

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN GENERADORES DE VAPOR

Luis Ardila & Fabel Puerto.

Octubre 2015.

Universidad Santo Tomas

Posgrados de Ingeniería

Especialización en Ingeniería Electrónica.

Cada fracaso se convierte en un reto cuando somos fuertes y cada reto se convierte en un logro cuando perseveramos y entendemos que es una oportunidad de mejorar.

Pero solo podemos actuar de esa forma cuando las personas que queremos nos alientan a hacerlo, a ellas dedicamos este logro.

Agradecimientos

iii

Gracias a quienes nos acompañaron durante la especialización, a nuestras familias por ceder parte del espacio que les corresponde, a nuestros compañeros por sus aportes y por su cordialidad y a nuestros profesores por compartir su conocimiento y su experiencia

Entre los diferentes métodos empleados para la recuperación de crudos pesados, en los campos de la Asociación NARE, ubicados en la zona del Magdalena Medio Colombiano, se emplean calderas acuatubulares para la inyección cíclica de vapor saturado como método de recobro, el control de la calidad del vapor inyectado es de gran importancia puesto que impacta directamente los costos de operación.

Evaluando la tecnología existente para la medición de la calidad del vapor, este trabajo plantea una solución a la necesidad de implementar un sistema de control automático de la calidad del vapor en un generador de vapor Marca KERUI. Se desarrollan, la Ingeniería Conceptual, Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalle y se realizara la planificación y evaluación de factibilidad técnico económica del proyecto en su fase de ingeniería.

Tabla de Contenidos

Introducción	1
Objetivos	3
General	3
Específicos	3
Capítulo 1 La Idea de Negocio	4
Antecedentes	4
Problema a Solucionar	4
Descripción de la Solución	4
Justificación	5
Alcance	5
Capítulo 2 Ingeniería Conceptual	7
Fundamentación teórica	7
Sistema de control Existente	9
Calidad de Vapor	12
Tecnología Existente	12
Método Separador	13
Método de platina de orificio	14
Calorímetros de estrangulamiento	15
Método de conductividad eléctrica	18
Especificaciones de funcionamiento	19
Especificaciones de montaje físico.	21
Especificaciones de ambiente de operación	22
Especificaciones de gestión	23
Normativa técnica a cumplir	23
Requerimientos Legales	24
Requerimientos Contractuales	24
Identificación y Gestión de los riesgos	25
Capítulo 3 Ingeniería Básica	27
Diagrama en bloques de la solución	27
Descripción de la solución	27
Capítulo 4 Ingeniería de detalle	29
Componentes del Sistema	29
Computador de Flujo	29
Platina de Orificio	29
RTD	29
Software de Gestión Rocklink 800	30
Diagramas y planos de la solución	30
Diagrama de montaje	30
Diagrama de conexión al sistema existente	30
Diagrama de Lazo	30

Listado de elementos.....	30vi
Capítulo 5 Factibilidad Técnica	32
Capítulo 6 Análisis de costos.....	33
Costos Variables Directos.....	33
Árbol de tareas	34
Organigrama del proyecto	35
Asignación de recursos y cálculo de costos Variables directos.....	35
Cronograma de actividades.....	41
Costos Variables Indirectos	41
Costos Administrativos.....	41
Gastos Generales.....	42
Gastos Financieros.....	42
Costos Fijos.....	42
Costos Totales.....	43
Valor del Proyecto	44
Viabilidad económica	44
Conclusiones	46
Recomendaciones	47
Bibliografía	48
Anexo A.1 Diagrama de Montaje	1
Anexo A.2 Diagrama De Canalizaciones Eléctricas.....	2
Anexo A.3 Diagrama de Lazo	3

Lista de tablas

vii

Tabla 1 Resumen de protecciones de los generadores de Vapor Kerui	10
Tabla 2 Condiciones Ambientales	22
Tabla 3 Riesgos y Gestión de los mismos para la implementación del Proyecto	25
Tabla 4 Elementos de Suministro	31
Tabla 5 Base de costos de recursos del proyecto	35
Tabla 6 Asignación de recursos Ingeniería Conceptual.....	36
Tabla 7 Asignación de recursos Ingeniería Básica	38
Tabla 8 Asignación de recursos Ingeniería de detalle	39
Tabla 9 Asignación de recursos Factibilidad Técnica	39
Tabla 10 Recursos y Costos variables del proyecto.....	40
Tabla 11 Cronograma de ejecución	41
Tabla 12 Cuadro de costos administrativos	42
Tabla 13 Cuadro de costos Generales	42
Tabla 14 Cuadro de costos Fijos	42
Tabla 15 Costos variables directos del proyecto.....	43
Tabla 16 Costos variables indirectos	43
Tabla 17 Costos Fijos.....	43
Tabla 18 Costos Totales del proyecto	44
Tabla 19 Valor del Proyecto	44
Tabla 20 Viabilidad económica	45

Figura 1. Desviación Entre los valores medidos por el módulo de calidad de vapor del equipo y los valores obtenidos en laboratorio	7
Figura 2. Lazo de control de Agua.....	10
Figura 3. Lazo de control de Calidad de Vapor	11
Figura 4. Lazo de control de Oxígeno libre en la combustión.....	12
Figura 5. Separador para medición de calidad de vapor	13
Figura 6. Diagrama de un calorímetro	16
Figura 7. Diagrama típico de un toma-muestras para medición de calidad de vapor por conductividad eléctrica.	19
Figura 8. Ubicación Propuesta para el elemento de medición de flujo del sistema de medición de calidad de vapor	21
Figura 9. Vista Frontal y de planta del Generador X-539.....	22
Figura 10. Diagrama de Bloques de la Solución.....	27
Figura 11. Árbol de tareas del proyecto.....	34
Figura 12 Organigrama del proyecto	35
Figura 13 Organigrama Administrativo.....	41

Introducción

La explotación de yacimientos que albergan crudo pesado se caracteriza por la obtención de aceites con alta densidad y alta viscosidad. La extracción de los mismos ha sido limitada por factores como la complejidad del proceso de extracción, la baja permeabilidad del yacimiento y los altos costos de recobro.

Los métodos alternativos permiten viabilizar económicamente este tipo de explotaciones y se convierten en una oportunidad de aumentar las reservas de hidrocarburos. Permite transferir calor de forma controlada a la formación para disminuir la viscosidad del crudo y estimular su movimiento hacia los pozos productores, logrando una mejora sustancial en el proceso extracción. Actualmente la inyección de vapor es uno de los métodos más usados en la recuperación de crudo pesado dada su funcionalidad, su facilidad de implementación y sus costos relativamente bajos.

La viabilidad técnica y económica del proceso de inyección de vapor se ve afectada tanto por los parámetros propios del yacimiento como por los parámetros operativos. Conocer las variaciones de los mismos y la forma en que cada uno de ellos impacta el desarrollo del proceso permite evaluar y obtener los mejores resultados. Los modelos empleados para la evaluación de los procesos de inyección de vapor permiten establecer los valores óptimos de los parámetros operativos y la sensibilidad ante la variación de cada uno de ellos.

La calidad del vapor es uno de los parámetros más importantes del proceso de recuperación debido a su relación directa con los costos de operación y la cuantificación de la eficiencia del método de estimulación en una formación particular. La optimización de los parámetros que buscan maximizar la tasa de recuperación de crudo puede verse restringida por aspectos claves como la exactitud y la precisión en la medición de la calidad de vapor inyectado.

La calidad del vapor permite establecer la cantidad de energía aplicada al yacimiento y la eficiencia de la inyección, por su relación directa con el costo del combustible empleado

para la generación de vapor. El problema principal de los métodos de medición de calidad de energía radica en que los datos obtenidos resultan ser aproximaciones al valor real, puesto que la exactitud cambia con las condiciones del proceso.

Este documento plantea la ingeniería básica y de detalle para la implementación de un sistema de control automático de calidad de vapor con características de exactitud y precisión que permitan disminuir los costos asociados al combustible empleado para la generación de vapor.

Posterior a esto, se desarrolla la planificación del proyecto en su fase de ingeniería y se realiza la evaluación técnico-económica del proyecto en su fase de ingeniería.

Objetivos

General

Desarrollar la ingeniería para la implementación de un sistema de control automático de la calidad del vapor en un generador de vapor Marca KERUI.

Específicos

- Proponer la idea de Negocio
- Desarrollar la ingeniería conceptual
- Desarrollar la ingeniería Básica
- Desarrollar la ingeniería de detalle
- Realizar la planificación del proyecto
- Realizar el análisis de costos del proyecto
- Realizar la evaluación de factibilidad técnico Económica del proyecto

Capítulo 1

La Idea de Negocio

Antecedentes

Los generadores de Vapor son calderas acuatubulares empleadas para la producción de vapor saturado en campos de producción de crudos pesados que requieren métodos de recuperación terciaria. En los campos de la asociación Nare ubicados en la zona del Magdalena medio colombiano, se emplea este tipo de generadores de vapor con el fin de aumentar el factor de recobro del yacimiento. Los generadores de vapor deben operar de forma continua con una rata de flujo de vapor constante y con una calidad o título de vapor alrededor del 80%.

Problema a Solucionar

Los generadores de vapor Marca Kerui cuentan con un sistema de medición de calidad de vapor empleado para realimentar un lazo de control automático que busca mantener la calidad de vapor en la salida del generador en un valor constante que puede oscilar entre 60% y 80%. Se ha encontrado que el sistema de medición de calidad de vapor no es muy confiable y que los datos proporcionados no corresponden con los valores obtenidos mediante pruebas de laboratorio. Esta condición no permite el control automático de calidad de vapor en el generador y obliga a una operación manual de una de las variables más importantes del equipo.

Descripción de la Solución

Se propone automatizar el control de calidad de vapor en los generadores Kerui empleando una tecnología comercial para la medición de calidad de vapor y aprovechando los recursos tecnológicos disponibles en el mismo equipo.

Justificación

La operación manual de los generadores de vapor acarrea varios problemas de tipo económico y operacional.

Por una parte, se requiere de asistencia permanente de un operador que actualmente debe responder por la operación de varios generadores ubicados en las diferentes locaciones del campo. De forma particular, en el campo Moriche un solo operador responde por 12 generadores de vapor ubicados en 7 locaciones. Bajo estas condiciones, no es posible garantizar que la inyección de vapor se realice manteniendo la calidad requerida. En ocasiones, la calidad de vapor real puede estar hasta 30% por debajo y hasta un 10% por encima del valor deseado. Ocasionando una disminución en la efectividad de la inyección en el primer caso y un exceso en el consumo de combustible en el segundo caso.

La implementación de un método de medición de calidad de vapor confiable permitiría automatizar el alzo de control de calidad de vapor del generador, garantizar la calidad de vapor en la descarga del equipo en valores constantes y optimizar el consumo de combustible.

Alcance

La solución abarca la implementación del sistema de medición de calidad de vapor en un generador marca Kerui con capacidad de 50MBTUH ubicado en el campo Moriche de la Asociación Nare.

La propuesta comprende los siguientes ítems:

- Ingeniería básica y de detalle. Incluye la especificación del sistema de medición de calidad de vapor para el generador de vapor indicado por el cliente y de acuerdo a los datos de proceso suministrados, los planos mecánicos y los planos eléctricos.
- Instalación de los instrumentos y conexión al sistema de control existente
- No incluye construcción de bancos de ductos ni instalación de canalizaciones para cables ni tuberías de proceso

- Configuración de instrumentos y programación del PLC existente para la implementación de la solución.
- Pruebas funcionales
- Sintonización de lazo de control de calidad de vapor

Capítulo 2

Ingeniería Conceptual

Fundamentación teórica

Los generadores de Vapor son calderas acuatubulares empleadas para la producción de vapor saturado en campos de producción de crudos pesados que requieren métodos de recuperación terciaria. Se ha encontrado que el sistema de medición de calidad de vapor instalado en los equipos no es confiable y que los datos proporcionados no corresponden con los valores obtenidos mediante pruebas de laboratorio.

En los campos de la asociación Nare ubicados en la zona del Magdalena medio colombiano, se emplea este tipo de generadores de vapor con el fin de aumentar el factor de recobro del yacimiento. Los generadores de vapor deben operar de forma continua con una rata de flujo de vapor constante y con una calidad o título de vapor entre 60 y 80%.

