

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI

ESCUELA DE POSGRADOS

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO, Y
TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título en
Magister Tecnológico en Extracción, Levantamiento y Tratamiento de
crudos pesados**

Tema: Perspectiva e instalación de perlitas expandidas con exterior de aluminio como reductor de pérdidas de calor en oleoductos altamente viscosos provenientes de los campos suroeste Shushufindi

Autor/s: Moisés Gregorio Samaniego Guamán

y Jaime Danilo Garrido Vásquez

Director: Ing. Christopher Jonathan Mayorga Zambrano.

Fecha: 18 de septiembre de 2024

Sangolquí - Ecuador

Autor: Moisés Gregorio Samaniego Guamán



Título a obtener: Magister Tecnológico en Extracción,
Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: moises.samaniego@ister.edu.ec

Autor: Jaime Danilo Garrido Vásquez

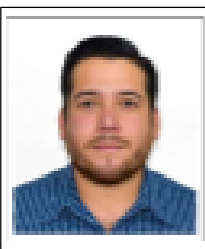


Título a obtener: Magister Tecnológico en Extracción,
Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: Jaime.Garrido@ister.edu.ec

Dirigido por: Christopher Jonathan Mayorga Zambrano.



Título: Ingeniero

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: Christopher.Mayorga@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 18 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: PERSPECTIVA E INSTALACIÓN DE PERLITAS EXPANDIDAS CON EXTERIOR DE ALUMINIO COMO REDUCTOR DE PERDIDAS DE CALOR EN OLEODUCTOS ALTAMENTE VISCOSOS PROVENIENTES DEL CAMPO SUROESTE SHUSHUFINDI realizado por MOISES GREGORIO SAMANIEGO GUAMAN Y JAIME DANILO GARRIDO VASQUEZ ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Christopher Jonathan Mayorga Zambrano
Director del Trabajo de Titulación
C.I.: 1311871717
Correo electrónico: Christopher.Mayorga@ister.edu.ec

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 18 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui Presente

Por medio de la presente, yo, Jaime Danilo Garrido Vásquez, expongo y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado "Perspectiva e instalación de perlitas expandidas con exterior de aluminio como reductor de pérdidas de calor en oleoductos altamente viscosos provenientes del campo Suroeste Shushufindi", de la Maestría Tecnológica **EXTRACION, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Jaime Danilo Garrido Vásquez

CI: 100242453-7

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 18 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

Por medio de la presente, yo, Moisés Gregorio Samaniego Guamán, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado "Perspectiva e instalación de perlitas expandidas con exterior de aluminio como reductor de pérdidas de calor en oleoductos altamente viscosos proveniente del campo suroeste Shushufindi", de la Maestría Tecnológica **EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



MOISES GREGORIO
SAMANIEGO GUAMAN

Moisés Gregorio Samaniego Guamán

CI: 210015880-3

FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓNEN
BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO
RUMIÑAHUI

MAESTRÍA TECNOLÓGICA: Extracción, Levantamiento y Tratamiento de
Crudos Pesados

AUTOR /ES:

Moisés Gregorio Samaniego Guamán
Jaime Danilo Garrido Vásquez

TUTOR:

Ing. Christopher Jonathan Mayorga Zambrano

CONTACTO ESTUDIANTE:

0993829768
0986284175

CORREO ELECTRÓNICO:

Moises.Samaniego@ister.edu.ec
Jaime.Garrido@ister.edu.ec

TEMA:

Perspectiva e instalación de perlitas expandidas con exterior dealuminio como reductor de pérdidas de calor en oleoductos altamente viscosos provenientes del campo suroeste Shushufindi

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El tema de este estudio es el novedoso enfoque de emplear perlitas agrandadas con un exterior de aluminio para minimizar la pérdida de calor en líneas de transporte de crudo pesado de los campos del suroeste de Shushufindi. El trabajo de investigación hace énfasis a el problema de baja eficiencia de desplazamiento del petróleo crudo, que resulta de la alta viscosidad del fluido y causa una importante pérdida de calor, así como problemas de fricción en las tuberías. La idea principal de esta investigación es, analizar si las perlitas más grandes pueden reducir la pérdida de calor en las líneas de suministro de flujo. Investigar las propiedades térmicas de los materiales sugeridos, evaluar el estado de los ductos e identificar las cualidades involucradas en la movilización del crudo son algunos de los objetivos específicos. El enfoque comprendió un análisis nodal para evaluar la efectividad del sistema de producción y transporte de petróleo crudo, haciendo uso de la ley de Fourier para estimar las pérdidas de calor en tuberías con y sin revestimiento. Se realizó un análisis evaluativo de pérdidas de calor utilizando el lenguaje de programación Python y el editor Jupyter Notebook, tomando en cuenta las características reológicas del crudo y los parámetros operativos de los ductos. Los hallazgos muestran que se puede instalar perlita expansiva con una cubierta de aluminio para mermar las pérdidas de temperatura en el sistema, aumentando la eficacia del transporte de petróleo crudo pesado. Este método reduce la necesidad de energía adicional para el bombeo, lo que mejora el rendimiento del sistema y al mismo tiempo promueve la sostenibilidad operativa.

Palabras claves: Perlitas expandidas, Oleoductos, Pérdidas de calor, Crudo pesado, Eficiencia térmica, Aislantes térmicos, Viscosidad, Transporte de crudo, Análisis nodal, Ley de Fourier.

Abstract:

The subject of this study is the novel approach of employing enlarged pearlites with an aluminum exterior to minimize heat loss in heavy crude oil transportation lines from the southwestern Shushufindi fields. The research work emphasizes the problem of low displacement efficiency of crude oil, which results from the high viscosity of the fluid and causes significant heat loss, as well as friction problems in the pipes. The main idea of this research is to analyze whether larger pearlites can reduce heat loss in flow supply lines. Investigating the thermal properties of the suggested materials, evaluating the condition of the pipelines and identifying the qualities involved in the mobilization of crude oil are some of the specific objectives. The approach included a nodal analysis to evaluate the effectiveness of the crude oil production and transportation system, using Fourier's law to estimate heat losses in lined and unlined pipelines. An evaluative analysis of heat losses was carried out using the Python programming language and the Jupyter Notebook editor, taking into account the rheological characteristics of the crude oil and the operating parameters of the pipelines. The findings show that expansive perlite can be installed with an aluminum jacket to reduce temperature losses in the system, increasing the efficiency of transporting heavy crude oil. This method reduces the need for additional energy for pumping, improving system performance while promoting operational sustainability.

Keywords: Expanded pearlites, Pipelines, Heat losses, Heavy crude oil, Thermal efficiency, Thermal insulators, Viscosity, Crude oil transportation, Nodal analysis, Fourier's Law.

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Jaime Danilo Garrido Vásquez, con documento de identificación No 100242453-7, estudiante de la Maestría Tecnológica **EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,



firmado electrónicamente por:
**JAIME DANILO
GARRIDO VÁSQUEZ**

Jaime Danilo Garrido Vásquez

CI: 100242453-7

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Moisés Gregorio Samaniego Guamán, con documento de identificación No 210015880-3, estudiante de la Maestría Tecnológica **EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADOS**.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,



MOISES GREGORIO
SAMANIEGO GUAMAN

Moisés Gregorio Samaniego Guamán

CI: 210015880-3

Dedicatoria:

Quienes suscribimos este presente texto en calidad de autores queremos dedicar este trabajo de investigación a nuestros familiares y docentes quienes estuvieron brindándonos el apoyo y catedra para forjar un trabajo de investigación de manera exitosa, gracias a la calidad de docentes del ilustre Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui quienes nos brindaron todas las herramientas y conocimientos necesarios para la ejecución de este trabajo de titulación, puesto que sin sus sanos consejos y educación, no habiéramos podido afrontar las dificultades que supone llevar a cabo una investigación exigente y generar un trabajo de este calibre, gracias a vuestro incesante esfuerzo y dedicación a nuestro desarrollo académico y personal, este logro es de manera conjunta tanto entre miembros de la familia, docentes y los presentes autores.

Agradecimiento:

Vosotros Moisés Samaniego y Danilo Garrido, quienes suscribimos este presente texto queremos dar un agradecimiento al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui, en especial a quienes conforman la facultad de petróleo, por abrirnos las puertas de dicha institución, y formarnos como unos profesionales permitiéndonos obtener una educación completa que nos ha brindado los conocimientos y las habilidades que necesitamos para tener éxito en el lugar de trabajo y poder aportar con nuestros conocimientos a nuevas generaciones.

Un agradecimiento a nuestros padres, familiares y amigos que fomentaron un apoyo incondicional en el transcurso de vuestras vidas profesional, ya que, su amor, apoyo y aliento inagotables han sido las principales bases de nuestro éxito. Nos han apoyado, nos han dado las herramientas que necesitamos y nos han dado los valores y la tenacidad que nos han impulsado a alcanzar nuestros objetivos académicos y profesionales, permitiéndonos culminar así nuestra propuesta.

Resumen:

El tema de este estudio es el novedoso enfoque de emplear perlitas agrandadas con un exterior de aluminio para minimizar la pérdida de calor en líneas de transporte de crudo pesado de los campos del suroeste de Shushufindi. El trabajo de investigación hace énfasis a el problema de baja eficiencia de desplazamiento del petróleo crudo, que resulta de la alta viscosidad del fluido y causa una importante pérdida de calor, así como problemas de fricción en las tuberías. La idea principal de esta investigación es, analizar si las perlitas más grandes pueden reducir la pérdida de calor en las líneas de suministro de flujo. Investigar las propiedades térmicas de los materiales sugeridos, evaluar el estado de los ductos e identificar las cualidades involucradas en la movilización del crudo son algunos de los objetivos específicos. El enfoque comprendió un análisis nodal para evaluar la efectividad del sistema de producción y transporte de petróleo crudo, haciendo uso de la ley de Fourier para estimar las pérdidas de calor en tuberías con y sin revestimiento. Se realizó un análisis evaluativo de pérdidas de calor utilizando el lenguaje de programación Python y el editor Jupyter Notebook, tomando en cuenta las características reológicas del crudo y los parámetros operativos de los ductos. Los hallazgos muestran que se puede instalar perlita expansiva con una cubierta de aluminio para mermar las pérdidas de temperatura en el sistema, aumentando la eficacia del transporte de petróleo crudo pesado. Este método reduce la necesidad de energía adicional para el bombeo, lo que mejora el rendimiento del sistema y al mismo tiempo promueve la sostenibilidad operativa.

Palabras claves: Perlitas expandidas, Oleoductos, Pérdidas de calor, Crudo pesado, Eficiencia térmica, Aislantes térmicos, Viscosidad, Transporte de crudo, Análisis nodal, Ley de Fourier.

Abstract:

The subject of this study is the novel approach of employing enlarged pearlitites with an aluminum exterior to minimize heat loss in heavy crude oil transportation lines from the southwestern Shushufindi fields. The research work emphasizes the problem of low displacement efficiency of crude oil, which results from the high viscosity of the fluid and causes significant heat loss, as well as friction problems in the pipes. The main idea of this research is to analyze whether larger pearlitites can reduce heat loss in flow supply lines. Investigating the thermal properties of the suggested materials, evaluating the condition of the pipelines and identifying the qualities involved in the mobilization of crude oil are some of the specific objectives. The approach included a nodal analysis to evaluate the effectiveness of the crude oil production and transportation system, using Fourier's law to estimate heat losses in lined and unlined pipelines. An evaluative analysis of heat losses was carried out using the Python programming language and the Jupyter Notebook editor, taking into account the rheological characteristics of the crude oil and the operating parameters of the pipelines. The findings show that expansive perlite can be installed with an aluminum jacket to reduce temperature losses in the system, increasing the efficiency of transporting heavy crude oil. This method reduces the need for additional energy for pumping, improving system performance while promoting operational sustainability.

