelización de pozos complejos (dispositivos de control de flujo, flujo transitorio).

**Figura 6. SIMULADOR START – CMG**



## **CAPITULO III**

### **3.MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se describe la metodología para llevar a cabo la simulación numérica conceptual de un pozo en el campo ishpingo usando los parámetros que lo describen como un campo de crudos pesado y extrapesados, en dicha simulación se procedió a evaluar el efecto de un calentamiento electromagnético aplicado en el campo ishpingo con una herramienta en la recuperación mejorada de petróleo y en el mejoramiento de crudo de subsuelo.

Se describe el yacimiento utilizado y los parámetros establecidos para el modelaje de la simulación, el procedimiento que se aplicó para acoplar la tecnología del calentamiento electromagnético en un simulador de yacimientos(STAR), se presentan los cálculos realizados para determinar las propiedades dieléctricas de cada uno de los materiales utilizados en este método y se describe el comportamiento yacimiento- calentamiento electromagnético debido a que en la actualidad no existe un simulador comercial neto que describa el calentamiento eléctrico en los yacimientos. (Somogyi, 2004).

#### **3.1. CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO**

El área de estudio está enfocada en el campo Tambococha por cuanto, a sus características de crudos pesados con 16° API, por esta razón fue seleccionado para la aplicación de ondas electromagnéticas, el modelo del reservorio tiene un pozo vertical con una profundidad 5.453 ft, ya que su arena productora es la M1, y dicha arena se encuentra entre un rango aproximado de 5.427ft -5.501ft.

#### **3.2. CREACIÓN DEL CRUDO PESADO PARA LA SIMULACIÓN**

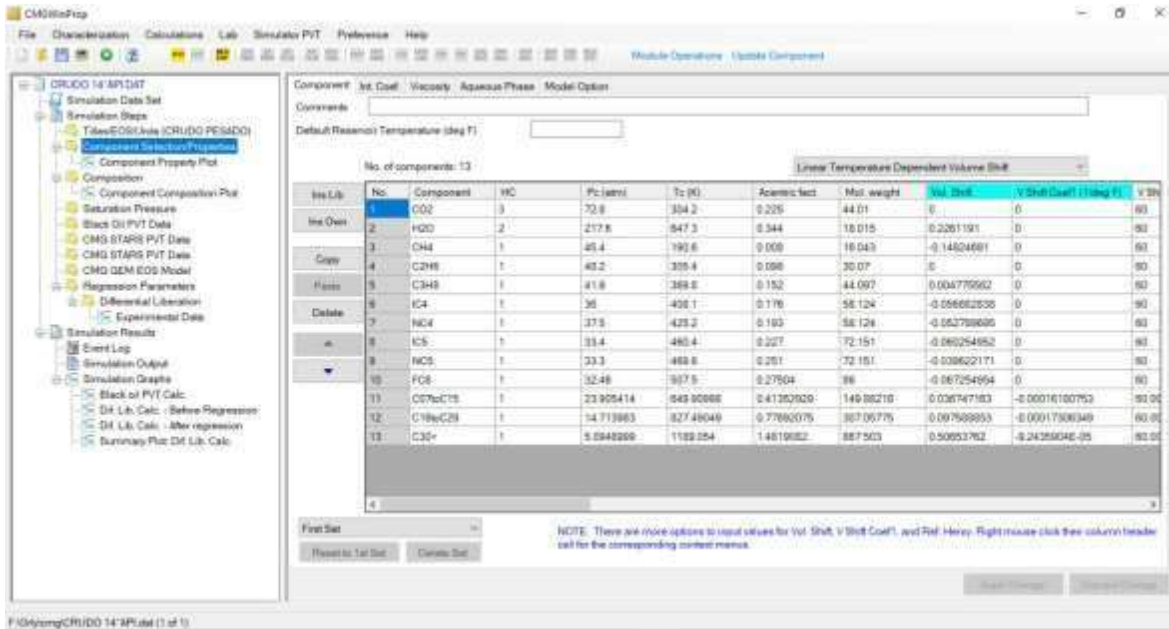
Con la herramienta Winprod podemos modelar el tipo de fluido utilizado, aquí insertamos información con datos del crudo pesado que encontramos en el campo Tambococha como por ejemplo, la viscosidad, la densidad, el factor volumétrico de la formación,

composición del fluido, la relación gas-petróleo y la gravedad API°, mediante estas características podremos simular el fluido que va a estar presente en el reservorio, realizando esta creación de crudo con la herramienta WinProp, dicha herramienta nos asigna un archivo de salida que luego se ingresa a la herramienta Builder de modelo del reservorio.