Los generadores de vapor Marca Kerui cuentan con un sistema de medición de calidad de vapor empleado para realimentar un lazo de control automático que busca mantener un valor de calidad de vapor a partir de la variación del flujo de gas que ingresa al quemador del generador.

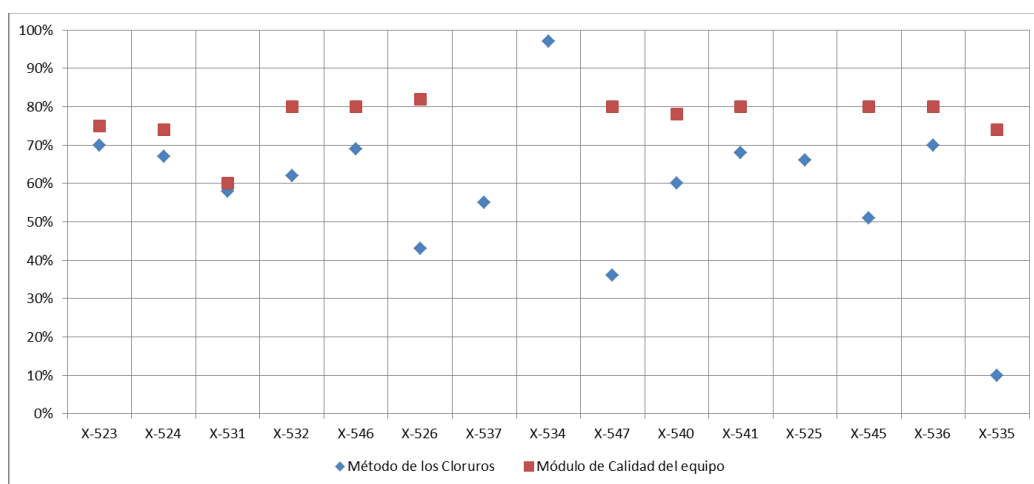


Figura 1. Desviación Entre los valores medidos por el módulo de calidad de vapor del equipo y los valores obtenidos en laboratorio

La Figura 1, muestra la diferencia entre los datos obtenidos por el módulo de calidad de vapor instalado en cada uno de los 15 generadores de vapor del campo y los valores de referencia obtenidos mediante el método de los cloruros en laboratorio.

La incertidumbre en la medición de calidad de vapor impide realizar el control automático y obliga a la operación manual de una de las variables más importantes del proceso.

La operación manual de los generadores de vapor acarrea varios problemas de tipo económico y operacional:

- Insuficiencia de operadores. Como se ve en la Figura 1, ninguno de los 15 generadores de vapor mantiene la calidad deseada en el vapor generado (80%). Esto, se debe básicamente a que existe solo un operador que debe cubrir los 15 generadores ubicados en 7 locaciones distribuidas por todo el campo.
- Consumo excesivo de gas. Cuando la calidad de vapor excede el valor deseado, se genera un consumo adicional de gas, lo cual, incrementa automáticamente los costos de operación. Esta condición es común después de un ajuste en el flujo de combustible durante una ronda del operador. Adicional, bajo esta condición es posible que las tuberías estén expuestas a temperaturas anormales que pueden ocasionar deterioro progresivo y acelerado del equipo.
- Baja calidad de vapor en la inyección. La inyección de vapor con poca calidad puede perjudicar y dañar la formación.
- Incertidumbre en la eficiencia del método de recuperación. Una forma de medir la efectividad del método de recuperación por inyección cíclica de vapor consiste en establecer la relación entre la cantidad de energía inyectada en forma de vapor y la producción incremental, la desviación en la medición de calidad de vapor genera incertidumbre a la hora de verificar la efectividad del método y puede llevar a conclusiones erradas.

La implementación de un método de medición de calidad de vapor confiable permitiría automatizar el alzo de control de calidad de vapor del generador, garantizar la calidad de

vapor en la descarga del equipo en valores constantes y optimizar el consumo de combustible.

Se requiere del diseño e implementación de un sistema que permita automatizar el control de calidad de vapor en los generadores Kerui empleando una tecnología comercial para la medición de calidad de vapor y aprovechando los recursos tecnológicos disponibles en el mismo equipo.

La solución abarca la implementación del sistema de medición de calidad de vapor en un generador marca Kerui con capacidad de 50MBTUH ubicado en el campo Moriche de la Asociación Nare.

La propuesta debe contemplar los siguientes ítems:

- Ingeniería básica y de detalle. Incluye la especificación del sistema de medición de calidad de vapor para el generador de vapor indicado por el cliente y de acuerdo a los datos de proceso suministrados, los planos mecánicos y los planos eléctricos.
- Listado de instrumentos
- Diagramas de instalación

Sistema de control Existente

Los Generadores de vapor existentes cuentan con un sistema de control basado en un PLC de la serie SLC500 de Allen Bradley.

El diseño del sistema de control del generador permite una operación automática y asegura la integridad del equipo mediante las protecciones asociadas a las variables de proceso.

Tabla 1 Resumen de protecciones de los generadores de Vapor Kerui

Limited item	Setting value	Limited item	Setting value
Blower pressure low	2" WC	Burner temperature high	90°C
Feed water flow low	14t/h	Lubrication liquid level low	—
Steam pressure high	10.5MPa	Feed water inlet pressure low	0.1MPa
Steam pressure low	2MPa	Fuel oil temperature low	50°C
Wall tube temperature high	420°C	Burner door open	—
Fuel oil pressure low	0.56MPa	Pump variable frequency failure	—
Steam temperature high	Real time	Combustion failure	—
Power failure	—	Smoking temperature high	260°C
Air pressure low	0.25MPa	Atomizing pressure low	0.25MPa
Natural gas pressure low	0.07MPa	Differential pressure warning	2.5MPa

En el sistema de control cuenta con los siguientes lazos:

Control de flujo de agua. Este lazo de control busca mantener un flujo constante a la entrada del generador de vapor. Cuenta con un instrumento de medición de flujo por presión diferencial (platina de orificio) y un transmisor multivariable que permite medir el flujo y la presión de agua que ingresa al equipo; un controlador PID ejerce control sobre la velocidad del motor de bomba de agua de alimentación de generador mediante un variador de velocidad.

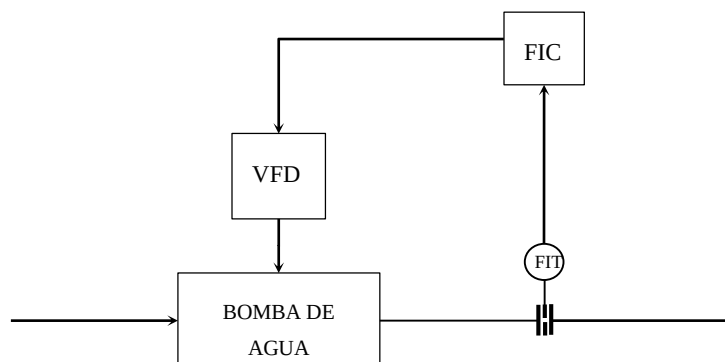


Figura 2. Lazo de control de Agua

Control de Calidad de vapor. Los generadores Marca Kerui cuentan con un módulo de calidad de vapor que se encarga de estimar el flujo y la calidad del vapor producido. Los datos arrojados re-alimentan un controlador PID que actúa sobre una válvula de control de flujo de tipo mariposa que modifica el flujo de gas que ingresa al quemador. El aumento en la cantidad de gas que entra al quemador se ve reflejado en un aumento de la calidad de vapor y de forma inversa, una disminución en la cantidad de gas que ingresa al quemador se refleja en una reducción de la calidad del vapor producido. Este lazo de control no se encuentra operativo debido a la gran incertidumbre y poca confiabilidad en la medición de calidad de vapor.

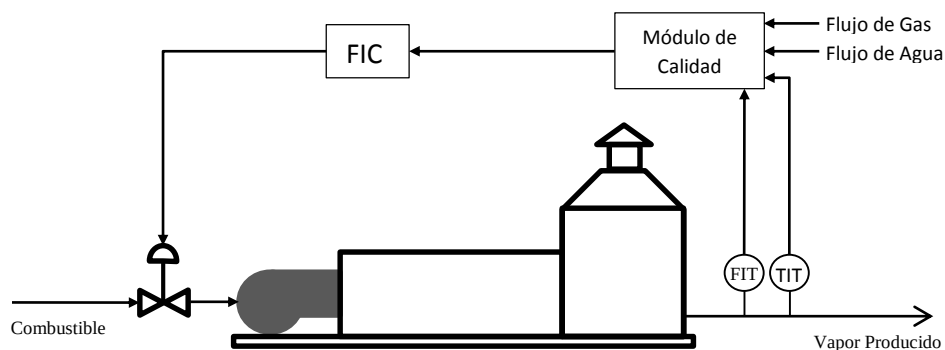


Figura 3. Lazo de control de Calidad de Vapor

Control de Oxígeno libre en la combustión. Cuando ocurre una variación en la cantidad de gas que ingresa al quemador, se debe asegurar que haya una buena relación aire – Gas para la combustión. Este lazo busca asegurar una buena combustión en el generador de vapor mediante la variación del flujo de aire en el quemador. La medición se realiza mediante un analizador de oxígeno ubicado en la chimenea del generador, el valor arrojado realimenta un controlador PID que actúa sobre la velocidad del motor del Blower del quemador mediante un variador de velocidad. El aumento en la velocidad del motor aumenta la cantidad de aire que ingresa al quemador y por consiguiente aumenta la relación de oxígeno libre en la combustión, de forma análoga, una disminución en la velocidad del motor reduce la cantidad de aire que ingresa al quemador y por consiguiente disminuye la relación de oxígeno libre en la combustión. Un déficit de

oxígeno libre en la combustión significa que puede haber una combustión incompleta, puede generar hollín, monóxido de carbono y una baja eficiencia en el uso del combustible. Por otra parte, un exceso de oxígeno puede llevar a experimentar altas temperatura y a la formación de óxidos nitrosos que son altamente corrosivos.

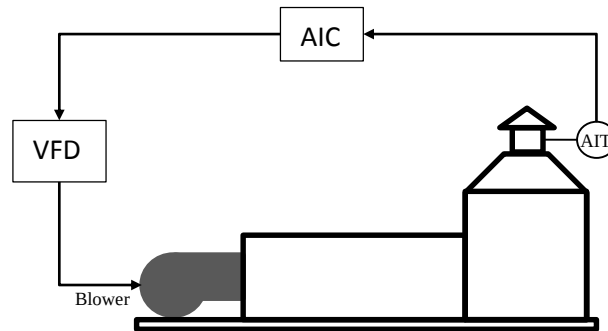


Figura 4. Lazo de control de Oxígeno libre en la combustión

Calidad de Vapor

La calidad del vapor es un término que se usa comúnmente para describir el contenido de vapor de una mezcla de agua de dos fases. Es una cantidad adimensional y se define como la relación de masa del vapor a la masa total de líquido y vapor. Por lo tanto, se dice que un generador de vapor yacimiento para producir 80% de vapor de calidad, si el vapor producido contiene 80% en peso y 20 de vapor % en peso de agua líquida.

$$x = \frac{m_{\text{Vapor}}}{m_{\text{Total}}}$$

Tecnología Existente

Existen varios métodos empleados para para medir la calidad de vapor, entre ellos tenemos los siguientes.

Método Separador

Este método, basado en la separación mecánica de las fases líquido y vapor, es una de las técnicas ampliamente utilizadas y produce valores comparables a los de otros métodos.

Puede considerarse como el más simple y se basa en la definición de calidad.

Generalmente se utiliza un tanque cilíndrico, horizontal o vertical, aislado con el fin de separar la fase vapor de la líquida, tal como un separador de petróleo y gas. Las medidas de las tasas de flujo por peso de las dos fases cuando estás dejan el separador, dan una indicación directa de la composición de la mezcla.