Keywords: Expanded pearlitites, Pipelines, Heat losses, Heavy crude oil, Thermal efficiency, Thermal insulators, Viscosity, Crude oil transportation, Nodal analysis, Fourier's Law.

Índice de contenido:

| | |
|--|----|
| Resumen: | 14 |
| Abstract: | 15 |
| Tema: | 19 |
| Planteamiento del Problema | 19 |
| Problema científico..... | 20 |
| Preguntas científicas o directrices | 21 |
| Objetivo general | 21 |
| Objetivos específicos..... | 21 |
| Justificación | 22 |
| Ubicación y locación de la estación Shushufindi Sur Oeste | 24 |
| Propiedades de los fluidos que intervienen en la movilidad del crudo. | 25 |
| Viscosidad | 25 |
| Densidad | 26 |
| Tensión superficial | 26 |
| Temperatura..... | 28 |
| Presión | 28 |
| Fluidez | 28 |
| Propiedades reológicas | 29 |
| Corrosividad | 29 |

| | |
|---|----|
| Sistemas de tuberías de movilización de crudos | 29 |
| Oleoductos | 29 |
| SOTE | 30 |
| OCP | 31 |
| Perdidas de calor en tuberías | 31 |
| Factores que afectan la pérdida calor en tuberías | 32 |
| La viscosidad | 32 |
| Tipo de flujo | 33 |
| Exposición al ambiente..... | 33 |
| Pérdida por fricción primaria y secundaria..... | 34 |
| Materiales Aislantes | 35 |
| Recubridores aislantes térmicos | 35 |
| Tipos de aislantes térmicos usados para tuberías. | 35 |
| Aislante de silicato de calcio | 35 |
| Aislantes de fibra..... | 35 |
| Aislante de poliuretano..... | 36 |
| Perlitas Expandidas | 37 |
| Análisis y recolección de datos | 40 |
| Análisis SARA | 40 |
| Viscosidad de los pozos..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Evaluación de la eficiencia de rendimiento de la tubería | 42 |
| Flujo de fluidos en tuberías | 43 |
| Ecuación de Darcy | 45 |
| Perdidas de calor en tuberías | 46 |
| ANÁLISIS NODAL | 47 |
| VOGEL..... | 47 |
| Pasos para generar una curva IPR: | 48 |
| Recopilar Información (DATOS):..... | 48 |
| Seleccionar el modelo adecuado: | 48 |
| Calcular la presión de yacimiento: | 48 |
| Construcción de la curva: | 49 |
| Para construir la curva: | 50 |
| Evaluación de la curva: | 50 |
| Resultados de pérdidas de calor en oleoductos | 53 |
| Uso del análisis nodal | 53 |

1. INTRODUCCIÓN

Tema:

Perspectiva e instalación de perlitas expandidas con exterior de aluminio como reductor de pérdidas de calor en oleoductos altamente viscosos provenientes de los campos suroeste Shushufindi.

Planteamiento del Problema

La problemática de investigación se basa en la pérdida de eficiencia de desplazamiento de movilidad del crudo a través de las líneas de facilidades de transporte desde el WELL PAD SHSO hasta la estación Shushufindi Sur Oeste, esta problemática se genera por las pérdidas de temperaturas en tuberías horizontales y verticales, generado por la producción y transporte de crudo pesado, el campo Shushufindi actualmente produce un petróleo de 16 grado API y una viscosidad de 2957 cp, el rango de viscosidad es mayor al 10 cp por lo que se establece la presencia de un crudo pesado, la alta viscosidad del fluido genera problemas de fricción en la tubería, ya que tiende a reducir la presión de desplazamiento y requerir mayor potencia de bombeo, este patrón incorpora las pérdida de fricción durante su transporte asociado a su viscosidad y temperatura, los oleoductos que transportan crudo altamente viscoso desde los campos suroeste Shushufindi enfrentan serios desafíos en la conservación de la temperatura del fluido durante el transporte. La zona de estudio enfoca la línea de flujo de 1.5 km de longitud, que transporta crudo de 16° API, con una presión de cabeza promedio de 101 PSI, su capacidad de recolección es 75 175.00 BFPD, el diámetro nominal de la tubería es de 6 pulgadas. En el año 2015, mes de julio, la estación Shushufindi Sur Oeste presentaba una producción total de 384 160.80 BBL, con una producción promedio de 12 392.28 BFPD, gravedad promedio de 19.6° API, haciendo una comparativa con la producción actual se puede evidenciar que el campo presenta problemas de producción asociado

a la pérdida de eficiencia de desplazamiento, puesto que actualmente el campo de estudio produce 217 934.77 BBL, mensual con una producción promedio de 7 030.15 BFPD, evidenciando una pérdida de 5 362.13 BFPD, la temperatura fue otro factor determinante puesto que de trabajar con 168.8 °F, esta se redujo a 131° F, en ciertas secciones longitudinal, lo que se podía evidenciar pérdidas de calor en el sistema, la viscosidad es el principal parámetro de afectación relacionado a la pérdida de temperatura puesto que la gravedad se redujo a 16°API. Utilizando un análisis SARA se pudo establecer la composición del crudo producido del campo considerando la fracción de solubilidad, polaridad y peso molecular de los componentes se determinó que el campo Shushufindi produce en más del 59.30% de parafinas y asfáltenos, con un valor de estabilidad de 1.38, lo que denota la presencia de un tipo de fluido inestable, la presencia de asfáltenos y parafinas inestables genera gran repercusión en la gelificación del crudo por la pérdida de temperatura y la acumulación de sedimentos, que tiende a mitigar el paso del fluido y obstrucción de la movilidad, la presencia de parafinas tiende a generar taponamiento y costra de revoque en las paredes de la tubería producto de la gelificación del crudo precipitado de la presencia de asfáltenos, que por sus propiedades petrofísicas de la interacción roca fluido pueden poseer compuesto que tiende a obstruir el flujo y generar afectaciones en las tuberías, la ausencia de agente recubridores favorece la pérdida de calor en el sistema contribuyendo en el incremento de la viscosidad del flujo dado que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura , estas principales causas afectan de manera directa en el desplazamiento del fluido dando paso a la creación de bloques de interrupción y un flujo interrumpido dentro de las líneas de transporte.

Problema científico

La pregunta de investigación se fundamenta en el bajo nivel de eficiencia de desplazamiento del crudo producido, por las pérdidas de calor en tuberías que generan, aumento

en la viscosidad del crudo, produciendo presencia de costras de revoque y taponamiento de la línea de flujo. ¿Cuál es el impacto que genera la pérdida de calor en la eficiencia de desplazamiento de crudo pesado a través de las líneas de flujo y que acciones optar para revertir esta problemática?

Preguntas científicas o directrices

- ¿Cómo afecta la variación de temperatura en la producción y movilización de crudo pesado dentro de crudo en las líneas de flujo?
- ¿En qué tramo del oleoducto debe aplicarse la perlita expandida para maximizar la eficiencia térmica?

Objetivo general

Evaluar la aplicabilidad de perlitas expandidas en líneas de abastecimiento de flujo, para la minimización de pérdidas de calor en oleoductos, a través de un análisis de eficiencia de viabilidad técnica de los recubridores aislantes térmicos en tuberías de transporte de crudo en la estación Shushufindi Suroeste.

Objetivos específicos

- Identificar las propiedades y parámetros involucradas en el proceso de movilización del crudo de alta viscosidad en líneas de abastecimiento de crudo en la estación Shushufindi suroeste.
- Argumentar las condiciones actuales de los oleoductos de abastecimientos para verificar si presentan pérdidas de calor, que generan fallos en el transporte de crudo hacia la estación.
- Investigar las características térmicas de la perlita expandida y del recubrimiento de aluminio, para determinar su capacidad aislante y su efectividad en comparación con otros materiales aislantes utilizados actualmente en oleoductos.

- Determinar la eficacia de la aplicación del aislante térmico de perlitas expandidas con exteriores de aluminio para la conservación del calor en las líneas de flujo, favoreciendo la movilidad del crudo a través de la reducción del grado de fricción de resistencia al flujo.

Justificación

La perlita expandida es un material natural que ha demostrado ser un excelente aislante térmico debido a su estructura porosa y ligera. Al ser un material natural, también es relativamente económico y presenta características sostenibles en comparación con otros tipos de aislantes. Su instalación en oleoductos presenta la posibilidad de mitigar las pérdidas de temperatura, manteniendo la temperatura adecuada para su movilización. Al combinar perlita expandida con un exterior de aluminio, se potencializan sus propiedades aislantes, proporcionando una barrera efectiva contra la transmisión de calor.

La elección de utilizar perlitas expandidas con un exterior de aluminio como una solución para minimizar la pérdida de calor en oleoductos secundarios de los campos suroeste de Shushufindi. Debemos reconocer el contexto geográfico y climático de la región de Shushufindi donde las temperaturas pueden oscilar significativamente lo que impacta directamente en la eficiencia de las operaciones en el sector energético. Esto no solo se traduce en un ahorro energético significativo, sino que también prolonga el ciclo de utilidad de las instalaciones, desde la perspectiva del material se destaca que las perlitas expandidas son ligeras y poseen una baja conductividad térmica lo que las convierte en un excelente aislante natural, lo cual su capacidad para resistir altas temperaturas las hace especialmente adecuadas para aplicaciones en campos donde los fluidos transportados pueden ser altamente viscosos y requieren mantener ciertas

características térmicas para evitar problemas operativos. Estos materiales son además resistentes a la humedad y poseen propiedades antideslizantes lo que aumenta su durabilidad y funcionalidad en condiciones adversas.

El recubrimiento de aluminio externo añade un valor significativo a esta combinación al proporcionar una barrera adicional contra las inclemencias del clima, así como una capa que refleja el calor en lugar de absorberlo, particularmente son relevantes en un entorno donde el calor excesivo puede causar no solo pérdida de eficiencia sino también daños estructurales en las instalaciones. Por lo tanto el exterior de aluminio actúa como un facilitador en la gestión térmica al reducir el impacto de las temperaturas externas en el sistema interno, al realizar una justificación de la instalación de perlitas expandidas con exterior de aluminio como reductor de pérdidas de calor en la línea de superficie en los campos suroeste de Shushufindi se fundamenta en una conjugación de factores técnicos que en conjunto ofrecen una solución innovadora y sostenible para mejorar la eficiencia térmica y optimizar los procesos operativos en entornos desafiantes.

Variables

Variable dependiente

Eficiencia de movilidad, transporte y producción de crudos pesados.

Variables independientes

- Pérdidas de calor.
- Propiedades de los fluidos.
- Caudal de producción, presión
- Viscosidad.
- Condiciones mecánicas de la tubería.
- Pérdidas por fricción y pérdidas menores.

Idea a defender y/o Hipótesis

Minimizar la pérdida de calor en oleoductos secundarios a través de la aplicabilidad de perlitas expandidas que permitirán optimizar la eficiencia de desplazamiento y movilidad del crudo a través de la línea del WELL PAD SHSO hasta la estación Shushufindi Sur Oeste.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Ubicación y locación de la estación Shushufindi Sur Oeste

El campo Shushufindi aguarico está localizado en la provincia de Sucumbíos, es uno de los campos con mayor trayectoria en la extracción y producción de crudo, cuenta con una potencial reserva que abarca los 3 700 millones de barriles de petróleo original in situ, los que lo convierte en unos de los principales sectores productores de hidrocarburos, sin embargo presenta desafíos técnicos de productividad y transporte asociado la viscosidad y densidad del crudo producido

La Estación Shushufindi es parte de la región amazónica del país, limita en la parte norte con el país vecino de Colombia, a 250 km al este de la capital del Ecuador, con localización geográfica de “noroeste el campo libertador, Suroeste el campo sacha y al sur el campo limoncocha”, cuenta con una extensión territorial de 98842.15 acres. Se considera uno de los yacimientos petrolíferos más importantes del país, cuenta aproximadamente 52 años de producción, compuesto por estaciones de proceso mencionadas a continuación; estación aguarico, estación norte, estación central, estación sur y estación suroeste (Cajamarca, 2017).