***Tabla 1. Elementos que componen el petróleo***

ELEMENTOS QUE COMPONEN EL PETRÓLEO	
Elemento	Proporción
Carbono	83-87%
Hidrógeno	10-14%
Nitrógeno	0.1-2%
Oxígeno	0.05-1.5%
Sulfuro	6%
Metales (Ni-V)	<1000p pm

**Figura 7. Creación del crudo para pesado para la simulación**

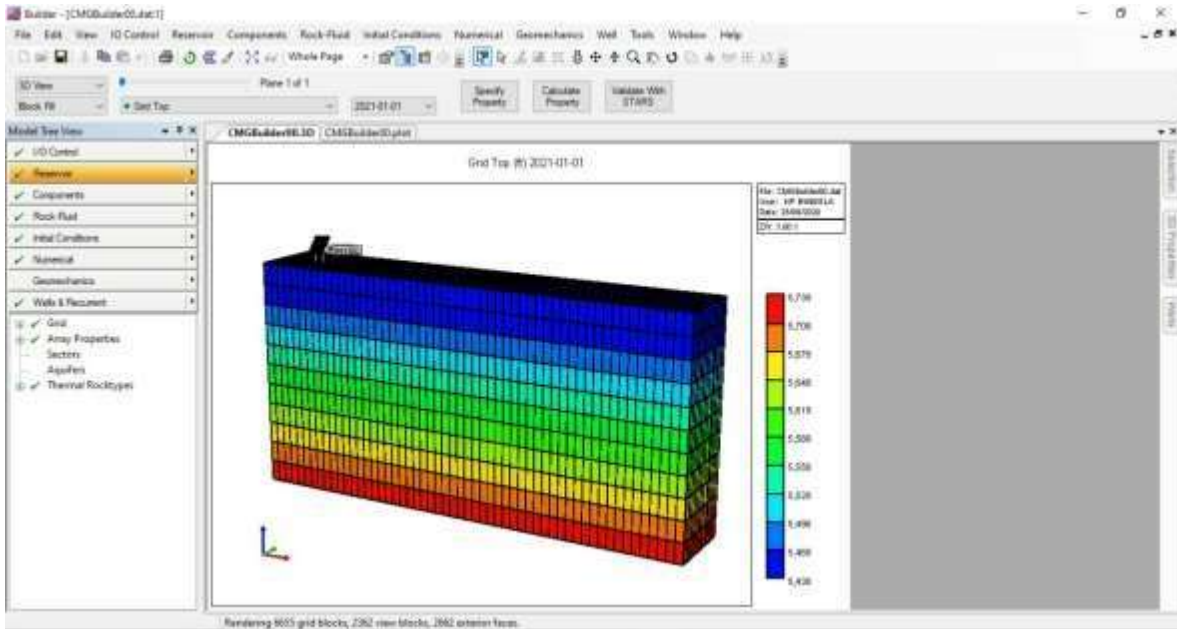


### 3.3. CREACIÓN DEL MALLADO

Esta simulación se basa en un mallado en el que, si incluye un pozo, este consiste en un modelo cartesiano con las siguientes dimensiones, en la dirección i 60 celdas, en la dirección j con 3° celdas y la dirección k con 88 celdas, dichas direcciones generan un modelo de 158400 celdas, para lego extraer el submodelo utilizamos la herramienta Builder.

En esta herramienta seleccionamos la opción Edit Grid, luego la opción Resvoir, y finalmente seleccionamos extraer submodelo, siguiendo estos pasos obtenemos un submodelo con dirección I de 9843 pies, en la dirección j 4921, y un espesor de 14436 en el eje K, lo que representa el 90% del campo Tambococha, se puede apreciar una simulación de lo que sería tal yacimiento con el pozo inyector de ondas electromagnéticas, tomando en cuenta las propiedades térmicas del yacimiento.

**Figura 8. Creación del mallado**



### 3.4. SIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Esta metodología tuvo que ser acoplada debido a que no existe en la actualidad un simulador o herramienta numérica que sea capaz de determinar los fenómenos que se encuentra asociados a un calentamiento eléctrico en un yacimiento de petróleos pesados, sin embargo , en el simulador de yacimientos llamado CMG, desarrollada por la compañía Computer Modelling Group, se realizó cálculos de fenómenos térmicos, momento, masa, energía y tasa de producción de cada uno de los fluidos que se encuentran en el yacimiento.

El simulador CMG nos ofrece 3 herramientas que nos ayudaran las cuales se usaron para poder simular este método electromagnético, la primera herramienta Winprod nos ayudara a crear un crudo con las propiedades del campo ishpingo, con la herramienta Build diseñaremos el reservorio y así poder modelarlo con el simulador Stars, finalmente Result Graphs es la opción que nos mostrara los gráficos.