La calidad x puede ser calculada dividiendo la masa de vapor por la masa total de la mezcla

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{Total}}}$$

Dónde:

m Indica la masa y x calidad del vapor

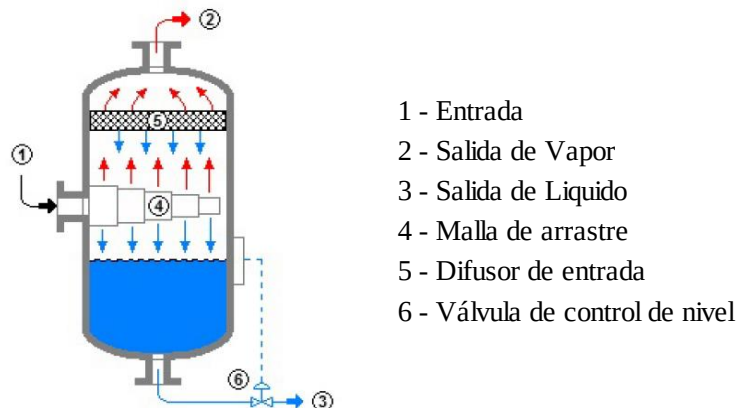


Figura 5. Separador para medición de calidad de vapor

Para obtener resultados fiables, la cámara separadora debe ser calentada para evitar cualquier condensación de vapor, si no, la dilución de la fase líquida se produciría dando una menor calidad aparente.

El aislamiento debe ser proporcionado generosamente a través de las cámaras de flujo acercándose a una condición adiabática (sin ganancia neta o pérdida de calor en la zona circundante) tanto como sea posible. Pruebas realizadas por Hodgkinson indicaron que un sistema separador podría proporcionar mediciones precisas de la calidad del vapor en el intervalo de 40 a 80%. [6]

Mahon ha evaluado las técnicas de muestreo del separador y recomienda que se tomen muestras a distancias de varios diámetros de tubería (50-100) aguas abajo de cualquier codo, tees, válvulas u otras restricciones de flujo. También es esencial que la caída de presión a través del separador se mantenga al mínimo para evitar la intermitencia de la fase de agua. Antes de tomar las muestras, el separador debe haberse dejado calentar y estabilizarse por un período de al menos 15 minutos.

Método de platina de orificio

Las platinas de orificio usadas para medir flujo de líquidos y gases, también se pueden usar para medir calidad de vapor.

Esta técnica no requiere de elementos adicionales como toma muestras o separadores de fase y es de fácil implementación.

La relación entre el flujo de vapor a través de la platina de orificio es tratada por varios autores. [12] [4]

La ecuación estándar para este tipo de elementos es la siguiente:

$$W_h = C \sqrt{\frac{\Delta P_w}{V}}$$

Dónde:

W_h Es el flujo másico del fluido

ΔP_w Es la caída de presión en la platina de orificio

V Es el volumen específico

C Es un factor de calibración

El factor de calibración C , es determinado de forma empírica y depende del tamaño, geometría del orificio y de las propias condiciones del fluido. Generalmente se considera constante para unas condiciones específicas del fluido y es válido mientras el número de Reynolds se mantenga alrededor de 10^5 .

El volumen específico debe ser ajustado de acuerdo a la proporción de líquido y vapor en la mezcla, esto es:

$$V = xV_g + (1 - x)V_f$$

Dónde:

x Es la calidad del vapor o fracción de masa en la fase vapor

V_g Es el volumen específico del vapor saturado

V_f Es el volumen específico del líquido saturado

Luego:

$$x = \frac{\Delta P_w C^2 / W_h^2 - V_f}{V_g - V_f}$$

Esta consideración es apropiada para valores de calidad altos, sin embargo, a medida que el vapor se vuelve más húmedo, el error en la medición aumenta. [10]

A pesar de que la calidad de vapor obtenida mediante este método resulta ser apenas una aproximación, es uno de los más usados ya que permite realizar mediciones en línea y los costos de implementación son relativamente bajos. [8]

Calorímetros de estrangulamiento

La calidad del vapor puede también medirse mediante calorímetros de estrangulamiento, que dependen de la expansión a entalpía constante para la medición del contenido de humedad.

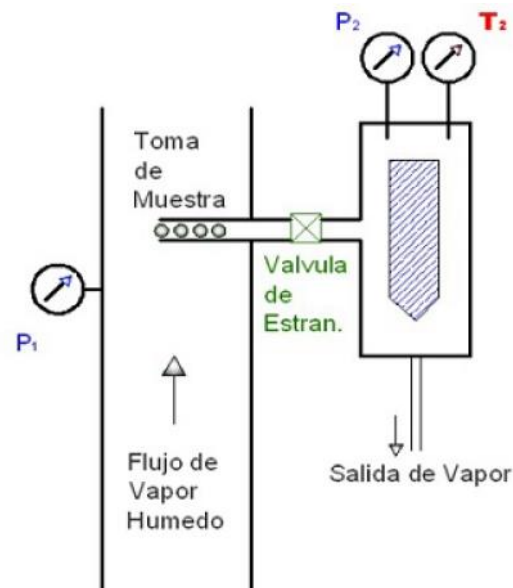


Figura 6. Diagrama de un calorímetro

Cuando el vapor entra por el toma muestras, este se estrangula al pasar por la válvula de estrangulamiento e ingresa a la cámara de expansión para finalmente salir a la atmósfera.

Cuando el vapor pasa por la válvula, la entalpía disminuye y la energía cinética aumenta, pero luego al entrar en la cámara de expansión la energía cinética es disipada y la entalpía inicial es obtenida nuevamente sin realizar trabajo, por lo tanto la entalpía es la misma antes y después del estrangulamiento.

El calorímetro funciona adiabáticamente, para que los valores de calidad sean confiables, por tanto el calorímetro y los ductos de muestra de vapor deben estar completamente aislados térmicamente. Este tipo de calorímetros se utiliza para contenidos de humedad bajos, aproximadamente entre $x = 0,95$ y $x = 1,0$ [9].

El proceso de estrangulamiento es un proceso en el cual el fluido se expande isoentalpícamente sin producirse trabajo a entalpía constante (Expansión de Joule Thompson) $h_1 = h_2$, esto mediante válvulas que estrangulan el vapor aumentando su velocidad.

La entalpía total del vapor saturado húmedo antes de la expansión $h_1 = (h_f + X * h_{fg})$ es igual a la entalpía total h_2 del vapor recalentado después de la expansión.

$$h_1 = (h_f + X * h_{fg}) = h_2$$

Se tiene entonces que:

$$x = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}}$$

Dónde:

x : es la calidad de vapor

h_2 : Entalpía total del vapor recalentado a la presión absoluta del calorímetro, en Kcal por Kg.

h_f : Entalpía del líquido a la presión inicial, en Kcal por Kg.

h_{fg} : Entalpía de vaporación del vapor saturado seco a la presión absoluta inicial en Kcal por Kg.

Los valores h_f y h_{fg} son obtenidos de las tablas respectivas de vapor o diagramas de Mollier en función de la presión absoluta de la caldera, mientras que el valor de la entalpía h_2 se obtiene con los datos de presión absoluta y temperatura en la cámara de expansión luego del estrangulamiento.

También h_2 se puede calcular mediante el empleo del calor específico del vapor a presión constante:

Teniendo en cuenta que para calentar el vapor desde el punto de saturación, se requiere un calor q_{sh} , el calor requerido a presión constante (para un gas ideal) resulta de la siguiente ecuación:

$$q_{sh} = C_p * \Delta T$$

En dónde:

q_{sh} : El calor sensible del vapor recalentado.

C_p : Calor específico del vapor recalentado $C_p = 0,48 \text{Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

ΔT : Es el gradiente de temperatura entre el punto de saturación y la temperatura de recalentamiento del vapor.

Entonces:

$$q_{sh} = h_2 - h_{g2} = C_p * \Delta T$$

$$h_2 = h_{g2} + 0,48 * \Delta T$$

Este tipo de fluidos pueden ser medidos con el uso de dos o más medidas matemáticamente correlacionadas, Si se conocen la temperatura y la presión de vapor, la entalpía se puede obtener a partir de las tablas de vapor. La densidad de vapor es también una función de su temperatura y presión. Por lo tanto, midiendo la temperatura y la presión, la densidad del vapor se puede calcular, y si se conoce el flujo volumétrico de vapor, su flujo de masa (flujo de calor) puede ser también calculado. [3]

Estos sistemas presentan problemas de implementación en sistemas de monitoreo en tiempo real.

Método de conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de una solución de agua con sales disueltas depende de la concentración de sales. A partir del incremento en la conductividad de la fracción líquida a la descarga de un generador, comparada con la conductividad del agua de alimentación, la cantidad de agua vaporizada puede ser determinada. En general, el método de la conductividad eléctrica es una técnica simple y rápida que no resulta ser muy fiable.

La calidad de vapor determinada por este método tiene varias fuentes potenciales de error:

Primero, se considera que el aumento en los sólidos disueltos, se debe exclusivamente al efecto de la evaporación de la fase líquida a medida que el agua pasa por el generador de vapor. Sin embargo, este no es el caso ya que el líquido efluente contiene carbonatos e iones de hidróxidos. Los iones de hidróxido en el líquido proveen una conductividad por fuera del rango esperado, cuando estos valores son usados para calcular la calidad de vapor esta también será muy alta. Para corregir esta situación, tanto el agua de entrada

como el efluente líquido en el toma-muestras deben ser neutralizados con un PH de 7. Por otra parte dado que la conductividad varía en función de la temperatura, es necesario tomar la muestra de la entrada y del efluente a la misma temperatura.

La calidad de vapor por el método de la conductividad está dado por:

$$x = 1 - \frac{\sigma_{In}}{\sigma_{Out}}$$

Dónde:

x Es la calidad de vapor.

σ_{Out} Es la conductividad de la fase líquida en la salida del generador de vapor.

σ_{In} Es la conductividad del agua a la entrada del generador de vapor.

Para la implementación de este método se requiere de un separador o toma-muestras en la línea de vapor principal, este dispositivo se encarga de recoger una muestra de la fase líquida contenida en la muestra.

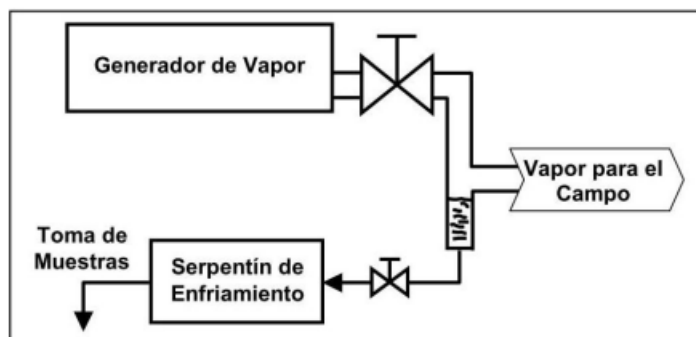


Figura 7. Diagrama típico de un toma-muestras para medición de calidad de vapor por conductividad eléctrica.

Especificaciones de funcionamiento

La solución propuesta debe permitir el funcionamiento del lazo de control de calidad de vapor del generador en modo automático empleando una tecnología de medición de flujo de vapor por presión diferencial, el valor de calidad de vapor entregado por el sistema de

medición debe llegar al sistema de control existente para re-alimentar el lazo de control de calidad de vapor del generador variando el flujo de combustible. El sistema debe contar con las siguientes características:

- Medición de calidad de vapor en tiempo real empleando métodos de medición de flujo de vapor por presión diferencial
- Rango de medición de calidad de vapor: 40% – 90%
- Incertidumbre en la medición menor al 5% en el rango de operación
- Salida de corriente pasiva para calidad de vapor de 4-20mA
- Medición de temperatura de vapor (32-600°F)
- Medición de presión de vapor (0-1800 psi)
- Medición de flujo de vapor (0 – 50000 lbs/h)

El sistema de medición se incorpora al sistema de control del generador a través de una entrada analógica de 4 a 20mA del PLC existente.

Una vez incorporado el sistema de medición al sistema de control existente, se debe realizar la configuración y se deben realizar los ajustes necesarios en el programa del PLC para garantizar la re-alimentación del lazo de control de calidad de vapor.

Una vez implementada la solución, el lazo de control de calidad de vapor del generador debe operar en modo automático y el error de estado estable de la variable controlada no debe superar el 5% con el fin de garantizar las condiciones requeridas para la inyección de vapor.

El sistema de medición de calidad de vapor debe contar con un panel o pantalla de visualización local y debe estar en capacidad de mostrar las siguientes variables:

- Calidad de vapor [%]
- Flujo de vapor [MBTUH]
- Presión de vapor [psig]
- Temperatura de vapor [°F]

Especificaciones de montaje físico.