La estación Shushufindi es parte territorial de limoncocha, de la provincia de Sucumbidos con las siguientes coordenadas geográficas, latitud; $-0,27883^{\circ}$ o $0^{\circ} 16' 44''$ sur y longitud; $-76,65769^{\circ}$ o $76^{\circ} 39' 28''$ oeste, es una estación de proceso que se encarga de la recolección del crudo de los diferentes pozos de producción, donde se recibe un tipo de crudo pesado por lo que tiende a generar afectaciones en las líneas de producción por la pérdida de calor generada por la presencia de agentes contaminantes y factores que afectan el rendimiento del equipo y minimizan la vida útil de las tuberías.

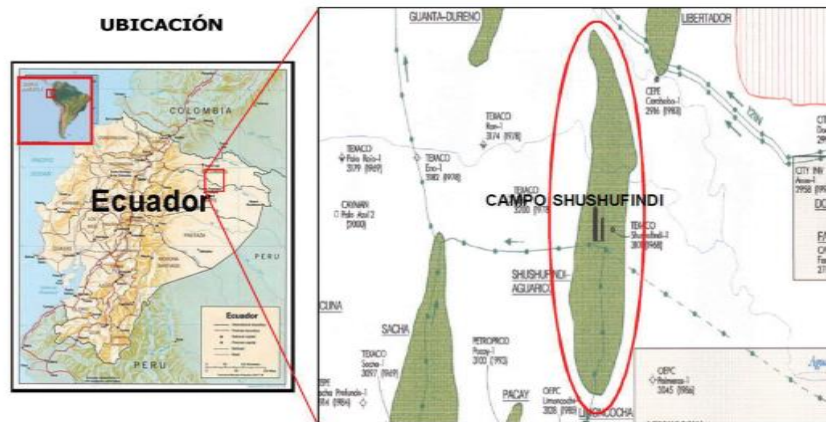


Figura 1 Ubicación geográfica del campo Shushufindi

Propiedades de los fluidos que intervienen en la movilidad del crudo.

(Benavente et al., 2004) Mencionan que, en la industria petrolera, las propiedades de los fluidos son fundamentales para garantizar un flujo eficiente y seguro. Por tal razón es esencial para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación conocer las propiedades que intervienen en el desplazamiento del crudo.

Viscosidad

(Paris de Ferrer, 2009) Hace referencia a la viscosidad como “la medida de la resistencia interna de un fluido al flujo”. Es una propiedad que refleja cuán "espeso" o "delgado" es un líquido

y se manifiesta en cómo el fluido responde al ser sometido a una fuerza. En términos más técnicos, se puede considerar como la fricción interna que existe entre las moléculas del fluido cuando este se mueve. Medida de la resistencia de un fluido a fluir. Puede ser dinámica (resistencia al flujo) o cinemática (relación entre viscosidad dinámica y densidad). Ya que un fluido con alta viscosidad requiere mayor presión para moverse, lo que impacta el costo del transporte y puede provocar obstrucciones.

| <i>Tipo de crudo</i> | <i>Viscosidad en CP</i> | <i>Densidad en gr/cm³</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| <i>Ligero</i> | < 10 cp | 0.870 |
| <i>Mediano</i> | < 100 cp | 0.870 a 0.920 |
| <i>Pesado</i> | Entre 100 cp a 10 000 cp | 0.920 a 1 |
| <i>Extrapesado</i> | > 10 000 cp. | > 1 |

Tabla 1 Clasificación del crudo según su viscosidad densidad

Densidad

Esta propiedad se estima como la razón de la masa sobre el volumen, en función de la presión y temperatura, expresada usualmente en unidades de kilogramos/ metros cúbicos. En el contexto de la ingeniería y el transporte de fluidos, la densidad es una variable clave que interviene de manera directa en el comportamiento de los líquidos y gases dentro de las tuberías. (S.R.L., 2015).

Tensión superficial

(Escobar, 2012) Hace referencia a que la tensión superficial influye en cómo se comporta un líquido en el interior de una tubería. Por ejemplo, en tuberías estrechas, la tensión superficial

puede causar un fenómeno conocido como capilaridad, donde el líquido asciende o desciende por la pared de la tubería. Este efecto es importante en sistemas donde se manejan líquidos muy viscosos o en aplicaciones de microscopía. Al transportar líquidos, la tensión superficial puede causar la disposición de burbujas de aire en el líquido. Estas burbujas pueden afectar la eficiencia del flujo y generar problemas en la distribución de líquidos, como en sistemas de riego o redes de agua potable.

Fuerza en la superficie del fluido que afecta su comportamiento, especialmente entre diferentes fases (como aceite y agua). Influye en la formación de emulsiones, burbujas y otros fenómenos que pueden afectar el flujo.

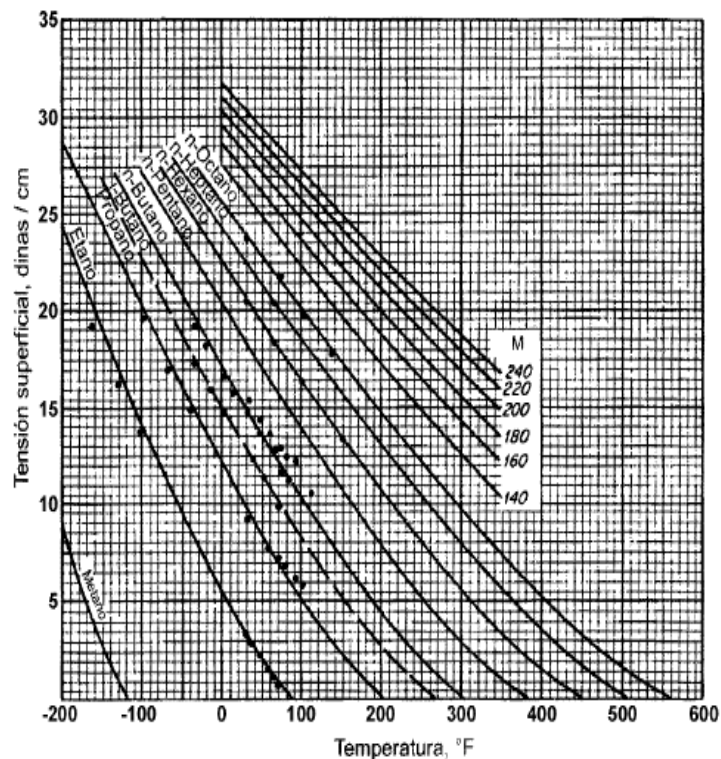


Figura 2 Estimación de la tensión superficial a partir de la temperatura

Temperatura

Impacta las propiedades físicas del fluido; generalmente, un aumento de temperatura reduce la viscosidad. Cambios en temperatura durante el transporte afecta directamente en el rendimiento y la seguridad del sistema.

Presión

La presión en el contexto de una tubería de transporte se refiere a la fuerza desempeñada por un fluido (líquido o gas) sobre las paredes de la tubería. La presión es un parámetro crucial en el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tuberías, ya que influye en varios aspectos técnicos y de seguridad. Relacionada con el estado físico del fluido (líquido o gas) e influencia sobre el flujo, las pérdidas por fricción deben considerarse al calcular caudales.(Domingo & Domingo, 2011).

Fluidez

Las tuberías pueden estar hechas de diversos materiales, como acero, PVC, polietileno o cobre, en función de las características del fluido a transportar y de la índole de operación (presión, temperatura, corrosión, etc.). El diámetro de la tubería es fundamental para determinar el flujo del fluido. Un diámetro adecuado asegura una velocidad óptima, minimizando pérdidas por fricción y evitando problemas como la cavitación.

La fluidez se refiere a la capacidad de un fluido para moverse a través de un conducto. Se relaciona con la viscosidad del fluido y la forma en que este se comporta bajo diferentes condiciones de temperatura y presión. Capacidad del fluido para fluir bajo esfuerzo aplicados esto es importante para garantizar un transporte óptimo sin bloqueos ni acumulaciones indeseadas.

Propiedades reológicas

El comportamiento bajo esfuerzos cortantes; algunos de los fluidos son no newtonianos “(su viscosidad cambia con el esfuerzo aplicado)” y a su vez es esto son cruciales al diseñar sistemas que manejan lodos o emulsiones.

Corrosividad

Se está determinando por componentes químicos presentes (por ej., H₂S, CO₂). Los fluidos corrosivos requieren materiales resistentes o recubrimientos especiales para prevenir daños en las tuberías.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN CRUDO PESADOS

| | |
|--|---------------------------------------|
| GRAVEDAD API | Rango de 10° a 22.3° API |
| VISCOSIDAD (CP) | Rango de 100 cp a 10 000 cp |
| DENSIDAD | Rango de 0.920 a 1 gr/cm ³ |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | Rango de 0.92 a 1 |
| PORCENTAJE DE CONTENIDO DE AZUFRE | Mayores al 2% |

Tabla 2 Principales propiedades de un crudo pesado

Sistemas de tuberías de movilización de crudos

Oleoductos

Un oleoducto es un sistema de tuberías aplicados para la movilización del crudo de un punto a otro, son un conjunto de tuberías soldadas que pueden estar en superficie o bajo tierra dependiendo de las características geográficas del campo, se usa principalmente para el transporte de petróleo crudo, las dimensiones de los oleoductos pueden variar entre 11 pulgadas a 47 pulgadas

de diámetro interno, dependiendo de las características de diseño y la capacidad de flujo, estas redes de tuberías se emplea con la finalidad de movilizar el petróleo producido de los pozos, almacenados a las estaciones de procesos y posterior a las refinerías (MÉNDEZ & MONTENEGRO, 2021).

Actualmente en el Ecuador existen dos redes de oleoductos utilizadas para el transporte de petróleo crudo, las cuales son SOTE Y OPC que se describirán a continuación.

SOTE

El Sistema del Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), la red de transporte de petróleo del Ecuador es un componente esencial de la infraestructura energética del país. Con una capacidad de bombeo diario de 365.000 barriles, este oleoducto de 497 kilómetros transporta petróleo crudo desde la región amazónica hasta la costa. Alrededor del “70% de la producción total de petróleo” de Ecuador procede del SOTE, administrado por Petroecuador y en operación desde 1972. Está a cargo de entregar petróleo de 24 de los 30 bloques productores de hidrocarburos del país en la Amazonía, se encarga principalmente de movilizar por sus líneas de tuberías un crudo de baja viscosidad (Jimenez, 2007).



Figura 3 Sección longitudinal del SOTE

OCP

El Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) transporta petróleo crudo pesado desde la región amazónica hasta la costa. El ducto parte de una estación de bombeo de Sucumbíos y finaliza en el terminal marítimo de Balao, en la provincia de Esmeraldas, a una distancia de alrededor de 485 kilómetros. El OCP es esencial para la exportación del crudo pesado del Ecuador, que se distingue por su baja gravedad API, lo que lo hace más viscoso y requiere de un tratamiento especializado. Tiene una capacidad de tránsito de unos 200.000 barriles diarios. Este difícil crudo puede transportarse eficientemente gracias al oleoducto, lo que garantiza su disponibilidad en los mercados internacionales (Vivanco, 2011).



Figura 4 OPC línea de flujo de crudos pesados.