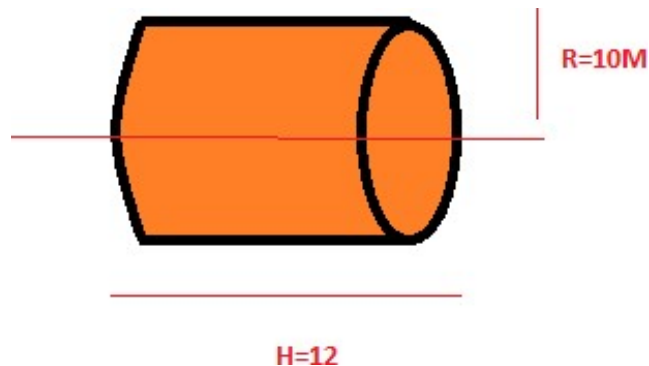
Para aplicar este método suponemos que las propiedades dieléctricas son constantes con

la temperatura en todo el yacimiento, parámetros como la permeabilidad y porosidad son constantes en todas las direcciones, dicho medio poroso es homogéneo, debido a estas suposiciones se podría decir que la propagación de la onda electromagnética se modela solo de manera radial.

### 3.5. DEFINICIÓN DE SLOTS

Se procedió a definir slots de forma radial, utilizándolos en un conjunto de slots paralelos al eje de los radiadores, esto hace que se origine un campo con un patrón de distribución del campo eléctrico uniforme, en esta parte de la metodología se analizara la polarización del campo eléctrico en función del conjunto de slots que se establecieron en la envoltura de los radiadores, para que la polarización paralela o perpendicular al eje obtenga una configuración eficiente.

*Figura 9. SLOTS*



### 3.6. INDUCCIÓN DE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS

En este punto con los valores de  $\epsilon'$  y  $\epsilon''$  calculamos la potencia absorbida, tanto como para materiales individuales, para los crudos y roca, las constantes dieléctricas son medidas en bajas y altas frecuencias en este caso se utilizó una frecuencia alta de (397 a 2986 MHz), y temperatura inicial del campo Tambococha y se estableció una temperatura límite 140°F, tomando en cuenta la parte de que los fluidos no lleguen a su punto de ebullición.

La densidad de la potencia disipada es definida para determinar la cantidad de potencia suministrada al medio, para determinar la cantidad de potencia suministrada por los radiadores se definen por la cercanía al radiador, en los límites del cilindro evaluamos la cantidad de



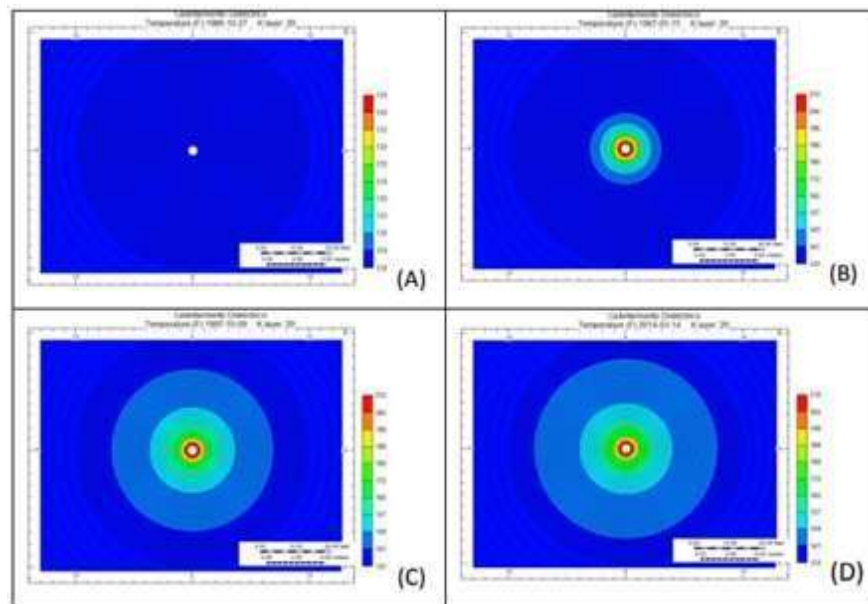
potencia que no pudo llegar al medio

### 3.7. MODELAMIENTO DE CALENTAMIENTO RADIAL

Este modelo de calentamiento radial para el caso de la simulación utilizando los datos del campo Tambocha es caracterizado por alcanzar una mayor área de calentamiento, pues el calor es esparcido por todo el reservorio. Este método fue estudiado para evaluar el calentamiento dieléctrico en varios yacimientos de crudos pesados de propiedades dieléctricas conocidos (Ovalles, 2002). El modelo de calentamiento radial es una herramienta que logra alcanzar temperaturas mayores a 140°C y obtener una gravedad API > 18°.