El sistema de medición de calidad de vapor se debe instalar en la salida del generador X-539 ubicado en campo Moriche, las características son las siguientes:

- Línea de salida de vapor 3" sch 160 ubicada a 2,5m de altura
- Distancia al tablero de control: 30m
- Tensión de alimentación disponible en tablero de control (24VDC)
- Montaje para intemperie

El montaje no incluye la construcción de ductos para el cableado del sistema de medición, sin embargo, la propuesta debe especificar los requerimientos para la conexión del sistema de medición con el PLC existente en el tablero de control.



Figura 8. Ubicación Propuesta para el elemento de medición de flujo del sistema de medición de calidad de vapor

La Figura 8 muestra la línea de salida de vapor del generador y la posición sugerida para el montaje del elemento sensor.

La propuesta debe especificar el tipo de montaje del sistema de medición de calidad de vapor y los requerimientos en cuanto a soportes e instalación.

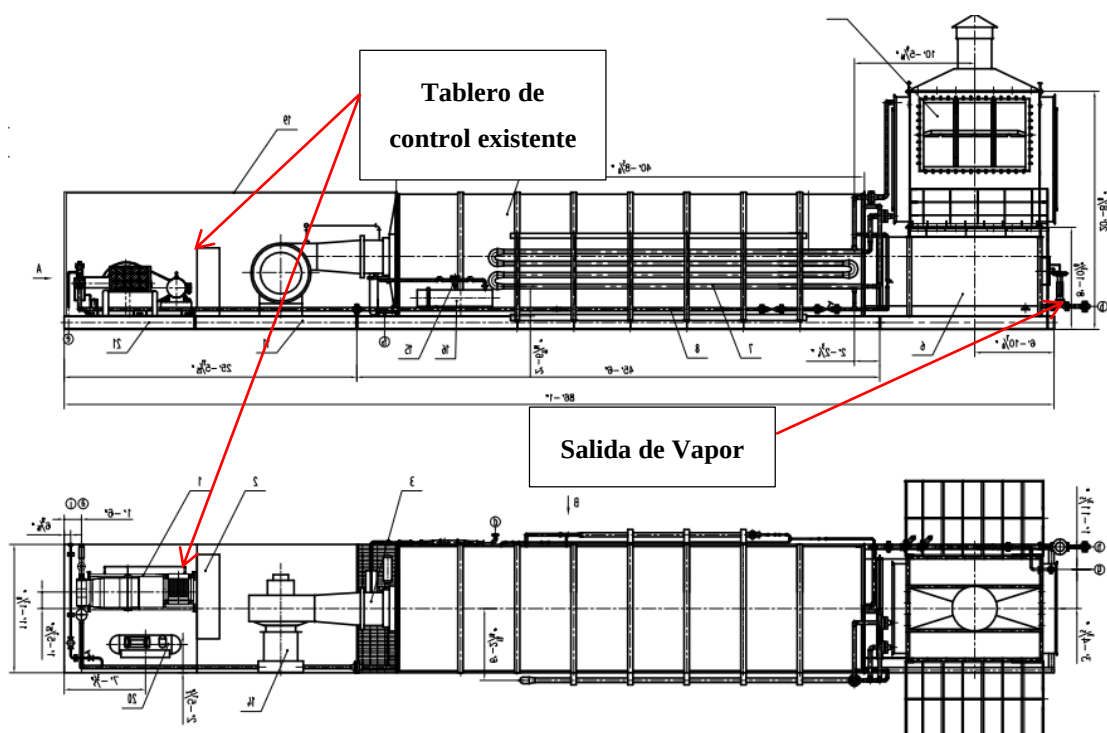


Figura 9. Vista Frontal y de planta del Generador X-539

Especificaciones de ambiente de operación

El Generador de Vapor X-539 se encuentra ubicado en campo moriche, zona rural del municipio de Puerto Boyacá. Las condiciones ambientales son las siguientes:

Tabla 2 Condiciones Ambientales

Ubicación Geográfica	5°58'34"N 74°35'15"O
Municipio	Puerto Boyacá
Temperatura promedio	35°C
Altitud	135 msnm
Humedad relativa	53%

El generador de vapor se encuentra a la intemperie y cuenta con una caseta que alberga el tablero de control y los tableros eléctricos.

Especificaciones de gestión

El sistema de medición de calidad de vapor debe contar como mínimo con una salida de 4-20mA para la variable de calidad de vapor.

La configuración del sistema debe realizarse mediante un comunicador de campo HART o a través de un PC convencional. La propuesta debe incluir el software y la licencia respectiva para la configuración y gestión del sistema.

Se debe incluir la capacitación del personal técnico de mantenimiento con el fin de cubrir los siguientes tópicos:

- Principio de operación del sistema
- Configuración básica del sistema
- Pruebas de diagnóstico
- Fallas frecuentes y solución de averías

Normativa técnica a cumplir

ASME Section II Material Specifications

ASME Section I Rules for construction of power boilers

ASME Section V Non Destructive Testing

ASME Section VII Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers

API-521 Pressure Relieving & Depressuring Systems

API RP 550 Part I – Process Instrumentation Control

ASME Section IX Welding and Brazing Qualifications

API RP 551 Process measurement instrumentation

API RP 552 Transmission Systems

ISA 5.1 Instrument Symbols and Identification

ISA 5.3 Graphic Symbols for distributed control/shared display instrumentation, logic and computer system

ISA 75.01.01 Flow equations for sizing control valves

ISA 75.05.01 Control valve terminology

MPMS Manual of petroleum measurement standards

Requerimientos Legales

1. Cumplir con los requisitos de Ley según Art. 617 y subsiguientes del Estatuto Tributario.
2. El cumplimiento de todas las obligaciones de afiliación y aportes al Sistema General de Seguridad Social Integral y demás pagos parafiscales (ICBF, SENA, Cajas de Compensación Familiar, etc.) que la ley le imponen.
3. Cumplimiento a lo establecido en la Ley 100 de 1993.
4. las disposiciones legales contenidas en la Ley 9a. de 1979, el Decreto 614 de 1984, Resolución 1016 de marzo 31 de 1989 y la Ley 789 de 2002, sobre salud ocupacional y seguridad industrial.

Requerimientos Contractuales

La ejecución de los trabajos se regirá bajo las condiciones establecidas por en los siguientes documentos.

1. Propuesta Económica
2. Condiciones de Contratación
 1. Inicio de los Trabajos
 2. Lugar de los Trabajos
 3. Facturación y Forma de Pago
 4. Validez de la Oferta
 5. Plazo de Ejecución
 6. Variaciones en el Alcance de Trabajo y/o Programa de Trabajo
 7. Leyes y Regulaciones
 8. Pólizas
 9. Impuestos

10. Responsabilidad Profesional en la Presentación del Servicio y Garantías

11. Propiedad Intelectual

Identificación y Gestión de los riesgos

Tabla 3 Riesgos y Gestión de los mismos para la implementación del Proyecto

<i>RIESGO</i>	<i>Gestión de los riesgos</i>
Exposición a picaduras, mordeduras, contagios.	Inspección detallada del lugar de trabajo, usar repelentes para insectos.
Exposición y/o contacto a niveles altos de ruido, deficiente iluminación, altas temperaturas, radiaciones.	Identificar áreas con altos niveles de ruido y guardar distancias de seguridad. Compuertas de equipos cerradas. Equipos generadores de ruido alejados del frente de trabajo. Para acceso a áreas con altos niveles de ruido usar protección auditiva, entre 85 y 104 dB inserción o copa, entre 104 y 140 dB usar doble protección.
	Disponer de zonas de hidratación, realizar pausas en el trabajo en lugares frescos. Aplicar protector solar. Usar capuchón de protección.
	Verificar niveles de iluminación adecuados para la ejecución del trabajo.
	Identificar áreas y equipos con altas temperaturas y vibraciones para guardar distancia de seguridad.
Contacto y/o exposición con productos químicos en diferentes estados y presentaciones almacenados o utilizados en las áreas del trabajo.	Verificar señalización del área con avisos de prevención.
	Disponer equipos operativos de protección respiratoria y de medición de atmosferas calibrados con alarmas en 1 y 5 PPM para H ₂ S, 10% para LEL, 19.5% y 23% para O ₂ y 25 PPM para CO.
	Disponibilidad de las hojas de seguridad de los productos químicos que se manipulan y almacenan en el área.
	La atmosfera del área donde se ejecuta el trabajo debe ser monitoreada permanentemente con equipos calibrados y registrar sus lecturas.
Exposición a lesiones osteomusculares, enfermedades laborales, desconformidad laboral.	Calistenia antes de indicar labores. Límites para levantamiento manual de cargas 25 kg hombres y 12.5 kg las mujeres, levantar carga manualmente con esfuerzo en piernas y espalda recta. Adoptar buenas posturas durante el desarrollo de la labor. Evitar sobreesfuerzos.
Exposición y/o contacto al arco eléctrico, contacto directo e indirecto, corto	Adelantar cada una de las actividades eléctricas de Mantenimiento y/o Construcción, bajo estándares y procedimientos técnicos revisados y aprobados por la disciplina operativa del campo.

circuito, tensión de paso, equipo eléctrico defectuoso.	Disponer en el área de personal competente y calificado en atención básica de primeros auxilios para atención de accidentados eléctricos.
Exposición a resbalones, caídas a mismo y diferente nivel, golpes.	Realizar inspección visual de superficies de trabajo antes de iniciar actividades. Señalizar y demarcar áreas de trabajo y peligros identificados.
	Identificar y demarcar rutas seguras y pasos peatonales iluminados para transitar durante la ejecución de la actividad y ante eventuales evacuaciones de emergencia. No transitar por bordes de andenes, piscinas, diques de tanques, bordes de cajas. No transitar por y sobre tuberías.
	Mantener áreas de trabajo en buenas condiciones de orden y aseo, no corra, no transite por encima de tuberías.
Pérdida de contención y/o control, falla estructural, fugas, derrames.	Verificar operación normalizada de todos los sistemas y vasijas que se encuentren operando en el área de ejecución de los trabajos.
	Inspeccionar que los sistemas de contención de fluidos se encuentren operativos.
	Identificar productos contenidos en los tanques y vasijas existentes en el área de trabajo.
Exposición a incidentes de tránsito.	Cumplir con las directrices dispuestas en el campo para uso y operación de vehículos automotores.
	Control de límites de velocidad permisibles en el campo, 60 km/h en vías principales del campo para vehículos livianos 40 Km/h en vías principales vehículos pesados, 30 Km/h zona industrial y residencial, 10 km/h en locaciones. Respetar las normas y señales de tránsito.
	Verificar la conformidad de las condiciones técnico mecánicas de los vehículos utilizados para la actividad.
Saboteos, ilícitos, afectación de la normalidad laboral.	Aplicación de medidas por eventuales situación de alteración del orden público que afecten el área de ejecución de los trabajos.
	Notificar al supervisor del área cualquier situación que pueda generar problemas de orden público en el área.
Afectación de las relaciones interpersonales, del clima laboral, estrés laboral, asertividad de la comunicación.	Establecimiento de jornadas de trabajo considerando rotación y descansos que minimicen la manifestación de aspectos psicosociales negativos en los grupos de trabajo.
	Realizar pausas activas para romper con la rutina del trabajo a nivel físico y mental.

Capítulo 3

Ingeniería Básica

Diagrama en bloques de la solución

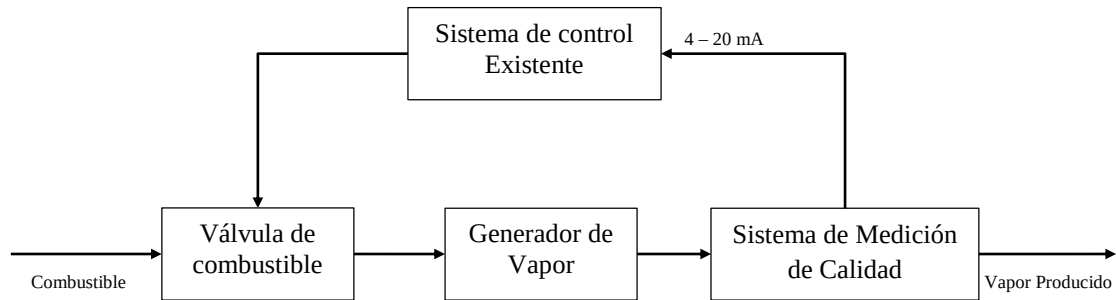


Figura 10. Diagrama de Bloques de la Solución

La Figura 10 muestra el diagrama de bloques de la solución planteada. Los sensores del sistema de medición de calidad de vapor se instalan en la línea de salida de vapor del generador. La señal de calidad de vapor es enviada por el sistema de medición al sistema de control existente a través de una señal de corriente de $4 - 20 \text{ mA}$. El sistema de control existente calcula la compensación que debe realizar y ajusta la apertura de la válvula de control de flujo de gas para aumentar o disminuir la cantidad de combustible.