Perdidas de calor en tuberías

En la actualidad uno de los medios más eficaces para transportar los hidrocarburos es el uso de oleoductos los cuales son tuberías de gran longitud que facilita el desplazamiento de los fluidos, el transporte de crudo pesado utilizando este medio se acompleja muchos, por las propiedades físicas y químicas de este tipo de crudo su alta viscosidad y presencia de asfáltenos e hidrocarburos de peso molecular alto, dificultan su movilización. Analizar la pérdida de calor en las líneas de flujo y oleoductos es crucial, ya que puede alterar el rendimiento y la eficiencia energética del sistema, .de manera muy comediada, cuando se trata de fluidos no newtonianos, la evaluación de la pérdida de temperatura se vuelve compleja, dado las propiedades reológicas

únicas de este tipo de fluido, en el contexto de los petróleos pesados, factores como la reología, la densidad, la temperatura y los patrones de flujo pueden influir significativamente en los comportamientos de transferencia de calor, la pérdida de calor en tuberías es un problema muy grave que puede generar bajos niveles de movilización del crudo puesto que al disminuir la viscosidad la resistencia al flujo de fluidos incrementa generando bajo nivel de abastecimiento de fluidos en la estación de proceso (Laurencio et al., 2024).

El uso de agentes recubridores que permitan mantener e incrementar la temperatura en el interior de las tuberías por capa recubridora es esencial para garantizar un desplazamiento de fluido a una presión y trabajo rentable, para la consideración de la aplicabilidad de Perlita expandida con exteriores de aluminio para la minimización de pérdida de calor se debe tener en cuenta los siguientes parámetros como son: la temperatura, la presión, la densidad, la viscosidad, la fuente de calor, la potencia energética entre otros, en cuanto a las consideraciones del diseño de tubería destacan identificar las características del fluido que se pretende movilizar identificar la orientación de descarga, si es horizontal o vertical o inclinada, establecer y calcular los esfuerzos actuantes en la hidráulica de tubería que generan pérdidas de potencia y la caída de presión en el sistema, entre ellos destacan, la pérdida por fricción, pérdida por válvulas y accesorios entre otros, el diseño correcto del oleoducto y la selección del mejor método para transportar crudo permitirá movilizar los fluidos pesados de manera eficiente y segura.

Factores que afectan la pérdida calor en tuberías

La viscosidad

La viscosidad es un factor determinante para la movilización de los fluidos entre más alta sea la viscosidad tendrá mayor dificultad en su manipulación, transporte y extracción. Estos fluidos espesos requieren más fuerza para moverse, lo que aumenta el desgaste del equipo. Dado la

presencia alta de asfaltenos en el crudo pesado, las variaciones en la presión de flujo pueden hacer que estos compuestos se vuelvan inestables, lo que puede provocar obstrucciones en las tuberías y una disminución en la efectividad de las redes de transporte (Peralta et al., 2018).

Tipo de flujo

El tipo de flujo influye de manera particular en la velocidad de movilización de un fluido entre mayor número de Reynolds tenga el fluido mayor valor de viscosidad, por lo cual la fuerza de fricción será mayor, siendo el número de Reynolds un valor referente a la velocidad de movilización del crudo, siendo esta valor proporcional a la densidad, la velocidad, diámetro de la tubería de, que son factores que intervienen en el desempeño transporte del crudo de desde los pozos hasta la estación de proceso Shushufindi. Cuando el número de Reynolds es menor a 2000 podemos decir que es un flujo laminar y cuando es mayor a 4000 este es turbulento.

Exposición al ambiente

(García & Vargas, 2017) Mencionan que es necesario elevar la temperatura del petróleo crudo, frecuentemente a 212°F, en las proximidades de la boca del pozo de extracción y dentro de un km de distancia para poder soportar la naturaleza espesa de ciertos petróleos crudos. Esto les facilita su bombearse a través de tuberías hechas de acero al carbono, que transfiere calor de manera efectiva (48,9 W/mK) pero con una gran pérdida de energía. Además, los suelos en los que están enterradas estas tuberías pueden variar de ácidos a alcalinos, lo que puede causar problemas corrosivos y afectar el ecosistema circundante, incluido el nivel freático. A la luz de estas dificultades, se necesitan métodos de recubrimiento especializados. Protegen la tubería de los materiales corrosivos del suelo o del medio ambiente además de minimizar la pérdida de calor procedente del interior de la tubería. Estos recubrimientos también deben poder resistir las

presiones mecánicas que provienen del suelo, como la abrasión de las partículas del suelo, así como los factores estresantes que surgen de la operación y el mantenimiento.

Perdida por fricción primaria y secundaria

Las pérdidas por fricción en las líneas de flujo se fraccionan en dos categorías: primarias y secundarias.

Las pérdidas primarias se generan por el contacto del fluido con la superficie interior de la tubería, en si este contacto genera fricción entre las capas del fluido en un flujo laminado o entre las partículas en movimiento en un flujo turbulento. Estas pérdidas se producen exclusivamente en segmentos de tuberías que son horizontales y tienen un diámetro constante.

Por otro lado, hablamos de las pérdidas secundarias ya que esto surgen en los cambios de sección de la tubería, como cuando se estrecha o se expande, así como en toda clase de accesorios como las válvulas y codos. Al calcular las pérdidas de carga en las tuberías, es fundamental considerar dos aspectos: la textura de la tubería ya sea lisa o rugosa, y el tipo de flujo del fluido, que puede ser laminar o turbulento.

Donde:

h_L = Pérdidas primarias.

h_V = Pérdidas secundarias.

L = Longitud.

D = Diámetro de tubería.

V = Velocidad de flujo.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad Ec(1).$$

Materiales Aislantes

Recubridores aislantes térmicos

La industria petrolera utiliza aislamiento como barrera para evitar la transferencia de calor entre diversos materiales. Su principal objetivo es ofrecer una fuerte resistencia térmica, dificultando las pérdidas de temperatura en las tuberías, utilizadas en el transporte de petróleo crudo. Para preservar la energía y proteger a los trabajadores en entornos industriales, como plataformas marítimas y actividades que involucran maquinaria que emite mucho calor, este aislamiento se puede instalar en una variedad de equipos, incluidos tanques, tuberías y conductos (CASTRO & PIARPUEZÁN, 2018).

Tipos de aislantes térmicos usados para tuberías.

Aislante de silicato de calcio

Es una sustancia hecha de silicato de calcio hidratado, reforzado con fibras sintéticas y naturales, en formas robustas. El nivel de temperatura que puede tolerar este aislante térmico es de 95°F a 1499°F. Funciona bien en situaciones superiores a 482°F debido a sus características de absorción de agua. Este material se debe secar sin perder ninguna de sus características físicas iniciales. Pero el equilibrio dimensional está ausente. Al instalar este material no inflamable, es necesaria una capa protectora (Conuee, 2009).

Aislantes de fibra

(CASTRO & PIARPUEZÁN, 2018) Mencionan que es te tipo de aislante térmico es elaborado a partir de la combinación de arenas con elevado contenido de sílice que han sido fundidas y procesadas. Se presenta en dos formas principales, cada una con sus propias características y aplicaciones únicas. La primera forma se puede fabricar como rígida o placas

semirrígidas y medias cañas porque contiene aglutinantes orgánicos que le dan una estructura y forma predeterminada. El rango de densidad comercial para esta variante es de 16 a 96 kg/m³, según el material, la rigidez, la temperatura de funcionamiento recomendada y la aplicación prevista. Tiene una excelente estabilidad dimensional, mínima resistencia de impacto y compresión, fácil corte, baja conductividad térmica, diminutos costos de instalación y absorción acústica eficiente. Pero es necesario protegerlo de los elementos y de los daños mecánicos. El segundo método produce esteras con una densidad comercial típica de 48 kg/m³ mediante el uso de lubricantes minerales para detener la abrasión entre las fibras. Además, esta versión tiene adecuada estabilidad dimensional, mínimos costos de instalación, menor resistencia de impacto y compresión, baja conductividad térmica, fácil corte y absorción eficiente del sonido. Necesita una capa protectora, como el tipo original, para mantener a raya los elementos y los daños mecánico.

Aislante de poliuretano

Este material rígido de células cerradas está hecho de polímeros plásticos espumados y funciona como un aislante térmico celular muy eficaz. Puede tolerar temperaturas de hasta 383 K (110 °C) y está disponible en una variedad de formas, incluidas medias cañas, placas y formas moldeadas a medida. Su densidad comercial es de 32 kg/m³. Este aislamiento es impermeable y liviano, con una consistencia trabajable. Contiene clorofluorocarbonos. Su composición precisa puede variar según el fabricante, pero en general se quema fácilmente, aunque también se le puede fabricar para que tenga cualidades auto extingüibles. Es una opción asequible para instalaciones de baja temperatura, pero para obtener mejores resultados, se necesita una barrera de vapor y protección contra la intemperie (Conuee, 2009).

Perlitas Expandidas

La perlita es un mineral natural originario de desechos volcánico que contiene agua en su composición y tiene la capacidad de expandirse al ser sometido a altas temperaturas, lo que le otorga excelentes propiedades aislantes. En su forma expandida, la perlita presenta una densidad de aproximadamente 30 a 150 kg/m³, mientras que, en su estado original no expandido, posee una densidad cercana a 1100 kg/m³.

El proceso para fabricar perlita se ejecuta en la disposición del material a un choque térmico a una temperatura cercana a 900°C, lo que provoca que su volumen se incremente hasta 20 veces. El producto final tiene un color blanco brillante, resultado de la reflectividad de las burbujas que quedan atrapadas en su estructura.



Figura 5 Aplicabilidad de peritas expandidas en líneas de flujo

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

La industria petrolera ha estado en constante búsqueda de tecnologías y materiales que puedan aliviar la eficiencia y minimizar costos operativos en sus procesos de extracción, producción y transporte, uno de estos materiales que ha ganado atención en los últimos años son las perlitas expandidas que ofrecen una serie de propiedades que pueden ser altamente beneficiosas en diversas aplicaciones dentro de este sector, las perlitas expandidas se obtienen mediante un proceso de calentamiento de la perlita natural que provoca su expansión y transformación en una sustancia ligera y porosa con una estructura única que la convierte en un material versátil. El

esquema del trabajo se basa en un enfoque cualitativo y cuantitativo, donde se evaluará las propiedades de los fluidos que fluyen a través de las líneas de tuberías de abastecimiento de crudo, dirigido hacia las líneas de proceso, se utilizara una revisión bibliográfica y de campo para determinar las propiedades del crudo producido en los pozos que abastecen a la estación de proceso Shushufindi Suroeste, se identificara los factores que intervienen en la perdida de calor en tuberías ya que este es un principal factor de deficiencia de movilidad del crudo, la alta viscosidad del crudo producido tiende a afectar en el rendimiento de transporte y minimizar la vida útil de las tuberías de la facilidades de superficie, la disposición de pérdidas de calor minimiza la capacidad de transporte y genera la disposición de agestes corrosivos, por lo cual es necesario de la aplicación de agentes recubridores aislantes que permitan conservar la energía calorífica y se adhieran a las pares de la tubería para mantener en óptimas condiciones de transporte de crudo pesado, entre mayor sea la temperatura mayor facilidad de desplazamiento.

Se evaluará un tramo de tubería como muestra para analizar las características de diseño como diámetro, longitud, factor de rugosidad, pérdidas de fricción, pérdidas menores, esfuerzos, pérdidas de calor, entre otros factores que afectan el rendimiento y vida útil del equipo, se analizar la eficiencia operativa del uso de recubrimiento con una prueba de flujo comparando la disposición calorífica con el uso de las tuberías comunes y el uso de las tuberías recubiertas con perlitas expandidas.