La simulación empieza con un tiempo de 0 días, se evalúa en un periodo de 2 años luego en 4 años, y alcanza su temperatura máxima para un tiempo de 6 años, la temperatura máxima para la sensibilidad de 1Kw se refiere al equilibrio térmico que existe por la influencia hacia el reservorio a pozo cerrado.

*Figura 10. Modelamiento de Calentamiento Radial*



### 3.8. ARREGLO DEL ENMALLADO

La cantidad de celdas utilizadas fueron acopladas para que sean apropiadas para optimizar el tiempo de ejecución en el simulador, los datos deben ser procesados para que se

genere una transferencia de calor que pueda ser lo más parecida al comportamiento de los radiadores.

En el simulador Cmg consta con la herramienta Stars, en la cual encontramos la opción Heatr la cual es una transferencia de calor constante a los bloques del enmallado, con esta opción al hacer run, se obtiene un perfil de temperaturas, luego con esto, podríamos pasar a la opción UHTR, la cual nos da un valor que se refiere a un coeficiente de calor proporcional que es limitado por Tmpset, la cual es una temperatura asignado por dicho perfil de temperatura, mediante estas opciones se puede establecer una herramienta que opera variando la potencia que entregamos al yacimiento.

Estos comandos trabajan como si fueran una fuente de calentamiento con ON/OFF que permite asignar una transferencia de calor proporcional, la fuente se apagara cuando la temperatura de celda este por encima de la temperatura limite, mientras no llegue hasta este punto la fuente seguirá encendida.

$$UHTR = \frac{Potencia(x)}{TMPSET - T_{yac}}$$

## **CAPITULO IV**

### **4.RESULTADOS**

En este capítulo, describe los resultados que obtuvimos mediante la simulación, donde se analizaran los parámetros operativos, que influenciaron a la aplicación del método de calentamiento electromagnético en el campo Tambococha con un pozo de con una profundidad de 5450 ft.

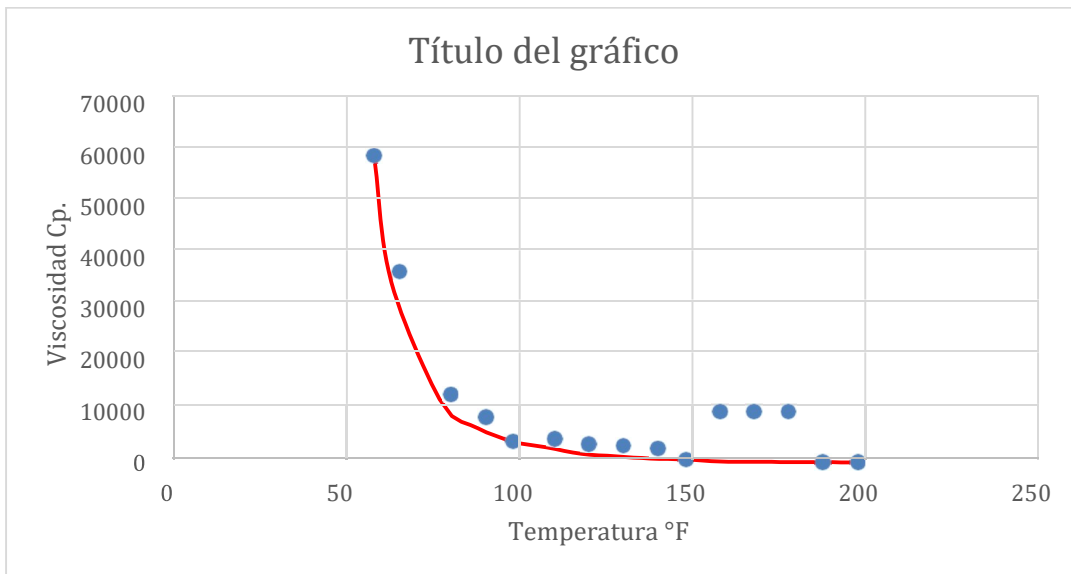
#### **4.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MODELO DEL YACIMIENTO**

Mediante la simulación de yacimiento con las características del campo Tambococha iniciamos con una temperatura de 130°F con una presión de 1500 Psi y con 16° API, para el incremento de la producción se utilizó una sensibilidad optima de un 1 KW, con esta cantidad de potencia que es entregado al reservorio sea suficiente para mantener el perfil de temperatura que ese estudia en este caso con la relación a la producción, el incremento de la tasa de producción fue aproximadamente de un 43%, se puede observar que la producción aumenta en un valor de 60110 Bpd en 8 años.