Descripción de la solución

La solución planteada garantiza la obtención de vapor a la salida del generador con la calidad requerida, constituye una estrategia de control en lazo cerrado que determina la cantidad de combustible de entrada, necesaria para que el agua del intercambiador alcance el estado termodinámico deseado.

El operador deberá ingresar el valor calidad requerido para la inyección (set point), este valor es comparado con la señal del sistema de medición de calidad y determina la acción de control correspondiente: un valor de calidad de vapor por debajo del set point, establece que es necesario incrementar la cantidad de combustible y de forma análoga, un

valor de calidad por encima del set point establece la necesidad de reducir la cantidad de combustible que ingresa al quemador.

El sistema de medición de calidad de vapor propuesto se basa en un computador de flujo EMERSON FLOBOSS 103 y emplea una platina de orificio como elemento primario, adicional, cuenta con la medición de presión de vapor y emplea una RTD para la medición de temperatura.

Las Características del sistema son las siguientes:

- Rango de medición de calidad de vapor: 0% – 100%
- Incertidumbre en la medición de calidad de vapor 2%
- 3 Salidas de corriente 4-20mA
- Medición de temperatura de vapor (32-1000°F)
- Medición de presión de vapor (0-3600 psi)
- Medición de flujo de vapor (0 – 100000 lbs/h)
- Tensión de alimentación: 24 VDC

El sistema de medición propuesto se integra al sistema de control existente a través de una de sus salidas de 4 – 20 mA y re-alimenta el lazo de control de calidad existente.

El sistema de medición de calidad de vapor cuenta con un panel de visualización local, en el que se pueden ver las variables complementarias:

- Calidad de vapor [%]
- Flujo de vapor [MBTUH]
- Presión de vapor [psig]
- Temperatura de vapor [°F]

La configuración del sistema de medición de calidad de vapor se realiza usando un computador convencional a través de una herramienta de gestión llamada ROCLINK 800 y su licencia se encuentra incluida con la compra del sistema.

Capítulo 4

Ingeniería de detalle

Componentes del Sistema

El sistema de medición propuesto requiere de los siguientes componentes:

Computador de Flujo

El computador de flujo propuesto es un EMERSON FLOBOSS 103 y es el que se encarga de realizar los cálculos de calidad y flujo de vapor mediante la medición del flujo volumétrico de vapor por presión diferencial gracias a que cuenta con un sensor de presión diferencial incorporado. Adicional, realiza la medición de temperatura y presión de vapor para realizar los ajustes y compensación por presión y temperatura. El computador de flujo incluye un manifold de 5 vías para la conexión al proceso.

Platina de Orificio

La platina de orificio es el elemento primario empleado por el computador de flujo para la medición del flujo volumétrico. La platina empleada por el sistema propuesto es una platina acondicionadora de flujo ROSEMOUNT 1595 con diámetro de 1”.

Para la instalación de las bridas porta platina, se deben respetar dos diámetros de tubería aguas arriba y 3 diámetros de tubería aguas abajo.

RTD

La RTD es el elemento primario para la medición de temperatura de vapor. El sistema propuesto emplea una RTD ROSEMOUNT 0078N21N00N040E5 e incluye termopozo de conexión roscada NPT de 3/4”.

La RTD se conecta directamente a la bornera de conexiones del computador de flujo y no requiere elementos adicionales.

Software de Gestión Rocklink 800

El software de gestión Rocklink 800 permite realizar la configuración del computador de flujo, el diagnóstico y la recuperación de los datos almacenados por el sistema. El software debe ser instalado en un computador convencional y requiere de una conexión serial. El computador de flujo cuenta con un conector de tipo DB9 que permite la conexión. La licencia del software se encuentra incluida con la compra del computador de flujo FLOBOSS 103.

Diagramas y planos de la solución

Diagrama de montaje

El Anexo A.1 muestras el diagrama de instalación del sistema de medición de calidad de vapor con sus componentes en el punto propuesto por la ingeniería conceptual (ver Figura 8).

Diagrama de conexión al sistema existente

El anexo A.2 muestra el diagrama de instalación de las canalizaciones requeridas para la conexión del sistema de medición de calidad de vapor al sistema de control existente.

Diagrama de Lazo

El anexo A.3 muestra el detalle de la conexión del sistema de medición de calidad de vapor al PLC existente.

Listado de elementos

La Tabla 4 muestra el listado de los elementos que componen la solución planteada para la automatización del sistema de control de calidad de vapor en los generadores de vapor Kerui.

Tabla 4 Elementos de Suministro

<i>ÍTEM</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD</i>
1	Computador de flujo FLOBOSS 103 incluye manifold de 5 vías	1
2	RTD ROSEMOUNT 0078N21N00N040E5 incluye termo pozo	1
3	Platina de orificio ROSEMOUNT 1595	1
4	Software de gestión Rocklink 800	1

Capítulo 5

Factibilidad Técnica

El alcance del proyecto planteado en la idea de negocio se puede dividir en dos fases:

La primera que consiste en la generación de la ingeniería básica y de detalle a partir de la ingeniería conceptual y una segunda fase que abarca el suministro del sistema de medición de calidad de vapor para la automatización del sistema y la implementación propiamente de la solución.

La propuesta desarrollada comprende la primera fase del proyecto y propone una solución que responde a los requerimientos planteados en la ingeniería conceptual, el sistema de medición de calidad de vapor propuesto se basa en una tecnología actual, probada, que se usa en aplicaciones similares y que puede ser integrada al sistema de control existente sin modificaciones considerables.

El sistema de control existente aunque se encuentra en una fase de obsolescencia tecnológica cumple con las expectativas del cliente y permite realizar las modificaciones requeridas para la implementación de la solución.

El soporte y la cobertura ofrecidos por el fabricante resultan ser adecuados y asequibles para el cliente.

La solución planteada es viable técnicamente.

Capítulo 6

Análisis de costos

En este capítulo se realiza el análisis de costos de la fase de ingeniería del proyecto, para lo cual se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El proyecto es desarrollado por una empresa de ingeniería que cuenta con el personal necesario para dicho proyecto
- El proyecto evaluado no es el único proyecto de ingeniería que la compañía desarrolla actualmente
- El alcance del proyecto abarca únicamente la fase de ingeniería, esto es:
 - Ingeniería conceptual
 - Ingeniería básica
 - Ingeniería de detalle
 - Factibilidad técnica del proyecto

El análisis de costos parte de la planificación de las actividades asociadas al proyecto, las cuales se organizaron en forma de árbol de tareas para definir recursos y responsables de acuerdo a los requerimientos de cada una de ellas.

Los costos indirectos se obtuvieron a partir del organigrama de administrativo y de la tabla de gastos generales de la compañía.

La asignación de costos indirectos al proyecto se realizó teniendo en cuenta el número de proyectos activos desarrollados actualmente por la compañía y la duración del proyecto evaluado.

Costos Variables Directos

Para la estimación de los costos directos, se realizó la planificación de las actividades del proyecto. Las tareas se organizaron en un árbol de tareas de 3 niveles, a cada tarea de nivel 3 se le asignaron los recursos necesarios y se calculó el costo de cada una de ellas. Posterior a esto se totalizaron los costos para obtener los costos de las tareas de nivel 3 y

por último se totalizaron los costos de las tareas de nivel 2 para obtener el costo variable directo del proyecto.

Árbol de tareas

La figura 11 muestra el árbol de tareas del proyecto, en ella se pueden ver las tareas en sus diferentes niveles.

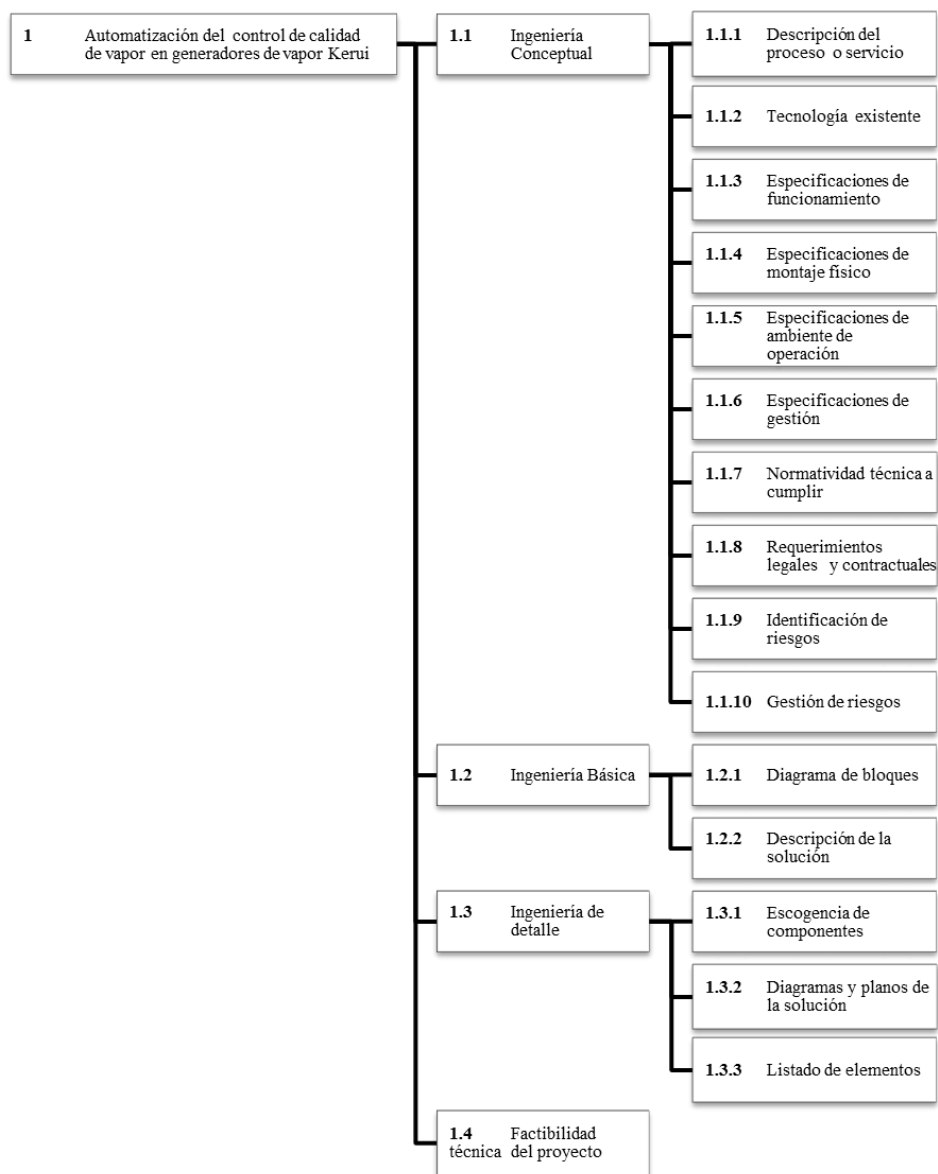


Figura 11. Árbol de tareas del proyecto

Organigrama del proyecto

La Figura 12 muestra el organigrama del proyecto, la Tabla 5 Base de costos de recursos del proyecto muestra la base costos de recursos aplicados al proyecto.