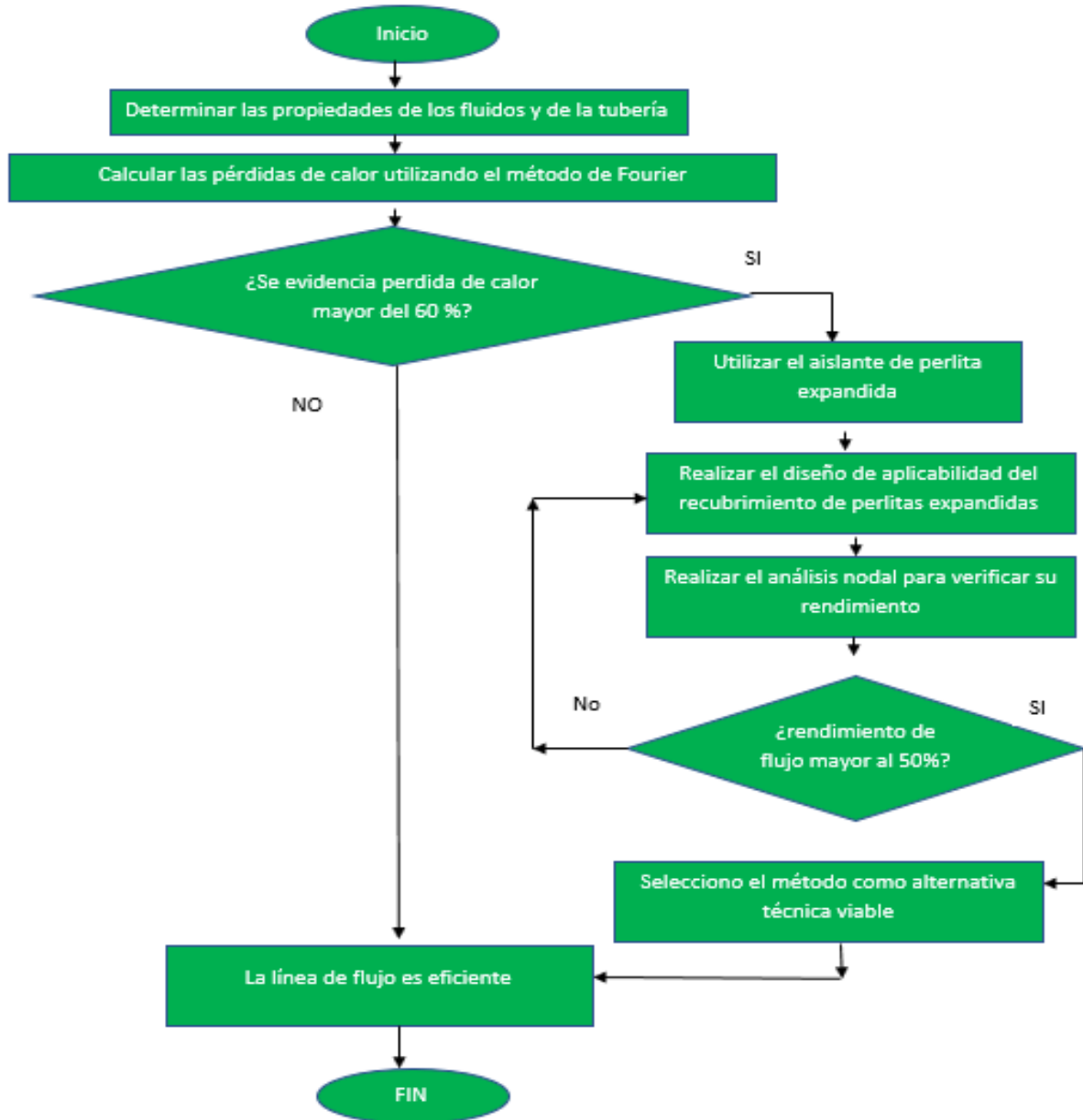


Figura 6 Esquema metodológico del trabajo de investigación

Análisis y recolección de datos

Análisis SARA

(Fan et al., 2002) Establecen que el análisis SARA es una técnica que permite dividir al crudo según su composición ya sea Saturado, Aromáticos, Resinas, Parafinas y Asfáltenos,

utilizando “separación cromatográfica impulsada por gravedad, cromatografía de capa fina (TLC) y cromatografía líquida de alta presión (HPLC)”.

Esta técnica evalúa los compuestos del crudo en función de la fracción de solubilidad, polaridad y peso molecular de los componentes, es esencial para el trabajo de caracterización de crudos pesados, donde se extrae muestras de crudo para separarlas en fracciones de menor peso, permitiendo determinar la composición de la muestra, la aplicabilidad de esta técnica se fundamenta, en que el campo de estudio posee un crudo de baja gravedad API, 16° y un valor de viscosidad de 2957 cp.

| Muestra | Composición |
|---|---------------|
| Saturados | 7.80 % |
| Aromáticos | 32.90% |
| Parafinas | 9.20% |
| Asfáltenos | 50.10% |
| Parafinas + Asfáltenos | 59.30% |
| Índice de Inestabilidad Coloidal (IIC) | 1.38 |

Tabla 3 Porcentaje de composición del crudo según el análisis SARA cromatográfico

Viscosidad de los pozos

Utilizando las pruebas de laboratorios a través de la aplicabilidad del método de baño de maría, se procede a calcular la viscosidad dinámica del crudo de nueve pozos, utilizando viscosímetros de tamaño; 500(102B), 600(957F, 660G, 671G,) y 650(626 D), obteniendo los siguientes resultados denotado en la tabla 4.

| FECHA (aaaa-mm-dd) | TIPO DE MUESTRA | CÓDIGO DE LA MUESTRA A PEC- | TAMAÑO DE VISCOSIMETRO USADO | Tb ± Factor RTD (°F) | t1 (s) | C1 | R1 (t1°C) mm²/s (cSt) | t2 (s) | C2 | R2 (t2°C) mm²/s (cSt) | R=(R1+R2)/2 mm²/s (cSt) |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------|--------|---------|-----------------------|--------|---------|-----------------------|-------------------------|
| 2024-08-21 | CRUDO | SHSO-100 | 500(102B) | 80,01 | 406,15 | 7,0733 | 2872,82 | 580,32 | 4,9833 | 2891,91 | 2882,4 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-103 | 600(957F) | 80,01 | 122,35 | 19,0089 | 2325,74 | 156,36 | 14,9811 | 2342,44 | 2334,1 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-132 | 600(660G) | 80,01 | 505,92 | 20,68 | 10462,43 | 729,74 | 14,34 | 10464,47 | 10463,4 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-181 | 600(671G) | 80,01 | 158,34 | 20,2967 | 3213,78 | 226,41 | 14,3033 | 3238,41 | 3226,1 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-128 | 500(102B) | 80,01 | 305,20 | 7,0733 | 2158,77 | 430,26 | 4,9833 | 2144,11 | 2151,4 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-131 | 600(957F) | 80,01 | 259,60 | 19,0089 | 4934,71 | 330,63 | 14,9811 | 4953,20 | 4944,0 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-175 | 600(660G) | 80,01 | 138,11 | 20,68 | 2856,11 | 197,75 | 14,34 | 2835,74 | 2845,9 |
| 2024-08-21 | CRUDO | SHS-168 | 600(957F) | 80,01 | 150,79 | 19,0089 | 2866,35 | 192,36 | 14,9811 | 2881,76 | 2874,1 |
| 2024-08-24 | CRUDO | SHS-132 | 650(626D) | 80,02 | 276 | 42,59 | 11754,84 | 391,34 | 30,1156 | 11785,44 | 11770,1 |

Tabla 4 Resultados de laboratorio de cálculo de la viscosidad

Evaluación de la eficiencia de rendimiento de la tubería

Una vez identificado el tipo de composición predominante en el transporte de crudo pesado se procede a determinar las pérdidas de fricción, perdidas menores y perdidas de calor generada por la movilización de crudos viscoso, teniendo en cuenta que trabajar con este tipo de petróleo,

se requiere de un procedimiento más afondo dado, ya que poise propiedades fisicoquímicas, que tienden a genera afectaciones y repercusión durante su traslado.

La alta concentración de asfáltenos y parafinas puede generar problemas en las instalaciones de superficie y líneas de flujo ya que su estabilidad se ve afectada principalmente por variaciones en la presión del flujo. La presencia de estas sustancias induce a problemas de taponamiento, costras de revoque y deficiencia de movilidad durante su transporte.

Flujo de fluidos en tuberías

Para identificar el comportamiento del flujo dentro de las líneas de flujo es necesario determinar el régimen de flujo, este se determina mediante el número de Reynolds a través de la ecuación (3) , esta ecuación permite determinar el comportamiento de movilidad de un fluido teniendo en consideración factores de proporcionalidad como: “la velocidad de flujo, la densidad, y el diámetro de la tubería, pero inversamente proporcional a la viscosidad”, donde se terminara el tipo de fluido según el valor del número de Reynolds de los cuales tenemos; flujo laminar, flujo turbulento, y flujo transitorio (Peralta Sanchez et al., 2018).

$$Re = \frac{\rho * v * d}{u} \quad Ec(3).$$

Donde:

p: densidad en (kg/m³).

v: Velocidad de flujo (m/s).

d: diámetro de la tubería (m).

DATOS TÉCNICOS

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| CAUDAL | 6263 BFPD |
| DIÁMETRO | 6 in |
| LONGITUD | 1.5 km |
| VISCOSIDAD | 2957 cp |
| ÁREA | 0.01824 m ² |
| VELOCIDAD DE FLUJO | 0.6316 m/s |
| DENSIDAD DEL OIL | 957.4 kg/m ³ |

Tabla 5 Datos para calcular el tipo de flujo y pérdida de presión tomados del campo SHUSHUFINDI SUR OESTE

Para evaluar el comportamiento del fluido dentro de la tubería es necesario determinar el valor de Reynolds ya que nos permitir identificar el decline de presión en el oleoducto y los demás cálculos necesarios para determinar la eficiencia de flujo, si el numero $Re < 2200$ el flujo es laminar, si el valor de Re se encuentra entre 2200 y 4500 el flujo se encuentra en estado transitorio y si $Re > 4500$ el flujo es de tipo turbulento.

| Numero de Reynolds | Tipo de flujo |
|---------------------------|----------------------|
| Re: 31.165 | Laminar |

Tabla 6 Resultados de cálculo de numero de Reynolds y tipo de régimen de flujo

Análisis de los parámetros necesarios para el cálculo de la presión que soporta el punto final donde descarga el crudo

$$\Delta p = \rho * g * hf \quad Ec(4)$$

Ecuación de Darcy

Calculamos la pérdida por fricción utilizando la ecuación de Darcy Weisbach

$$hf = f \frac{L * v^2}{d^2 * g} \quad Ec(5)$$

Dependiendo del número de Reynolds se emplea la ecuación (6) o (7) según el tipo de flujo

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación de Moody, consideramos una tubería de acero bridado con un factor de rugosidad Ks de: 0.0009 m.

$$f = 0.0055 \left[1 + \left(20000 \frac{ks}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad Ec(7).$$

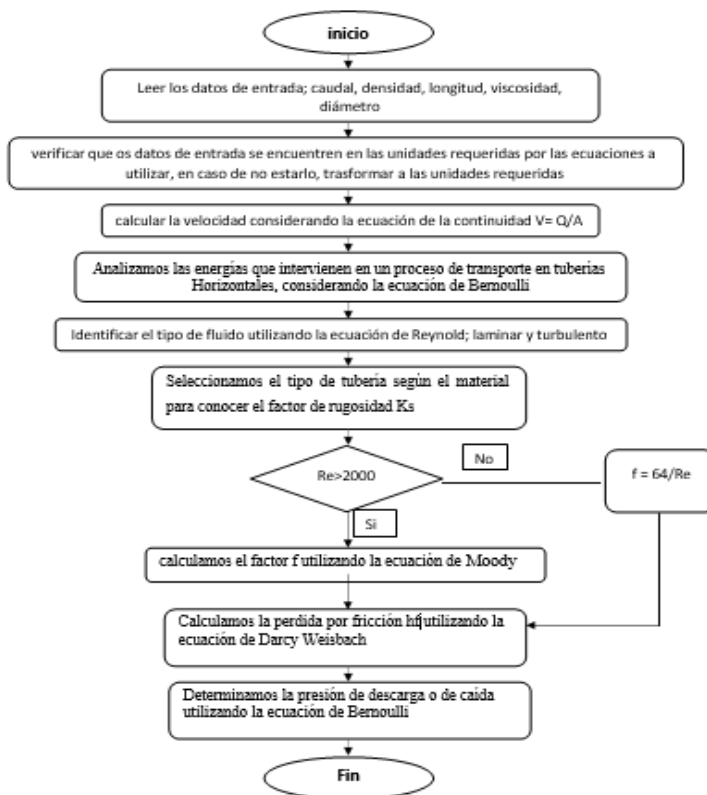


Figura 7 Esquema grafico para el cálculo de pérdidas de presión en líneas de flujo

Perdidas de calor en tuberías

La pérdida de calor es un parámetro esencial que influye en el comportamiento del fluido dentro de la línea de flujo, donde existen dos agentes de actuación en la fuente y del receptor, donde pasan de un ambiente a otro con pérdidas de energía térmica, mediante la conducción, convección y radiación. conforme se incrementa la velocidad de flujo y el aire en el exterior de la tubería, el valor de convección incrementa, mientras que la conducción depende de manera directa del cambio de temperatura, conjuntamente con la radiación, solo que a esta se le incluye la emisividad de transmisión de calor desde la superficie.