#### **4.2. CAMBIO DE LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN A LA TEMPERATURA**

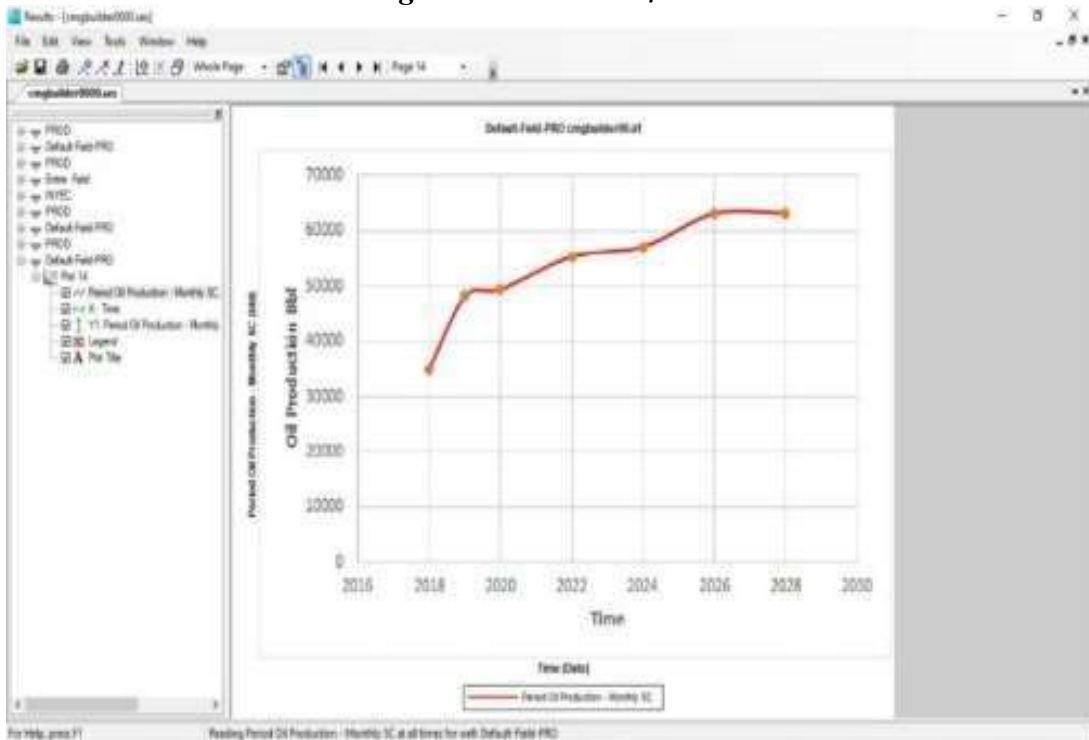
Al inicio de la simulación el yacimiento se encuentra a una temperatura de 65°C hasta el año 2020, a partir de este punto se implementa el calentamiento electromagnético la temperatura empieza a aumentar inmediatamente hasta llegar 89°C, un punto de referencia es 10% menos del punto de ebullición del agua, haciendo que la viscosidad del petróleo crudo se reduzca como se muestra en la figura 7, al aumentar la temperatura de 65° a 89°F, la viscosidad disminuyó de 60000 a 8.400 cp.

**Figura 11. Cambio de la viscosidad en función a la temperatura**



### 4.3. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

**Figura 12. Producción de petróleo**



La Grafica 8 nos muestran la producción de petróleo y la producción de agua vs tiempo, en este caso el tiempo es de 8 año, esto nos da como resultado una producción de petróleo mayor a la producción de agua en un periodo de 8 años, iniciando en el año 2020 hasta el 2028, se puede observar que la producción de petróleo en ese periodo se incrementa alcanzando una producción de 63.110 Bpd.

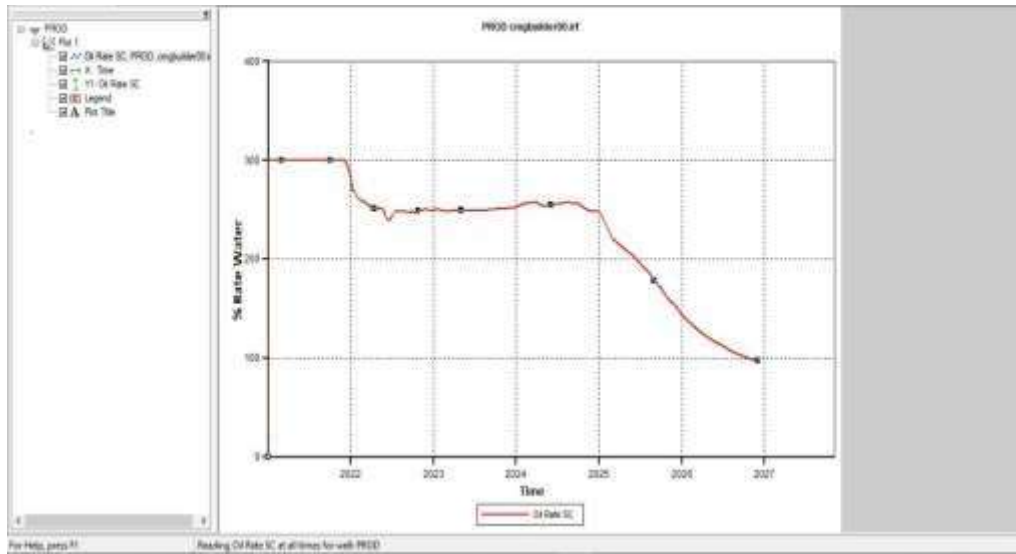
#### **4.3.1. PRESIÓN DEL RESERVORIO DURANTE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO**