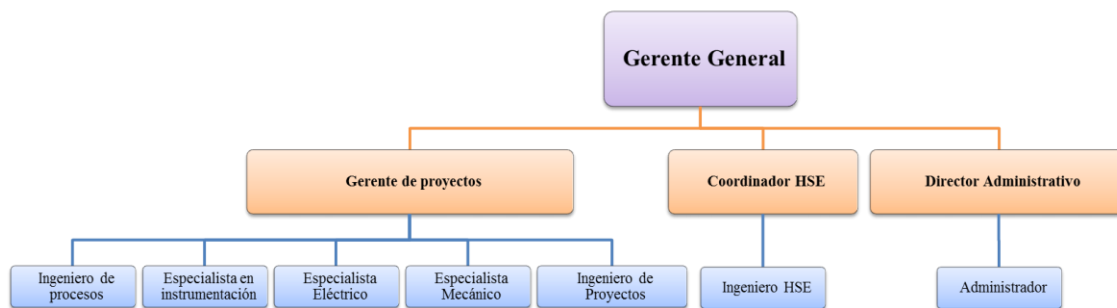


Figura 12. Organigrama del proyecto

Tabla 5 Base de costos de recursos del proyecto

Recurso	Salario Base	Costo día
Gerente General	\$ 10.000.000	\$ 333.333
Gerente de Proyectos	\$ 7.000.000	\$ 233.333
Coordinador HSE	\$ 4.000.000	\$ 133.333
Director Administrativo	\$ 3.500.000	\$ 116.667
Ingeniero de Procesos	\$ 4.500.000	\$ 150.000
Especialista en Instrumentacion	\$ 4.500.000	\$ 150.000
Especialista Electrico	\$ 4.500.000	\$ 150.000
Especialista Mecanico	\$ 4.500.000	\$ 150.000
Ingeniero de Proyectos	\$ 3.800.000	\$ 126.667
Ingeniero HSE	\$ 2.500.000	\$ 83.333
Jefe de RH	\$ 2.500.000	\$ 83.333
Adminstrador	\$ 3.000.000	\$ 100.000

Equipo	Valor inicial	Costo día
Computador personal	\$ 4.000.000	\$ 5.479

Nota: El computador personal se amortiza a dos años

Asignación de recursos y cálculo de costos Variables directos

La asignación de recursos se realizó para cada una de las tareas de nivel 3, posterior a esto, los recursos y costos se totalizaron para obtener el cuadro de costos y recursos de las tareas de nivel 2, al totalizar las tareas de nivel 2 tenemos los costos variables directos del proyecto.

La Tabla 6 muestra los recursos y costos de las tareas que corresponden a la ingeniería conceptual.

Tabla 6 Asignación de recursos Ingeniería Conceptual

Tarea Nivel 3:					
1.1.1 Descripción del proceso o servicio					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	1	\$ 233.333	\$ 233.333
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Ingeniero de Procesos	1	1	\$ 150.000	\$ 150.000
					\$ -
Personal Operativo					\$ -
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal (dia/PC)	1	2,5	\$ 2.192	\$ 5.479
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
					\$ -
					\$ -
			Duración Total	1	Costo Total \$ 472.146

Tarea Nivel 3:					
1.1.2 Tecnología existente					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Especialista en Instrumentación	1	1,5	\$ 150.000	\$ 225.000
					\$ -
Personal Operativo					\$ -
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal (dia/PC)	1	2,5	\$ 2.192	\$ 5.479
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
					\$ -
					\$ -
			Duración Total	2	Costo Total \$ 430.479

Tarea Nivel 3:					
1.1.6 Especificaciones de gestión					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Especialista en Instrumentación	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
					\$ -
Personal Operativo					\$ -
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal (dia/PC)	1	1,5	\$ 2.192	\$ 3.288
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
					\$ -
					\$ -
			Duración Total	0,5	Costo Total \$ 278.288

Tarea Nivel 3:					
1.1.7 Normatividad técnica a cumplir					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	1	\$ 126.667	\$ 126.667
	Especialista en Instrumentación	1	0,25	\$ 150.000	\$ 37.500
	Especialista Mecánico	1	0,25	\$ 150.000	\$ 37.500
Personal Operativo	Especialista Eléctrico	1	0,25	\$ 150.000	\$ 37.500
	Ingeniero de procesos	1	0,25	\$ 150.000	\$ 37.500
					\$ -
					\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal (dia/PC)	1	2,5	\$ 2.192	\$ 5.479
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
					\$ -
					\$ -
			Duración Total	1	Costo Total \$ 418.813

Tarea Nivel 3: 1.1.3 Especificaciones de funcionamiento					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	1	\$ 126.667	\$ 126.667
	Ingeniero de Procesos	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
	Especialista en Instrumentación	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
Personal Operativo				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	2,5	\$ 2.192	\$ 5.479
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	1	Costo Total	\$ 418.813

Tarea Nivel 3: 1.1.4 Especificaciones de montaje físico					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Especialista Mecánico	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
	Especialista en Instrumentación	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
Personal Operativo				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	2	\$ 2.192	\$ 4.384
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 354.384

Tarea Nivel 3: 1.1.5 Especificaciones de ambiente de operación					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Ingeniero de procesos	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
				\$ -	\$ -
Personal Operativo				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	1,5	\$ 2.192	\$ 3.288
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 278.288

Tarea Nivel 3: 1.1.8 Requerimientos legales y contractuales					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Director Administrativo	1	0,5	\$ 116.667	\$ 58.333
	Administrador	1	0,5	\$ 100.000	\$ 50.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Personal Operativo				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	1	\$ 2.192	\$ 2.192
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 130.525

Tarea Nivel 3: 1.1.9 Identificación de riesgos					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Coordinador HSE	1	0,5	\$ 133.333	\$ 66.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Ingeniero HSE	1	0,5	\$ 83.333	\$ 41.667
				\$ -	\$ -
Personal Operativo				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	1,5	\$ 2.192	\$ 3.288
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 194.954

Tarea Nivel 3: 1.1.10 Gestión de riesgos					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Coordinador HSE	1	0,5	\$ 133.333	\$ 66.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
	Ingeniero HSE	1	0,5	\$ 83.333	\$ 41.667
				\$ -	\$ -
Personal Operativo				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	1,5	\$ 2.192	\$ 3.288
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 20.000	\$ 20.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 194.954

Tarea Nivel 2: 1.1 Ingeniería Conceptual					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	5,5	\$ 233.333	\$ 1.283.333
	Ingeniero de proyectos	1	5,5	\$ 126.667	\$ 696.667
	Especialista en Instrumentación	1	3,25	\$ 150.000	\$ 487.500
	Especialista Mecánico	1	0,75	\$ 150.000	\$ 112.500
	Especialista Eléctrico	1	0,25	\$ 150.000	\$ 37.500
	Ingeniero de procesos	1	2,25	\$ 150.000	\$ 337.500
	Administrador	1	0,5	\$ 100.000	\$ 50.000
	Ingeniero HSE	1	1	\$ 83.333	\$ 83.333
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	19	\$ 5.479	\$ 104.110
Maquinaria				\$ -	\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	10	10	\$ 20.000	\$ 200.000
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
				\$ -	\$ -
		Duración Total	8	Costo Total	\$ 3.392.443

La Tabla 7 Asignación de recursos Ingeniería Básica muestra la asignación de costos y recursos de las tareas que componen la ingeniería básica

Tabla 7 Asignación de recursos Ingeniería Básica

Tarea Nivel 3: 1.2.1 Diagrama de bloques					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
Personal Operativo	Ingeniero de Procesos	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
	Especialista en instrumentación	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
					\$ -
Bienes de Capital					\$ -
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	2	\$ 5.479	\$ 10.959
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Diagrama	1	1	\$ 50.000	\$ 50.000
					\$ -
					\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 390.959

Tarea Nivel 3: 1.2.2 Descripción de la solución					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	0,5	\$ 233.333	\$ 116.667
	Ingeniero de proyectos	1	0,5	\$ 126.667	\$ 63.333
Personal Operativo	Especialista en instrumentación	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
					\$ -
					\$ -
Bienes de Capital					\$ -
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	1,5	\$ 5.479	\$ 8.219
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	1	1	\$ 50.000	\$ 50.000
					\$ -
					\$ -
		Duración Total	0,5	Costo Total	\$ 313.219

Tarea Nivel 2: 1.2 Ingeniería Básica					
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	1	\$ 233.333	\$ 233.333
	Ingeniero de proyectos	1	1	\$ 126.667	\$ 126.667
Personal Operativo	Especialista en instrumentación	1	1	\$ 150.000	\$ 150.000
	Ingeniero de procesos	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	3,5	\$ 5.479	\$ 19.178
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	2	2	\$ 50.000	\$ 100.000
					\$ -
					\$ -
		Duración Total	1	Costo Total	\$ 704.178

La Tabla 8 muestra la asignación de costos y recursos de las tareas que componen la ingeniería de detalle

Tarea Nivel 2:		1.3 Ingeniería de Detalle			
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	2,5	\$ 233.333	\$ 583.333
Personal Operativo	Ingeniero de proyectos	1	4,5	\$ 126.667	\$ 570.000
	Especialista en Instrumentación	1	3,25	\$ 150.000	\$ 487.500
	Ingeniero de procesos	1	0,58	\$ 150.000	\$ 87.000
	Especialista Mecánico	1	1,58	\$ 150.000	\$ 237.000
	Especialista Eléctrico	1	0,58	\$ 150.000	\$ 87.000
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	12,99	\$ 5.479	\$ 71.178
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Listado de componentes	1	1	\$ 50.000	\$ 50.000
	Documento técnico	1	1	\$ 100.000	\$ 100.000
	Listado de Elementos	1	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Duracion Total			6	Costo Total	\$ 2.323.011

La Tabla 9 muestra los recursos y costos asociados a las tareas correspondientes a la factibilidad técnica del proyecto

Tabla 9 Asignación de recursos Factibilidad Técnica

Tarea Nivel 2:		1.4 Factibilidad técnica				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total	
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	1	\$ 233.333	\$ 233.333	
	Ingeniero de proyectos	1	1	\$ 126.667	\$ 126.667	
Personal Operativo					\$ -	
					\$ -	
					\$ -	
					\$ -	
Bienes de Capital						
Equipo	Computador personal (dia/PC)	1	2	\$ 5.479	\$ 10.959	
Maquinaria					\$ -	
Entregables						
Materiales (A entregar al cliente)	Listado de componentes	1			\$ -	
					\$ -	
					\$ -	
		Duración Total	1	Costo Total	\$ 370.959	

La Tabla 10 muestra los recursos y costos variables directos totalizados del proyecto.

Tabla 10 Recursos y Costos variables del proyecto

Tarea Nivel 2:		1.1 Ingeniería Conceptual				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total	
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	5,5	\$ 233.333	\$ 1.283.333	
Personal Operativo	Ingeniero de proyectos	1	5,5	\$ 126.667	\$ 696.667	
	Especialista en Instrumentación	1	3,25	\$ 150.000	\$ 487.500	
	Especialista Mecánico	1	0,75	\$ 150.000	\$ 112.500	
	Especialista Eléctrico	1	0,25	\$ 150.000	\$ 37.500	
	Ingeniero de procesos	1	2,25	\$ 150.000	\$ 337.500	
	Administrador	1	0,5	\$ 100.000	\$ 50.000	
	Ingeniero HSE	1	1	\$ 83.333	\$ 83.333	
Bienes de Capital						
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	19	\$ 5.479	\$ 104.110	
Maquinaria					\$ -	
Entregables						
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	10	10	\$ 20.000	\$ 200.000	
					\$ -	
					\$ -	
		Duración Total	8	Costo Total	\$ 3.392.443	

Tarea Nivel 2:		1.2 Ingeniería Básica				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total	
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	1	\$ 233.333	\$ 233.333	
Personal Operativo	Ingeniero de proyectos	1	1	\$ 126.667	\$ 126.667	
	Especialista en Instrumentación	1	1	\$ 150.000	\$ 150.000	
	Ingeniero de procesos	1	0,5	\$ 150.000	\$ 75.000	
Bienes de Capital						
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	3,5	\$ 5.479	\$ 19.178	
Maquinaria					\$ -	
Entregables						
Materiales (A entregar al cliente)	Documento técnico	2	2	\$ 50.000	\$ 100.000	
					\$ -	
					\$ -	
		Duración Total	1	Costo Total	\$ 704.178	

Tarea Nivel 2:		1.3 Ingeniería de Detalle				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total	
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	2,5	\$ 233.333	\$ 583.333	
Personal Operativo	Ingeniero de proyectos	1	4,5	\$ 126.667	\$ 570.000	
	Especialista en Instrumentación	1	3,25	\$ 150.000	\$ 487.500	
	Ingeniero de procesos	1	0,58	\$ 150.000	\$ 87.000	
	Especialista Mecánico	1	1,58	\$ 150.000	\$ 237.000	
	Especialista Eléctrico	1	0,58	\$ 150.000	\$ 87.000	
Bienes de Capital						
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	12,99	\$ 5.479	\$ 71.178	
Maquinaria					\$ -	
Entregables						
Materiales (A entregar al cliente)	Listado de componentes	1	1	\$ 50.000	\$ 50.000	
	Documento técnico	1	1	\$ 100.000	\$ 100.000	
	Listado de Elementos	1	1	\$ 50.000	\$ 50.000	
		Duración Total	6	Costo Total	\$ 2.323.011	