(Muñoz, 2019) Menciona que, al disminuir la capacidad de las paredes sólidas para conducir calor, aislar el área entre el equipo en la fuente y el equipo a su alrededor disminuye la transferencia de calor por conducción. En la práctica, la conducción puede provocar quemaduras cuando las personas entran en contacto con una superficie mal aislada. Por otro lado, la convección y la radiación son las culpables de que las personas sientan el calor en la piel sin entrar en contacto con la superficie.

$$Q = \frac{KA(T_f - T_r)}{E} \quad Ec(8)$$

DONDE:

k = Conductividad térmica pared

A = Área radiante

T_f = Temperatura de la fuente

T_r = Temperatura del receptor

E = Espesor de pared

$$Q = \frac{LA(T_f - T_r)}{k} \quad Ec(9).$$

DONDE:

k = Conductividad térmica del aire

A = Area radiante

T_f = Temperatura de la fuente

T_r = Temperatura del receptor

L = Longitud de película

$$Q = A * \epsilon (T_f^4 - T_r^4) \quad Ec(10).$$

DONDE:

ϵ = Emisividad

A = Área radiante

T_f = Temperatura de la fuente

T_r = Temperatura del receptor

ANÁLISIS NODAL

VOGEL

Este método se basa en la aplicación de un modelo matemático que nos permite el cálculo del Índice de Productividad (IPR) a partir de datos de entrada relacionados con el flujo (inflow).

Es importante tener en cuenta que el IPR es obtenido mediante la ecuación formulada por Vogel no considera el factor de daño (s), lo que implica que los resultados son independientes de

posibles deterioros en el rendimiento del pozo, ya que en una representación gráfica del IPR, se observa que la línea mantiene un comportamiento lineal hasta alcanzar el punto de burbuja, el cual llega a un punto crítico que el yacimiento comienza a saturarse, lo que provoca la liberación del gas disuelto en el líquido. Posteriormente, la gráfica del IPR cambia su forma, adoptando una curvatura distintiva (curvilínea) (Brown, 1984).

Vogel desarrolló esta formulación matemática con el objetivo de estudiar el comportamiento del Índice de Productividad en situaciones de flujo bifásico, ya que este fenómeno ocurre cuando la presión del reservorio cae por debajo de la presión de burbuja, lo cual es un estado que puede ocurrir bajo ciertas condiciones térmicas del yacimiento.

Pasos para generar una curva IPR:

Recopilar Información (DATOS):

Requerirás información sobre la producción del pozo, que puede abarcar caudales, presiones en el yacimiento (o presión de fondo del pozo), viscosidad del fluido, además de características del yacimiento (como la permeabilidad y densidad del fluido).

Seleccionar el modelo adecuado:

Hay diversos modelos de Inyección de Presión de Reservorio (IPR), incluyendo el modelo de Darcy y el modelo de flujo radial, entre otros. La selección del modelo adecuado dependerá de la naturaleza del yacimiento y del comportamiento anticipado del fluido.

Calcular la presión de yacimiento:

Utilizando los datos de presión y producción, determina la presión en el yacimiento para diversas tasas de producción. Esto podría implicar las aplicaciones de ecuaciones de equilibrio de presión o la realización de simulaciones.

Caso 1

$$P_{wf} \geq P_b$$

1) Calcular J

$$J = \frac{q_o}{P_r - P_{wf}}$$

2) Calcular q_b

LINEAL

$$q_b = J(P_r - P_b)$$

$$q_o = J(P_r - P_{wf}) \quad .$$

3) Genere el IPR para valores de $P_{wf} < P_b$

$$q_o = q_b \frac{JP_b}{1,8} \left[1 - 0,2 \frac{P_{wf}}{P_b} - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right]$$

$$q_{o \text{ MAX}} = q_b + \frac{JP_b}{1,8}$$

Construcción de la curva:

Representa visualmente las tasas de producción en el eje horizontal (X) y las presiones del yacimiento en el eje vertical (Y).

Para construir la curva:

Utilizando los puntos obtenidos, podrás trazar la curva de (IPR). La forma de esta curva estará influenciada por el tipo de flujo (ya sea laminar o turbulento) y por las características del fluido.

Evaluación de la curva:

Una vez que hayas obtenido la curva, es posible analizarla para comprender cómo se comporta el pozo ante diversas condiciones de presión y producción. Además, este análisis puede ser útil para optimizar la producción del pozo o para evaluar su viabilidad económica.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

La metodología desarrollada e implementada para la instalación de perlitas expandidas con exterior de aluminio como reductor de pérdidas de calor en oleoductos altamente viscosos, siguiendo el flujo de trabajo aplicando dos sistemas de evaluación.

- Aplicar la ley de furrier para determinar las pérdidas de calor, tanto en tuberías sin recubrimiento, y tuberías con recubrimiento de perlitas expandidas.
- Aplicar el análisis nodal, con el fin de determinar la eficiencia de todo el sistema de producción y transporte del crudo en la línea de flujo desde el WELL PAD SHSO hasta la estación Shushufindi Sur Oeste

Identificando las propiedades de los fluidos y de la tubería para someterlo a un análisis evaluativo utilizando las fórmulas relacionadas al comportamiento reológico de la línea de flujo en función del tipo de crudo y de las pérdidas de temperaturas.

El análisis evaluativo de las pérdidas de calor en las líneas de flujo se logró determinar a través de las ecuaciones presentadas en el capítulo metodológica apartado de pérdidas de calor, para ello se hizo uso del lenguaje de programación PYTHON en conjunto con el editor de código JUPYTER NOTBOOK, donde se puntualizaron todos los parámetros de evaluación, denotado en la figura

```

•[24]: import numpy as np

# Ingreso de datos
T_fluido = float(input("Ingresa la temperatura del fluido en grados Celsius: "))
T_ambiente = float(input("Ingresa la temperatura ambiente en grados Celsius: "))
k_fluido = float(input("Ingresa la conductividad térmica del fluido (W/m·K): "))
k_tuberia = float(input("Ingresa la conductividad térmica de la tubería (W/m·K): "))
k_perlita = float(input("Ingresa la conductividad térmica de la perlita (W/m·K): "))
L = float(input("Ingresa la longitud de la tubería en metros: "))

# Ingreso de radios
r1 = float(input("Ingresa el radio interno de la tubería (m): "))
r2 = float(input("Ingresa el radio externo de la tubería (m): "))
r3 = float(input("Ingresa el radio externo de la capa de perlita (m): "))

# Cálculo de resistencias térmicas sin recubrimiento (solo tubería)
R_sin_recubrimiento = np.log(r2 / r1) / (2 * np.pi * k_tuberia * L)

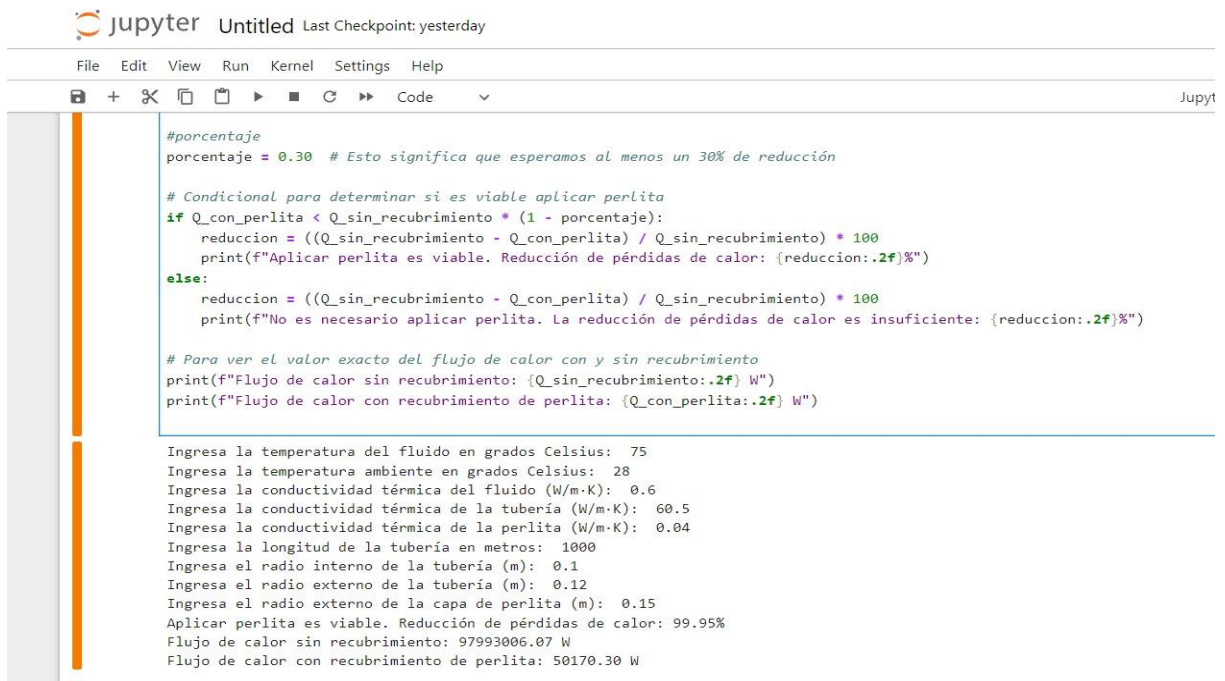
# Flujo de calor sin recubrimiento
Q_sin_recubrimiento = (T_fluido - T_ambiente) / R_sin_recubrimiento

# Cálculo de resistencias térmicas con recubrimiento de perlita (fluido, tubería, perlita)
R_con_perlita = np.log(r2 / r1) / (2 * np.pi * k_fluido * L) + \
    np.log(r3 / r2) / (2 * np.pi * k_tuberia * L) + \
    np.log(r3 / r2) / (2 * np.pi * k_perlita * L)

# Flujo de calor con recubrimiento de perlita
Q_con_perlita = (T_fluido - T_ambiente) / R_con_perlita