El comportamiento de la presión del yacimiento desde el inicio y durante su vida productiva, la presión empieza a aumentar hasta los 2 años, debido a que el petróleo se empieza a calentar el factor volumétrico del petróleo aumenta haciendo que la presión incremente, favoreciendo esto al aumento de la producción de petróleo , luego en el tiempo de 4 años la expansión de la onda logra alcanzar su máximo calentamiento radial, hasta el año 6 la presión fue aumentando constantemente, ocasionando que la producción alcance un pico de 63.110 Bpd, pero a partir del año 7 hasta el año 8 la presión empieza a descender y la producción empieza a descender en una factor mínimo.

#### **4.3.2. CORTE DE AGUA**

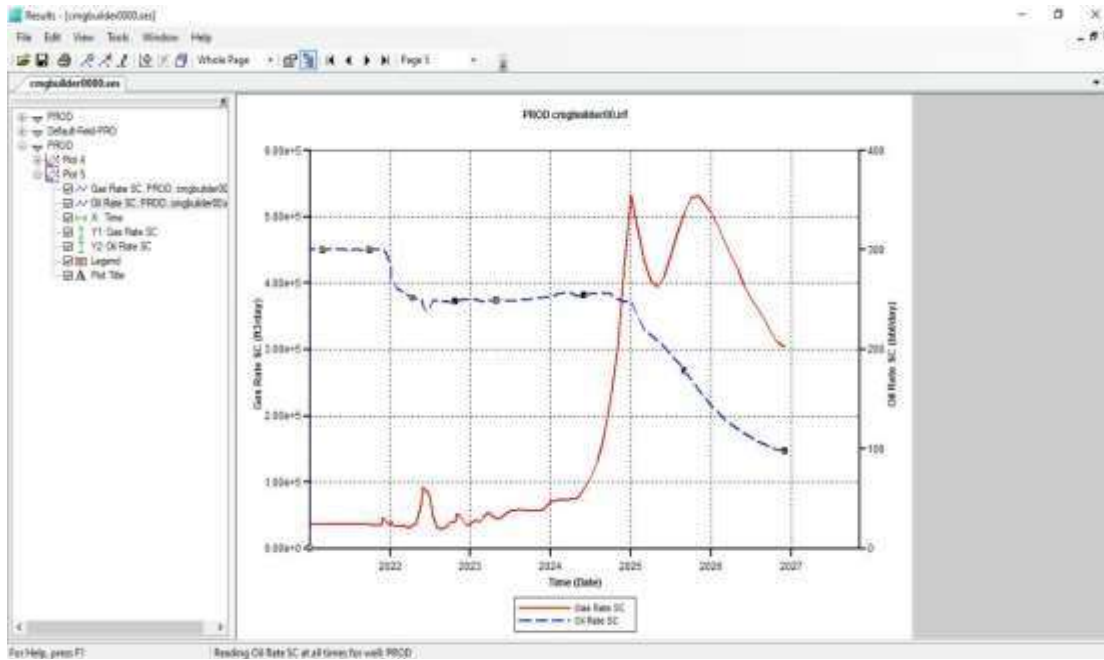
La grafica nos muestra el corte de agua que tenemos durante la producción de petróleo, el corte de agua durante el tiempo antes de la aplicación de ondas electromagnética era de 3 a 2.5%, pero luego de la aplicación del método el corte de agua se redujo en un 2%, manteniéndose en un rango de 1% durante dos años como se muestra en la figura.