Tarea Nivel 2:		1.4 Factibilidad técnica				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total	
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	1	\$ 233.333	\$ 233.333	
Personal Operativo	Ingeniero de proyectos	1	1	\$ 126.667	\$ 126.667	
					\$ -	
					\$ -	
					\$ -	
					\$ -	
Bienes de Capital						
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	2	\$ 5.479	\$ 10.959	
Maquinaria					\$ -	
Entregables						
Materiales (A entregar al cliente)					\$ -	
					\$ -	
					\$ -	
		Duración Total	1	Costo Total	\$ 370.959	

Tarea Nivel 1:		1 Automatización del control de calidad de vapor en generadores de vapor Kerui				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total	
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	10	\$ 233.333	\$ 2.333.333	
Personal Operativo	Ingeniero de proyectos	1	12	\$ 126.667	\$ 1.520.000	
	Especialista en Instrumentación	1	7,5	\$ 150.000	\$ 1.125.000	
	Especialista Mecánico	1	2,33	\$ 150.000	\$ 349.500	
	Especialista Eléctrico	1	0,83	\$ 150.000	\$ 124.500	
	Ingeniero de procesos	1	3,33	\$ 150.000	\$ 499.500	
	Administrador	1	0,5	\$ 100.000	\$ 50.000	
	Ingeniero HSE	1	1	\$ 83.333	\$ 83.333	
Bienes de Capital						
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	37,49	\$ 5.479	\$ 205.425	
Maquinaria					\$ -	
Entregables						
Materiales (A entregar al cliente)	Documentos técnico				\$ 400.000	
	Listado de elementos				\$ 50.000	
	Listado de componentes				\$ 50.000	
		Duración Total	16	Costo Total	\$ 6.790.591	

Cronograma de actividades

La Tabla 11 muestra el cronograma de ejecución del proyecto, la duración total es de 16 días.

Tabla 11 Cronograma de ejecución

Tarea	Duración (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 Automatización del sistema de control de calidad de vapor en Generadores Kerui	16																
1.1 Ingeniería Conceptual	8																
1.1.1 Descripción del proceso o servicio	1																
1.1.2 Tecnología existente	2																
1.1.3 Especificaciones de funcionamiento	1																
1.1.4 Especificaciones de montaje físico	0,5																
1.1.5 Especificaciones de ambiente de operación	0,5																
1.1.6 Especificaciones de gestión	0,5																
1.1.7 Normatividad técnica a cumplir	1																
1.1.8 Requerimientos legales y contractuales	0,5																
1.1.9 Identificación de riesgos	0,5																
1.1.10 Gestión de riesgos	0,5																
1.2 Ingeniería Básica	1																
1.2.1 Diagrama de bloques	0,5																
1.2.2 Descripción de la solución	0,5																
1.3 Ingeniería de Detalle	6																
1.3.1 Escogencia de componentes	2																
1.3.2 Diagramas y planos de la solución	2																
1.3.3 Listado de elementos	2																
1.4 Factibilidad del Proyecto	1																
1.4.1 Factibilidad técnica	1																

Costos Variables Indirectos

Costos Administrativos

La Figura 13 muestra el organigrama administrativo de la empresa, la Tabla 12 muestra los costos asociados al personal administrativo.

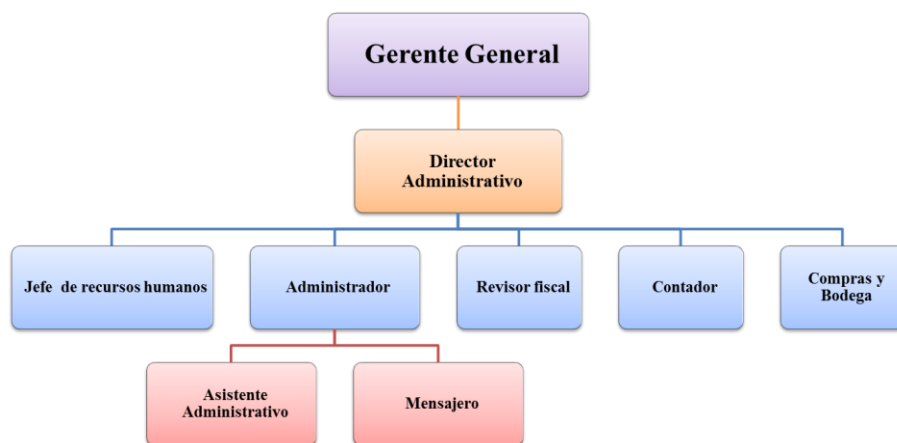


Figura 13. Organigrama Administrativo

Tabla 12 Cuadro de costos administrativos

Recurso	Salario base	Costo total*	Costo dia
Gerente General	\$ 10.000.000	\$ 16.000.000	\$ 533.333
Director Administrativo	\$ 3.500.000	\$ 5.600.000	\$ 186.667
Jefe de RH	\$ 2.500.000	\$ 4.000.000	\$ 133.333
Administrador	\$ 3.000.000	\$ 4.800.000	\$ 160.000
Revisor Fiscal **	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000	\$ 40.000
Contador	\$ 1.200.000	\$ 1.920.000	\$ 64.000
Compras y Bodega	\$ 1.000.000	\$ 1.600.000	\$ 53.333
Asistente Administrativo	\$ 900.000	\$ 1.440.000	\$ 48.000
Mensajero	\$ 700.000	\$ 1.120.000	\$ 37.333
Total Nómina mensual personal administrativo		\$ 37.680.000	\$ 1.256.000
* Aplica factor prestacional 1,6			
** La revisoría fiscal es un servicio contratado, no aplica factor prestacional			

Gastos Generales

Tabla 13 Cuadro de costos Generales

Concepto	Valor mensual	Valor dia
Arrendamiento,	\$ 1.200.000	\$ 40.000
Pago de servicios públicos,	\$ 450.000	\$ 15.000
Gastos de Publicidad	\$ 650.000	\$ 21.667
Seguros,	\$ 700.000	\$ 23.333
Cuotas de Administración,	\$ 200.000	\$ 6.667
Cafetería,	\$ 100.000	\$ 3.333
Papelería	\$ 200.000	\$ 6.667
TOTAL	\$ 3.500.000	\$ 116.667

Gastos Financieros

La empresa financia sus proyectos usando capital propio, por lo que no hay pago de intereses ni costos financieros.

Costos Fijos

Tabla 14 Cuadro de costos Fijos

Concepto	Valor
Pólizas de seguro	\$ 200.000
Gastos de contratación	\$ 200.000
Total	\$ 400.000

Costos Totales

Los costos variables directos fueron calculados en la fase de planificación del proyecto después de realizar la asignación de los recursos de todas las tareas. La Tabla 15 muestra el resumen de estos costos.

Tabla 15 Costos variables directos del proyecto

Tarea Nivel 1:	1 Automatización del control de calidad de vapor en generadores de vapor Kerui				
Recurso Humano	Nombre	Cantidad	Duración	Costo [und]	Costo Total
Directo responsable	Gerente de Proyectos	1	10	\$ 233.333	\$ 2.333.333
	Ingeniero de proyectos	1	12	\$ 126.667	\$ 1.520.000
Personal Operativo	Especialista en Instrumentación	1	7,5	\$ 150.000	\$ 1.125.000
	Especialista Mecánico	1	2,33	\$ 150.000	\$ 349.500
	Especialista Eléctrico	1	0,83	\$ 150.000	\$ 124.500
	Ingeniero de procesos	1	3,33	\$ 150.000	\$ 499.500
	Administrador	1	0,5	\$ 100.000	\$ 50.000
	Ingeniero HSE	1	1	\$ 83.333	\$ 83.333
Bienes de Capital					
Equipo	Computador personal [dia/PC]	1	37,49	\$ 5.479	\$ 205.425
Maquinaria					\$ -
Entregables					
Materiales (A entregar al cliente)	Documentos técnico				\$ 400.000
	Listado de elementos				\$ 50.000
	Listado de componentes				\$ 50.000
		Duración Total	16	Costo Total	\$ 6.790.591

Para los costos variables indirectos, se considera que la empresa desarrolla actualmente 10 proyectos. La distribución se realiza de forma lineal.

Tabla 16 Costos variables indirectos

Concepto	Valor mensual	Valor día
Gastos Administrativos	\$ 37.680.000	\$ 1.256.000
Gastos Generales	\$ 3.500.000	\$ 116.667
Total	\$ 41.180.000	\$ 1.372.667

Proyectos Activos	10
Duración del Proyecto en días	16
Total de Gastos Cargados al proyecto	\$ 2.196.267

Tabla 17 Costos Fijos

Concepto	Valor
Pólizas de seguro	\$ 200.000
Gastos de contratación	\$ 200.000
Total	\$ 400.000

La Tabla 18 muestra el resumen de costos totales del proyecto.

Tabla 18 Costos Totales del proyecto

Concepto	Total
Costos Variables Directos	\$ 6.790.591
Costos Variables indirectos	\$ 2.196.267
Costos Fijos	\$ 400.000
Total	\$ 8.986.858

Valor del Proyecto

El valor del proyecto se calcula considerando una utilidad esperada del 40% sobre el valor de venta.

Tabla 19 Valor del Proyecto

Costos Totales	\$ 8.986.858
Utilidad esperada	40%
Valor del Proyecto	\$ 14.978.097

Viabilidad económica

El problema planteado en la ingeniería conceptual, muestra que actualmente los generadores de vapor existentes en el campo Moriche presentan una desviación en la calidad del vapor producido que puede estar hasta un 30% por debajo del valor deseado requerido para la inyección.

De acuerdo a la información suministrada por el cliente, el factor de recobro del yacimiento puede alcanzar un 40% cuando la inyección de vapor se realiza de forma adecuada (inyección continua con calidad del 80%) y Cuando la calidad del vapor decae alrededor de 60% el factor de recobro puede reducirse en un 2%.

Con base en esta información y con los datos entregados en la ingeniería conceptual podemos pensar que el factor de recobro actual puede estar alrededor del 38% y no del 40%. Al implementar la solución planteada en la ingeniería básica y de detalle propuestas en este proyecto, se puede esperar que haya un aumento en la producción total de los pozos que se empiecen a inyectar después de la implementación.

Tabla 20 Viabilidad económica

Producción diaria Campo Moriche	18000
Numero de pozos activos	543
Producción Promedio por pozo	33,1
Factor de recobro esperado	40%
Factor de recobro actual	38%
Producción estimada sin inyección de vapor	24,0
Producción esperada con inyección de vapor óptima	33,63
Barriles incrementales con inyección de vapor óptima	0,48
Producción incremental por pozo mensual	14,4
Precio crudo	45,00 USD
Tasa de cambio	\$ 3.000,00
Incremento esperado tras el primer mes de producción	\$ 1.945.712,23
Valor del proyecto	\$ 14.978.096,65
Pozos inyectados para cubrir costos	8

Una vez implementado el proyecto, el cliente recuperará la inversión con la producción incremental lograda después de un mes de producción de los primeros 8 pozos inyectados.

Cabe resaltar que este proyecto abarca solo la fase de ingeniería del proyecto general y para verificar la viabilidad económica de la solución completa se deben evaluar los costos de los equipos y de la implementación.

No obstante lo anterior, la solución planteada puede ser extendida a los 19 generadores de vapor existentes en el campo de modo que en esos casos solo se deben considerar los costos de los equipos y de implementación.