```

Figura 8 Leguaje de programación para calcular las pérdidas de calor



The screenshot shows a Jupyter Notebook window titled "Untitled" with a last checkpoint from yesterday. The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Run, Kernel, Settings, Help) and a toolbar with icons for file operations and execution. The code cell contains a Python script that calculates heat loss reduction based on input parameters. The output cell displays the results of the script, including the calculated heat loss with and without perlite insulation.

```

#porcentaje
porcentaje = 0.30 # Esto significa que esperamos al menos un 30% de reducción

# Condicional para determinar si es viable aplicar perlita
if Q_con_perlita < Q_sin_recubrimiento * (1 - porcentaje):
    reduccion = ((Q_sin_recubrimiento - Q_con_perlita) / Q_sin_recubrimiento) * 100
    print(f"Aplicar perlita es viable. Reducción de pérdidas de calor: {reduccion:.2f}%")
else:
    reduccion = ((Q_sin_recubrimiento - Q_con_perlita) / Q_sin_recubrimiento) * 100
    print(f"No es necesario aplicar perlita. La reducción de pérdidas de calor es insuficiente: {reduccion:.2f}%")

# Para ver el valor exacto del flujo de calor con y sin recubrimiento
print(f"Flujo de calor sin recubrimiento: {Q_sin_recubrimiento:.2f} W")
print(f"Flujo de calor con recubrimiento de perlita: {Q_con_perlita:.2f} W")

```

Ingresa la temperatura del fluido en grados Celsius: 75
 Ingresa la temperatura ambiente en grados Celsius: 28
 Ingresa la conductividad térmica del fluido (W/m·K): 0.6
 Ingresa la conductividad térmica de la tubería (W/m·K): 60.5
 Ingresa la conductividad térmica de la perlita (W/m·K): 0.04
 Ingresa la longitud de la tubería en metros: 1000
 Ingresa el radio interno de la tubería (m): 0.1
 Ingresa el radio externo de la tubería (m): 0.12
 Ingresa el radio externo de la capa de perlita (m): 0.15
 Aplicar perlita es viable. Reducción de pérdidas de calor: 99.95%
 Flujo de calor sin recubrimiento: 97993006.07 W
 Flujo de calor con recubrimiento de perlita: 50170.30 W

Figura 9 Resultados de pérdidas de calor en tuberías

Resultados de pérdidas de calor en oleoductos

| LINEA DE FLUJO | SIN RECUBRIMIENTO | CON PERLITAS EXPANDIDAS |
|----------------------|-------------------|----------------------------|
| Oleoducto Secundario | 97993006.07 w | 50170.30 w |

Tabla 7 resultados del cálculo de pérdida de calor en líneas de flujo obtenidos del lenguaje de programación

El nivel de pérdida de calor presente en las tuberías de acero sin recubrimiento es considerable, por lo que generaría problemas en la movilidad del crudo ya que el petróleo producido en el campo es un crudo viscoso de 16° API, que, al presentar pérdidas de calor, la resistencia al flujo aumenta es decir la viscosidad se incrementa ya que la temperatura es inversamente proporcional a la viscosidad, entre más calor presente en la tubería mayor facilidad de desplazamiento.

(GALINDO, 2019) Establece que haciendo uso de las perlitas expandidas se puede comprobar que la pérdida de temperatura disminuye de manera considerable lo que permite mantener la temperatura de flujo ideal. Al minimizar el movimiento de calor por “conducción, convección y radiación en áreas interiores”, este tipo de recubrimiento ayuda a sostener una temperatura constante. La perlita es un gran aislante debido al aire atrapado dentro de su estructura, lo que reduce la capacidad de transferencia de calor. La perlita también reduce las pérdidas de calor por convección al limitar la cantidad de “intercambio de calor entre el interior y el exterior” al permanecer relativamente cerca de la temperatura ambiente. De manera similar, la perlita tiene la capacidad de reflejar el calor, reduciendo la cantidad de energía perdida por radiación.

Uso del análisis nodal

Mediante la aplicación del análisis nodal se puede evaluar la eficiencia del rendimiento operativo tomando en consideración los datos de entrada y salida de flujo en el sistema, se

consideró el comportamiento productivo del yacimiento y su comportamiento durante la movilización del crudo a través de las líneas horizontales en superficie, haciendo uso de la fórmula de Vogel y correlaciones que me permitirán estimar el diámetro externo de tubería eficiente en función del caudal, temperatura y presión de flujo.

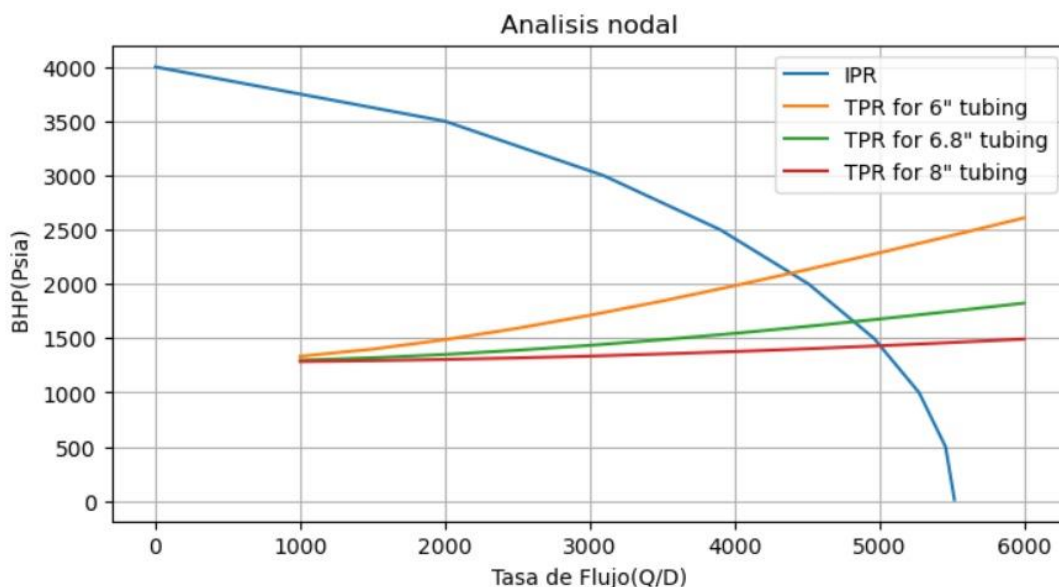


Figura 10 Análisis Nodal de la línea de flujo con recubrimiento y con perlitas expandidas

Mediante las correlaciones para graficar las curvas outflow se consideró tres diámetros de tubería el de 6 pulgadas es la línea de flujo sin recubrimiento mientras que los otros dos diámetros es con agentes recubridores y aislantes, para este proceso seleccionamos el diámetro de flujo óptimo de 6.8 in dado que el caudal de flujo se incrementa y requiere una menor presión de flujo, además la producción de crudo es viable.

Debido a su baja densidad, las perlitas expandidas son perfectas para usar como agente reductor de peso en una variedad de aplicaciones de producción y perforación de pozos petroleros. Pueden ayudar a reducir el peso del lodo de perforación, mejorar la efectividad del proceso y reducir la posibilidad de colapsos de las paredes del pozo. También pueden retener fluidos debido

a su alta porosidad, que es esencial para maximizar la circulación de fluidos en el pozo. Además, debido a su resistencia a los productos químicos, los efectos corrosivos de los fluidos de perforación se reducen, extendiendo la vida útil de la maquinaria y el equipo involucrados. en el proceso de extracción. Las perlitas expandidas pueden ayudar a reducir los desechos y hacer un mejor uso de la disponibilidad de los recursos en el entorno de producción, lo que no solo reduce los costos operativos, sino que también respalda el objetivo de la industria petrolera de implementar prácticas más sustentables. El campo de una mayor recuperación de petróleo puede verse muy afectado por la perlita expandida.

Conclusiones

En el actual estudio de titulación se ha investigado exhaustivamente el problema de declines de temperaturas en los oleoductos que transportan petróleo crudo pesado en el yacimiento petrolífero del suroeste de Shushufindi. La incidencia de las propiedades de los fluidos en la movilidad del petróleo crudo se ha evaluado mediante la aplicación de un enfoque cualitativo y cuantitativo, identificando variables críticas como la temperatura y la viscosidad que tienen una relación directa con la eficiencia del transporte.

Se cumplieron los objetivos fijados, como conocer las características del petróleo crudo y evaluar el funcionamiento de las perlitas expandidas con cubierta de aluminio. Se ha demostrado que la aplicación de estos recubrimientos aislantes mejora la eficiencia del tránsito, alarga la vida útil de las tuberías y reduce los gastos operativos asociados con la corrosión y el mantenimiento, además de mitigar la pérdida de calor.

Esta tecnología de vanguardia tiene el potencial de mejorar significativamente el transporte de petróleo crudo pesado, lo que resultará en una gestión de recursos más eficaz. Además de avanzar en el área de la ingeniería petrolera, esta investigación sienta las bases para futuras investigaciones dirigidas a mejorar la sostenibilidad y la productividad del sector petrolero.

Recomendaciones

- Se recomienda vigilar de cerca la temperatura y la viscosidad (espesor) del petróleo crudo en los oleoductos de tránsito. Esto proporcionará ajustes en tiempo real para optimizar las operaciones y ayudará a detectar cualquier cambio en el rendimiento del sistema.
- Se aconseja realizar estudios comparativos entre las perlitas expandidas y otros materiales aislantes utilizados en el mercado. Esto ayudará a determinar la alternativa que sea más económica y térmicamente eficiente.
- El uso de materiales y tecnologías innovadores que puedan mejorar la seguridad y la eficiencia operativas debe considerarse cuando las autoridades examinen y modifiquen las regulaciones relativas al transporte de petróleo crudo pesado.

Referencias:

- Benavente, D., Bernabéu, A. M., & Cañaveras, J. C. (2004). Estudio de propiedades físicas de las rocas. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 12(1), 62–68.
- Cajamarca, L. (2017). *Análisis del sistema de manejo de agua en el campo Shushufindi*.
- CASTRO ZUÑIGA, J. G., & PIARPUEZÁN ENRÍQUEZ, M. A. (2018). *METODOLOGÍA DE OTECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA REFINERÍA ESMERALDAS MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE UN AISLANTE TÉRMICO CON PERLITA EXPANDIDA*.
- Conuee, P. (2009). *Beneficios del aislamiento térmico en la industria*.
- Domingo, A. M., & Domingo, A. M. (2011). *Mecánica de los fluidos*.
- Escobar, F. (2012). *Fundamentos de ingeniería de yacimientos*.
<http://oilproduction.net/files/Libro Fundamentos de Ing de Yacimientos - Fredy Escobar.pdf>
- Fan, T., Wang, J., & Buckley, J. S. (2002). Evaluating Crude Oils by SARA Analysis. *Proceedings - SPE Symposium on Improved Oil Recovery*, 883–889.
<https://doi.org/10.2118/75228-ms>
- García, D., & Vargas, F. (2017). Aislamiento térmico de tuberías de acero que transportan fluidos calientes a partir de recubrimientos elaborados mediante proyección térmica. *TecnoLógicas*, 20(40), 53–69. <https://doi.org/10.22430/22565337.705>
- Jimenez, M. (2007). *DISEÑO DEL CUADRO DE MANDO INTEGRAL (CMI) PARA LA GERENCIA DE OLEODUCTO DE PETROECUADOR* (Issue Cmi).
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8090/4/CD-1113.pdf>
- Laurencio Alfonso, H. L., Retirado Mediaceja, Y., & Torres Tamayo, E. (2024). Procedimiento para determinar la variación de temperatura del petróleo pesado con comportamiento

seudoplástico en tuberías conductoras. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 31.

<https://doi.org/10.4067/s0718-33052023000100240>

MÉNDEZ RODRIGUEZ, M. A., & MONTENEGRO BORBOR, H. A. (2021). “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE UN OLEODUCTO LA LIBERTAD - ESMERALDAS.” In *UPSE*.