*Figura 13. Corte de agua*



#### 4.1 RELACION GAS PETROLEO

*Figura 14. Relación gas petróleo*

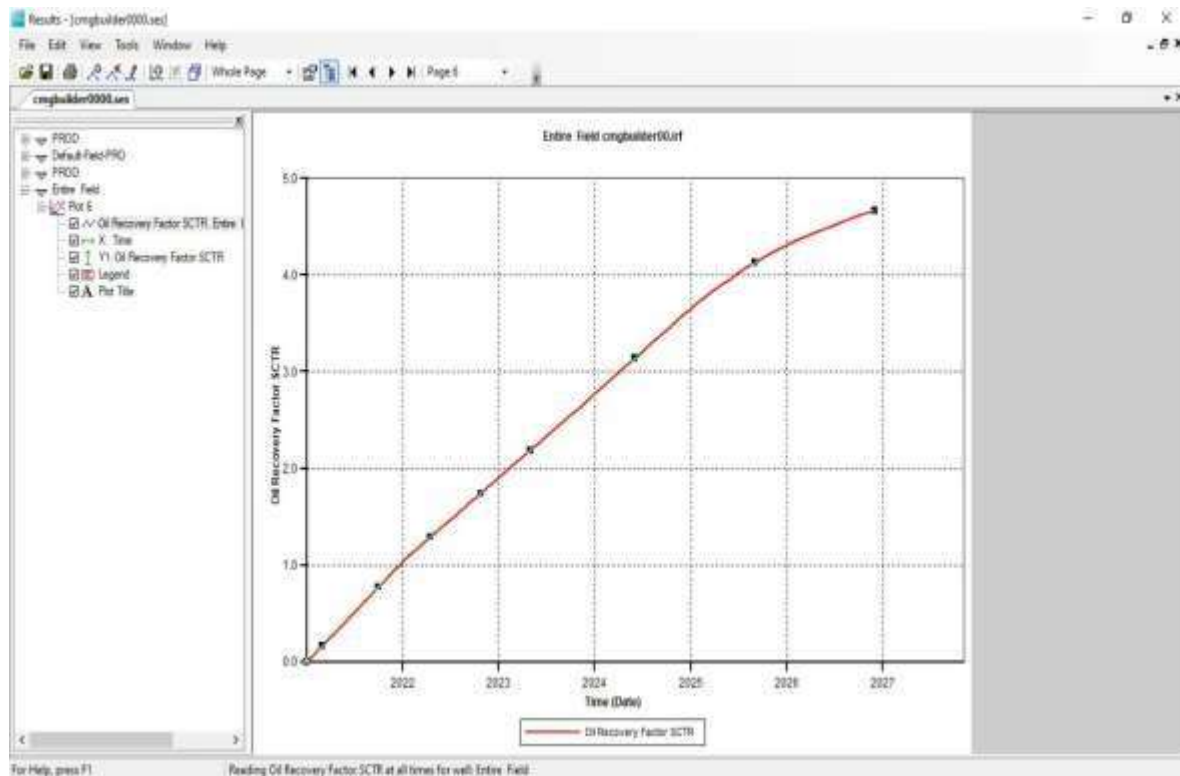


En la siguiente figura se muestra la relación de gas petróleo vs el tiempo, podemos observar que este va aumentando a través del tiempo antes de la aplicación del calentamiento electromagnético, pero luego de la aplicación del método en la simulación la relación disminuye aproximadamente de 450PCN/BN a 150 PCN//BN.

#### 4.4. FACTOR DE RECOBRO

La Grafico 11 nos indica que la producción de petróleo antes del calentamiento electromagnético tenía una tasa de declinación aproximadamente de 16.3% anual, hasta la fecha que se aplicó la técnica el campo producía aproximadamente 49400 Bpd, y luego de la aplicación del método la simulación nos muestra un aumento a 63110 Bpd, representando un aumento de factor de recobro de un 4,7%.

*Figura 15. Factor de recobro.*



## **4.5. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Para realizar el proyecto es importante considerar el análisis económico, para verificar y determinar si el proyecto es rentable y viable, ya que el monto de lo producido debe ser mayor a los costos de operación e ingresos de la empresa, seguido de esto verificamos las ganancias durante la vida productiva del pozo, haciendo una estimación con valores que son considerados en la actualidad.

### **4.5.1. PROYECCIÓN DE COSTO DE PETRÓLEO DEL ORIENTE ECUATORIANO**

Basándonos en los datos del sector petrolero del banco central del Ecuador, en la actualidad tenemos un promedio de \$39 por barril, para la proyección del costo se tomó este valor como constante durante los 8 años de la simulación, la inversión que se genera inicialmente es por los siguientes motivos, exploración de pozos, pozo inyector de ondas electromagnéticas, mantenimiento del personal, el costo sería de \$10'500.400.