Conclusiones

- La inyección cíclica de vapor saturado en yacimientos de crudos pesados es un método que permite la viabilidad técnico-económica de las explotaciones de este tipo de yacimientos. Al controlar la calidad del vapor inyectado, es posible mejorar el consumo de combustible y lograr el factor de recobro esperado.
- La tecnología disponible en la industria cuenta con los elementos y equipos suficientes para la implementación de un sistema de control automático que permita garantizar las condiciones óptimas del vapor producido en los generadores y ayude a mejorar el factor de recobro del yacimiento.
- A través de la adecuada selección, implementación y configuración de un sistema de control para la calidad de vapor es posible obtener vapor con las especificaciones requeridas para el proceso de inyección de vapor en yacimientos.
- La solución planteada permite realizar la medición de la calidad del vapor producido en las calderas acuatubulares existentes en los campos de la asociación Nare empleando una tecnología disponible en el mercado, que ha sido probada y que puede ser integrada al sistema de control existente en los generadores de vapor.
- La evaluación de los beneficios económicos potenciales que pueden ser obtenidos tras la implementación de la solución propuesta resultan ser grandes comparados con la inversión requerida para la fase de ingeniería del proyecto. Lo anterior, permite la viabilidad de esta fase del proyecto y genera buenas expectativas si se considera la fase de implementación.

Recomendaciones

- Este trabajo contempla la fase de ingeniería de un proyecto de automatización y plantea algunos requerimientos para la implementación, no obstante lo anterior, se debe realizar la evaluación de costos para verificar la viabilidad económica de la fase de implementación.
- Durante la implementación de la solución planteada, se deben realizar paradas de los equipos de generación de vapor con el fin de instalar los componentes asociados al sistema de medición y para realizar los ajustes en el sistema de control existente. Estos tiempos de parada deben ser concertados con el cliente para generar las ventanas de mantenimiento y se deben tener en cuenta en la planificación del proyecto para no incurrir en costos de standby no contemplados.
- La solución planteada puede ser extendida a otros generadores de vapor del mismo tipo y capacidad, sin embargo, se deben realizar los ajustes respectivos en los diagramas de montaje de acuerdo a las particularidades de cada uno de los equipos.
- Si se desea implementar la solución en otros campos, se deben tener en cuenta las características propias de cada sistema como tipo de generador, sistema de control de combustible y capacidad

Bibliografía

- [1] R. Baker, Flow Measurement Handbook: Industrial Design, Operating Principles, Performance and Applications. Cambridge University Press, 2005.
- [2] Y.L. Cheung, A. Brown, Method and Apparatus for Determining Mass Flow Rate and Quality in a Steam Line”. USA. Patente 4688418 A. 1987.
- [3] D. Collins and M. Gacesa, Measurement of Steam Quality in two-phase upflow with venturimeters and orifice plates. Journal of Fluids Engineering, vol. 93 N. 1, pp. 11-20. 1971.
- [4] D. Gonzales, Análisis e Interpretación de Yacimientos sometidos a Inyección Cíclica de Vapor mediante Analogías. 2005.
- [5] R. J. Hodgkinson, A. D. Hugli., Determination of Steam Quality Anywhere in the System. 1977.
- [6] W. A. J. Mahon, Sampling of Geothermal Drillhole Discharges, 1964, vol 2.
- [7] P. S. Olsen, D.K. Sarathi, Practical Aspects of Steam Injection Processes a Handbook for Independent Operators.
- [8] L.P., S.L. Diseño, Construcción y Pruebas de un Calorímetro de Estrangulamiento para el Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. 2011.
- [9] J. Pryor. Orifice meter measures steam quality. Oil Gas J. U.S. vol 64, N. 22. 1966.
- [10] G.A.R, P.J.M. evaluación de procesos de inyección continua de vapor en yacimientos estratificados mediante el análisis de la eficiencia térmica. 2009.
- [11] M. Wilson et al. Steam Quality and Metering. Journal of Canadian Petroleum Technology, vol 15, N. 2. 1976.

Anexo A.1

Diagrama de Montaje

Notas

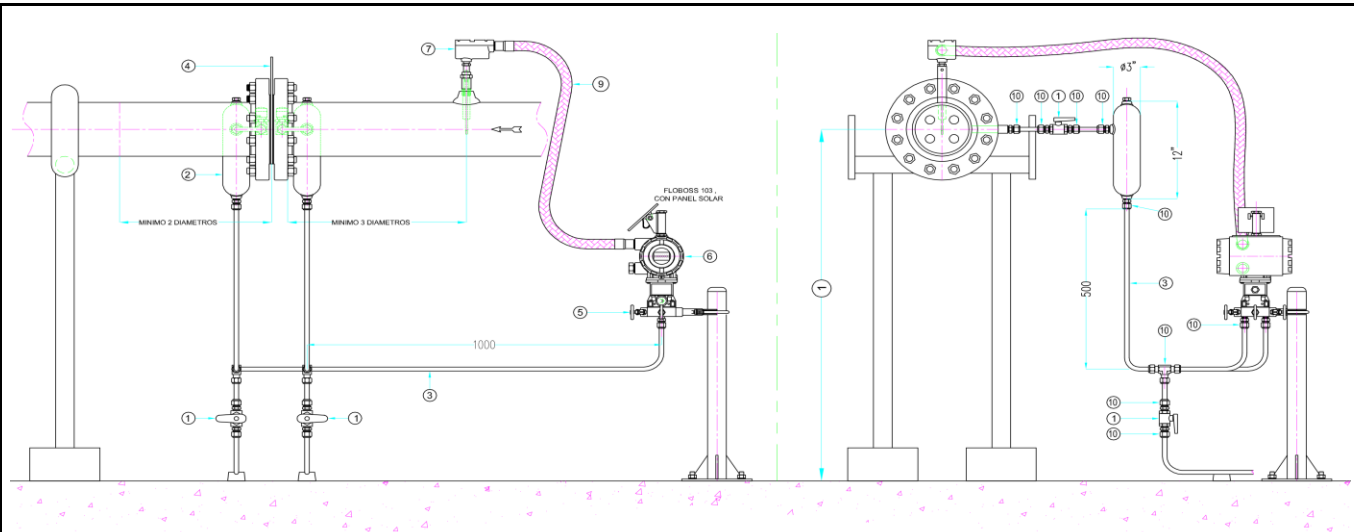
Revisiones

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



AUTOMATIZACION DE CONTROL DE
CALIDAD DE VAPOR EN
GENERADORES KERUI

DIAGRAMA DE MONTAJE



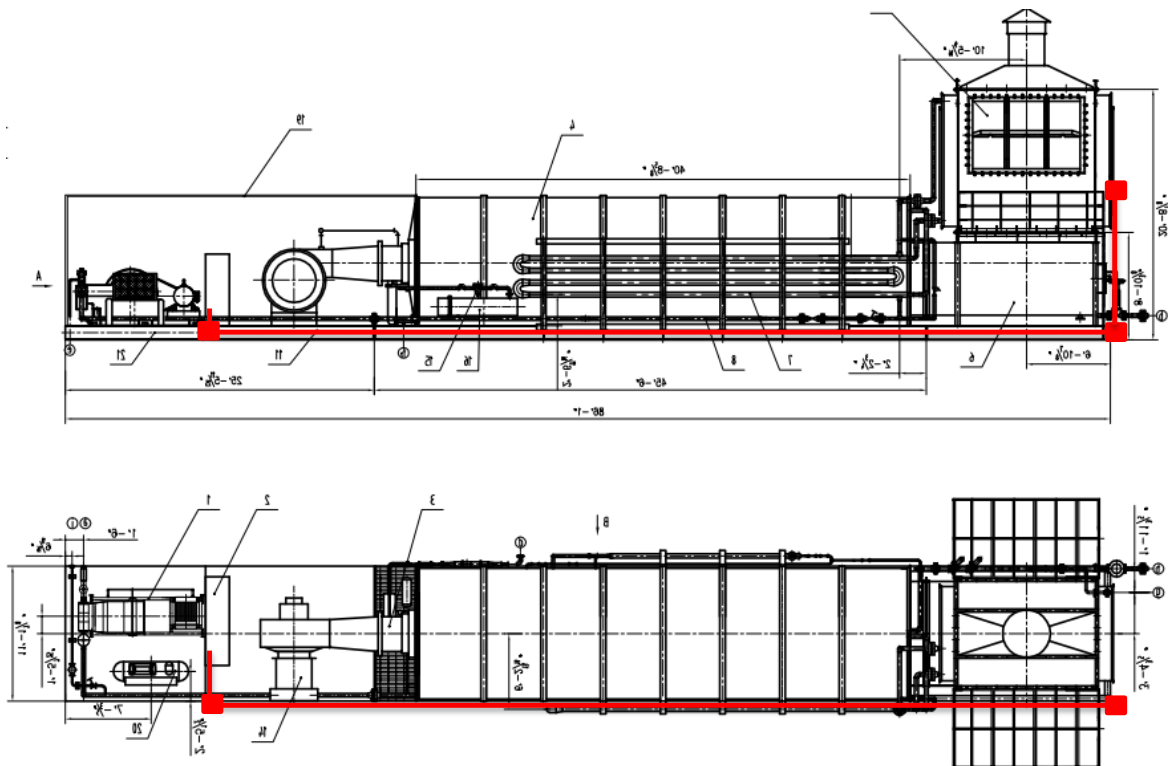
VISTA FRONTAL

VISTA LAT. DERECHA

1	Valvula de bola 1/2 "
2	Cilindros de drenaje de condensado
3	Tubing 1/2"
4	Platina de orificio
5	Manifold 5 vias
6	Floboss 103
7	RTD
8	Soporte metálico 2"
9	Coraza Flexible
10	Conector 1/2 NPT x 1/2 OD
11	Conector en TEE 1/2"OD

Anexo A.2

Diagrama De Canalizaciones Eléctricas



Material	Cantidad
Conduleta EMT 1/2" LB	1
Conduleta EMT 1/2" LR	2
Caja Gual 1/2"	2
Conector recto 1/2"	2
Unión Recta 1/2"	3
Tubo conduit 1/2"	30m

Notas

1 Tubería conduit 1/2" para cableado de señal y alimentación del computador Floboss 103

2

Revisiones

A PARA COMENTARIOS

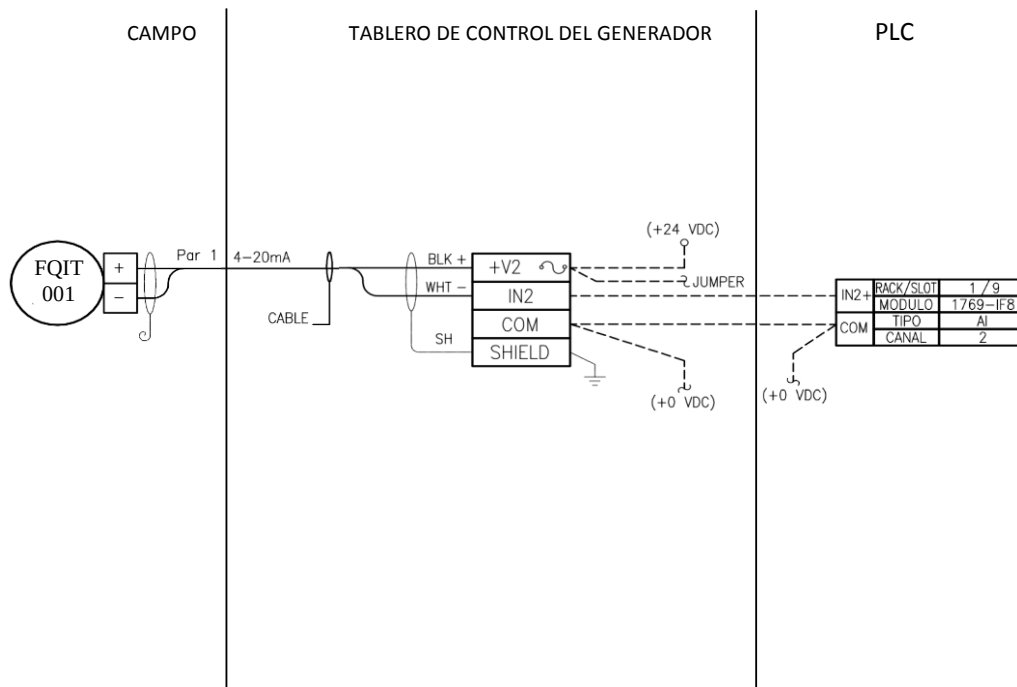
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



AUTOMATIZACION DE CONTROL DE
CALIDAD DE VAPOR EN
GENERADORES KERUI

DIAGRAMA DE CANALIZACIONES
ELECTRICAS

Anexo A.3
Diagrama de Lazo



Notas

Revisiones

A PARA COMENTARIOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



AUTOMATIZACION DE CONTROL DE
CALIDAD DE VAPOR EN
GENERADORES KERUI

DIAGRAMA DE LAZO