Muñoz, M. (2019). *GUÍA PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR POR AISLAMIENTO TÉRMICO*.

Paris de Ferrer, M. (2009). *Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos*.

Peralta Sanchez, A. F., Blanco Sanchez, J. D., Reina Gonzalez, J. F., & Mantilla Ramirez, L. E. (2018). Transporte de crudo pesado por oleoducto usando el método de dilución: Un enfoque práctico para modelar la caída de presión y la precipitación de asfaltenos. *Revista Fuentes El Reventón Energético*, 15(2), 7–17. <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n2-2017001>

S.R.L., E. Y. S. P. (2015). *VISCOSIDAD Y ESTRUCTURA EN CRUDOS PESADOS DE LA C.G.S.J.* 1–10.

Vivanco, A. (2011). *Modelación del tramo Páramo-Puerto Quito del OCP S.A. (Oleoducto de crudos pesados), mediante el programa Pipelinestudio*.

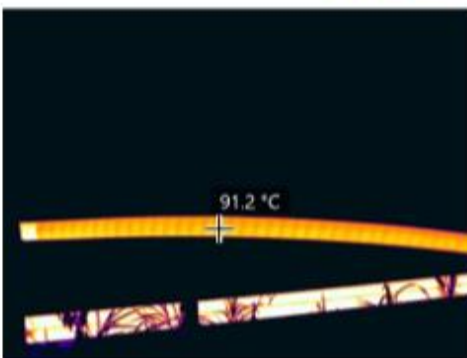
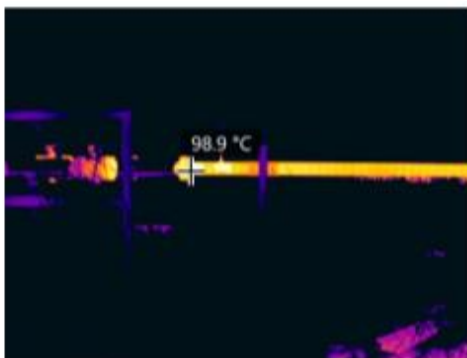
Anexos

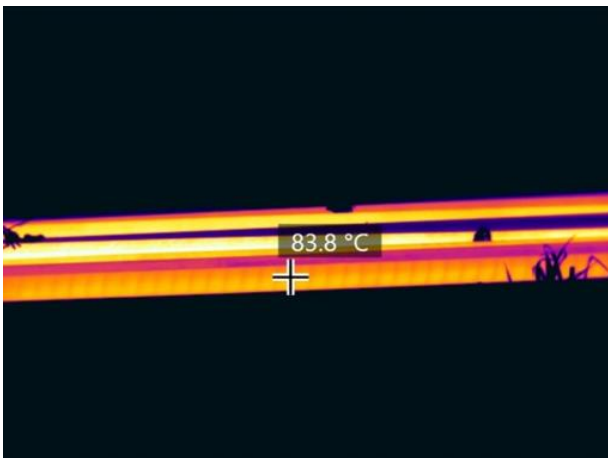
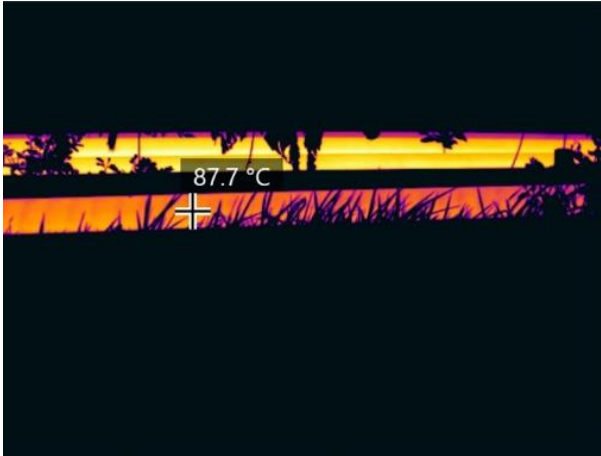
| | |
|--------------------------------|------------|
| INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA | 03/09/2024 |
| | 1 |

TERMOGRAFÍA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DESDE WELL PAD SH50 HASTA ESTACIÓN SUROESTE



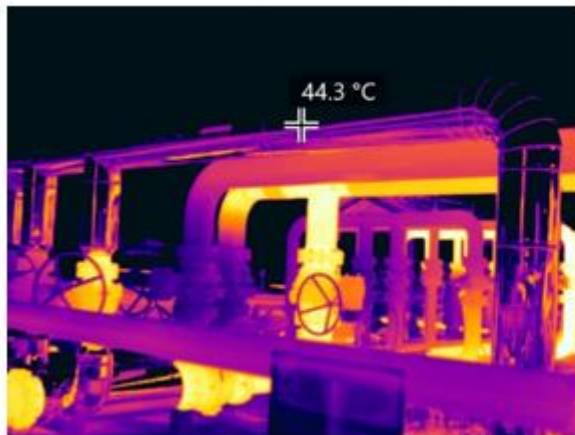
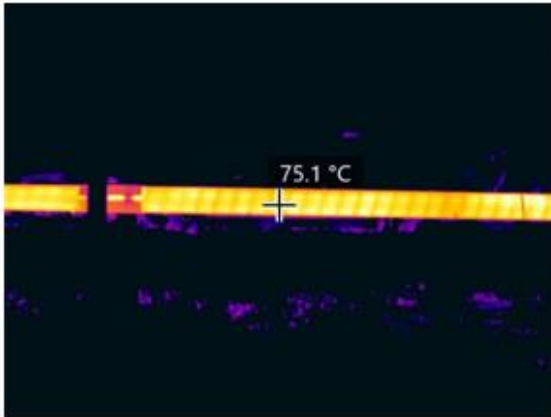
ÁREA DE MANIFOLD SALIDA LÍNEA DE TRANSFERENCIA HACIA ESTACIÓN SUROESTE







ÁREA DE MANIFOLD ESTACIÓN SUROESTE



lenguaje de programación

```

•[24]: import numpy as np

# Ingreso de datos
T_fluido = float(input("Ingresa la temperatura del fluido en grados Celsius: "))
T_ambiente = float(input("Ingresa la temperatura ambiente en grados Celsius: "))
k_fluido = float(input("Ingresa la conductividad térmica del fluido (W/m·K): "))
k_tuberia = float(input("Ingresa la conductividad térmica de la tubería (W/m·K): "))
k_perlita = float(input("Ingresa la conductividad térmica de la perlita (W/m·K): "))
L = float(input("Ingresa la longitud de la tubería en metros: "))

# Ingreso de radios
r1 = float(input("Ingresa el radio interno de la tubería (m): "))
r2 = float(input("Ingresa el radio externo de la tubería (m): "))
r3 = float(input("Ingresa el radio externo de la capa de perlita (m): "))

# Cálculo de resistencias térmicas sin recubrimiento (solo tubería)
R_sin_recubrimiento = np.log(r2 / r1) / (2 * np.pi * k_tuberia * L)

# Flujo de calor sin recubrimiento
Q_sin_recubrimiento = (T_fluido - T_ambiente) / R_sin_recubrimiento

# Cálculo de resistencias térmicas con recubrimiento de perlita (fluido, tubería, perlita)
R_con_perlita = np.log(r2 / r1) / (2 * np.pi * k_fluido * L) + \
    np.log(r3 / r2) / (2 * np.pi * k_tuberia * L) + \
    np.log(r3 / r2) / (2 * np.pi * k_perlita * L)

# Flujo de calor con recubrimiento de perlita
Q_con_perlita = (T_fluido - T_ambiente) / R_con_perlita

```

 Jupyter Untitled Last Checkpoint: yesterday

File Edit View Run Kernel Settings Help

 Code

Jupyter

```

#porcentaje
porcentaje = 0.30 # Esto significa que esperamos al menos un 30% de reducción

# Condicional para determinar si es viable aplicar perlita
if Q_con_perlita < Q_sin_recubrimiento * (1 - porcentaje):
    reduccion = ((Q_sin_recubrimiento - Q_con_perlita) / Q_sin_recubrimiento) * 100
    print(f"Aplicar perlita es viable. Reducción de pérdidas de calor: {reduccion:.2f}%")
else:
    reduccion = ((Q_sin_recubrimiento - Q_con_perlita) / Q_sin_recubrimiento) * 100
    print(f"No es necesario aplicar perlita. La reducción de pérdidas de calor es insuficiente: {reduccion:.2f}%")

# Para ver el valor exacto del flujo de calor con y sin recubrimiento
print(f"Flujo de calor sin recubrimiento: {Q_sin_recubrimiento:.2f} W")
print(f"Flujo de calor con recubrimiento de perlita: {Q_con_perlita:.2f} W")

```

```

Ingresa la temperatura del fluido en grados Celsius: 75
Ingresa la temperatura ambiente en grados Celsius: 28
Ingresa la conductividad térmica del fluido (W/m·K): 0.6
Ingresa la conductividad térmica de la tubería (W/m·K): 60.5
Ingresa la conductividad térmica de la perlita (W/m·K): 0.04
Ingresa la longitud de la tubería en metros: 1000
Ingresa el radio interno de la tubería (m): 0.1
Ingresa el radio externo de la tubería (m): 0.12
Ingresa el radio externo de la capa de perlita (m): 0.15
Aplicar perlita es viable. Reducción de pérdidas de calor: 99.95%
Flujo de calor sin recubrimiento: 97993006.07 W
Flujo de calor con recubrimiento de perlita: 50170.30 W

```

```
[8]:
import matplotlib.pyplot as plt
import math

def ipr(pr,pb,ptest,qtest,re=1000,rw=0.25,h=100,ko=100,mu=100, Bo=1):

    if pb>=pr:
        list_q=[]
        list_pwf2=[]
        ylim=pr
        j_darcy=0.00708*ko*h/(mu*Bo*math.log(0.472*re/rw))
        print("Productivity index(j) is {} STB/D-psi".format(round(j_darcy,4)))
        qob=0
        for i in range(round(pr,-2),-100,-100):
            qomax=qtest/(1-0.2*ptest/pr-0.8*(ptest/pr)**2)
            qo=qomax*(1-0.2*(i/pr)-0.8*(i/pr)**2)
            list_pwf2.append(i)
            list_q.append(round(qo))
        print(list_q,list_pwf2)

    else:
        ylim=pr
        list_pwf2=[]
        list_q=[]
        for i in range(round(pr,-1),-100,-100):
            list_pwf2.append(i)
```

```

j1=qtest/(pr-ptest)
qob=j1*(pr-pb)

if i>=pb:
    qo=j1*(pr-i)
    list_q.append(round(qo))
else:
    qo=qob*(j1*pb*(1-0.2*i/pb-0.8*(i/pb)**2)/1.8)
    list_q.append(round(qo))

else:
    j1=((qtest/((pr-pb)*pb/1.8*(1-0.2*ptest/pr-0.8*(ptest/pr)**2)))
    qob=((qtest/((pr-pb)*pb/1.8*(1-0.2*ptest/pr-0.8*(ptest/pr)**2))*(pr-pb))
    if i>=pb:
        qo=j1*(pr-i)
        list_q.append(round(qo))
    else:
        qo=qob*(j1*pb/1.8*(1-0.2*i/pb-0.8*(i/pb)**2))
        list_q.append(round(qo))

plt.plot(list_q, list_pwf2, marker="x",ms=5)
plt.ylim(0,ylim)
plt.xlabel("tasa de flujo, STB/D")
plt.ylabel("Presion de fondo de pozo, psi")
plt.scatter(qob, pb, marker="o",color="r")
plt.annotate("Presión de burbuja", (qob, pb))
plt.plot(0, pr, marker="o",color="b")
plt.title(label="Curva de relación de rendimiento del flujo de entrada")
```