#### 4.5.2. TABLA DE VALORES

*Tabla 2. Análisis Económico*

AÑOS DE PRODUCCIÓN	BARRILES DE PRODUCCION ANUAL	COSTO DEL BARRIL ANUAL	INGRESOS (PRODUCCIÓN ANUAL)	EGRESOS TOTALES	GANANCIAS
<b>AÑOS</b>	Bbls	\$ x Bbls	\$ x Bbls	18 \$/Bbls	INVERSIÓN INICIAL \$10.500.400,00
2020	49.200,00	\$39,00	\$1.918.800,00	\$885.600,00	\$1.033.200,00
2021	52.456,00	\$39,00	\$2.045.784,00	\$944.208,00	\$1.101.576,00
2022	55.300,00	\$39,00	\$1.566.700,00	\$995.400,00	\$1.161.300,00
2023	56.425,00	\$39,00	\$2.200.575,00	\$1.015.650,00	\$1.184.925,00
2024	57.090,00	\$39,00	\$2.226.510,00	\$1.027.620,00	\$1.198.890,00
2025	57.000,00	\$39,00	\$2.223.000,00	\$1.026.000,00	\$1.197.000,00
2026	63.079,00	\$39,00	\$2.460.081,00	\$1.135.422,00	\$1.324.659,00
2027	63.100,10	\$39,00	\$2.460.903,90	\$1.135.801,80	\$1.325.102,10
	516.761,10	\$312,00	\$20.153.643,90	\$9.301.681,80	\$10.851.962,10

Ya obteniendo el Flujo Efectivo Neto, procedemos a calcular el valor actual neto (VAN), el cual nos da como resultado el valor de \$10.851.962,10 donde demuestra que es factible, y por otra parte la tasa interna de retorno (TIR) un valor de 52.3%.

*Tabla 3. Análisis económico VAN y TIR*

INVERSIÓN INICIAL	AÑOS DE PRODUCCIÓN	VAN	TIR
		(VALOR ACTUAL NETO)	(TASA INTERNA DE RETORNO)
\$	Número de años	\$	%
<b>\$9.400.400,00</b>	<b>8 años</b>	<b>\$10.851.962</b>	<b>52.3%</b>

## CONCLUSIONES

- En la industria petrolera cada vez son mayores los retos para la extracción de crudos pesados motivados a las altas viscosidades que posee, la recuperación asistida con microondas ofrece una alternativa que permite aumentar la eficiencia de extracción mediante la reducción de la viscosidad y por ende el mejoramiento en la movilidad del crudo.
- La extracción de crudos asistida por microondas aporta energía adicional al yacimiento mediante el aumento de la temperatura lo que produce la reducción de la viscosidad, incremento en la presión y en la permeabilidad efectiva del crudo. Estos efectos contribuyen al incremento de la producción del crudo.
- El calentamiento asistido por microondas es aplicable a yacimientos que son mojados al agua, ya que los microondas alteran la energía de las moléculas del agua, lo que sirve como mecanismo de empuje adicional para el incremento de la producción.

## **RECOMENDACIONES**

- Evaluar el incremento en la movilidad y el factor de recobro de crudos pesados con distintas densidades aplicando extracción asistida por microondas.
- Evaluar la eficiencia en el proceso de extracción asistido por microondas constituidos por varias matrices de arenas saturados con crudo pesados, variando el porcentaje de agua disuelto en el crudo.
- Realizar pruebas de extracción asistida por microondas en núcleos saturados con crudo a condiciones de yacimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

*Franlab, B. (1997). Obtenido*

*de*<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12694/1/T-UCE-0012-58-2017.pdf>

*Gonzales, j. (2018). Obtenido de*

*<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/18363/1/173544.pdf>*

*Gonzalez, J. (2018). Obtenido de*<http://petroleos.uis.edu.co/eisi/> *Helbing,*

*W. (1985). Reverte.*

*Lifeder. (2010). Obtenido de*<http://lifeder.com/gravedad-especifica/>

*Mott, R. (1996). Pearson.*

*Ovalles, C. (2002).*

*Raziel, R. (2011). Obtenido de*

*<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3623/Tesis.pdf?sequence=1>*

*Raziel, R. (2011). Obtenido de*

*<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3623/Tesis.pdf?sequence=1>*

*Rivadeneira. (s.f.). 2014.*

*Rivadeneira, M. (2014). Obtenido de*

*<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12694/1/T-UCE-0012-58-2017.pdf>*

*Rivadeneria, M. (1998). Obtenido de*

*[https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/doc34-08/010036218.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-08/010036218.pdf)*

*Salager, J. (2005). Obtenido de*<http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S357C.pdf> *Somogyi, G. (2004).*

*Sotillo, Z. (2015). Obtenido de*<http://bitstream/123456789/15888/1/T.E.G.%20Zuloy%20Sotillo.pdf>

*Sotillo, Z. (2015). Repositorio Universidad Central de Venezuela. Obtenido de*

*<http://190.169.30.62/bitstream/123456789/15888/1/T.E.G.%20Zuloy%20Sotillo.p>*