



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL GRADO
ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TEMA: “DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN EN EL CAMPO VILLANO “A” DE LA EMPRESA AGIP OIL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA EN EL AÑO 2013. PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL SISTEMA DE REINYECCIÓN CON AEROENFRIADORES”.

Autor:

Miguel Ángel Salazar Espín

Tutor:

Ms.C. Ing., Manuel Ángel León Segovia

LATACUNGA – ECUADOR

Enero – 2017



UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Salazar Espín Miguel Ángel, con el título de tesis: “DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN EN EL CAMPO VILLANO “A” DE LA EMPRESA AGIP OIL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA EN EL AÑO 2013. PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL SISTEMA DE REINYECCIÓN CON AEROENFRIADORES”. Ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Enero 2017.

Para constancia firman:

.....
Ing. MSc. Edwin Homero Moreano Martínez
CC : 0502607500
PRESIDENTE

.....
PhD. Gustavo Rodríguez Barcenás
CC: 1757001357
MIEMBRO

.....
PhD. Juan José La Calle Domínguez
CC 1756604227
MIEMBRO

.....
PhD. Héctor Laurencio Alfonso
CC: I712813
OPONENTE

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Enero del 2017

En mi calidad de Director de Tesis presentada por Salazar Espín Miguel Ángel, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es “DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN EN EL CAMPO VILLANO “A” DE LA EMPRESA AGIP OIL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA EN EL AÑO 2013. PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL SISTEMA DE REINYECCIÓN CON AEROENFRIADORES”.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

Ms.C. Ing., Manuel Ángel León Segovia

DIRECTOR DE TESIS

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Maestría en Gestión de Energías cohorte 2014, declaro que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Magíster en Gestión de Energías, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Latacunga, Enero 2017

Atentamente

.....
Miguel Ángel Salazar Espín
Número de C.I.1709924318

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Dirección de Posgrados, por la excelente labor que ejercen en favor de la formación profesional.

A mi director de tesis Ms.C. Ing., Manuel Ángel León Segovia por su soporte en la presente investigación y el tiempo valioso dedicado para la misma.

DEDICATORIA

Dedico primero a Dios por darme la fortaleza para enfrentar nuevos retos y culminar de una manera satisfactoria, porque el conocimiento es lo único que nos permitirá superarnos. A mi familia por ser el soporte para alcanzar esta meta y sobre todo por saber comprender que este esfuerzo me permitió llegar.

INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	II
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	III
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA.....	VI
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA.....	2
HIPÓTESIS.....	2
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
Campo de acción.....	3
Alcance de la investigación	4
CAPÍTULO 1: MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.....	5
1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN	5
1.2. FRACTURAMIENTO TÉRMICO	6
1.3. MODOS BÁSICOS DE INTERCAMBIO DE CALOR.....	7
1.3.1. Conducción.....	8
1.3.2. Convección	8
1.3.3. Radiación	8
1.3.4. Aspectos generales de los procesos de intercambio térmico	9
1.3.5. Antecedentes y estado actual de la teoría relacionada con los coeficientes de transferencia y pérdida de eficiencia en intercambiadores de calor.	10
1.4. AEROENFRIADORES	11
1.5. BOMBAS CENTRÍFUGAS	12
1.5.1. Principio y funcionamiento de las bombas centrífugas y sistema de tuberías.....	12
1.5.2. Acoplamiento de bombas	13
1.6. GESTIÓN ENERGÉTICA.....	14
1.6.1. Herramientas de la Gestión Energética.....	15

1.6.2.	Sistema de monitoreo y control energético.	17
1.6.3.	Procedimientos y herramientas para organizar un sistema de monitoreo y control energético.....	17
1.6.4.	Los tipos de Diagnósticos energéticos existentes:.....	19
1.6.5.	Determinación y operacionalización de variables	20
1.6.6.	Matriz de operacionalización de variables	21
1.7.	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1	22
CAPÍTULO 2: METODOLOGIA		23
2.1	ENFOQUE, NIVEL Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.2	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE REINYECCIÓN	26
2.2.1	Datos técnicos de las bombas de inyección, booster y aeroenfriadores	26
2.3.	CURVA CARACTERÍSTICA DEL FLUJO DE AGUA POR EL SISTEMA DE TUBERÍAS	28
2.3.1.	Curvas características de las bombas centrífugas	31
2.4.	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS AEROENFRIADORES PARA LA INYECCIÓN DE AGUA.....	33
2.4.1.	Pérdidas locales del aeroenfriador.	35
2.5.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE COSTOS PARA BOMBEO Y VENTILACIÓN.....	35
2.6.	DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD FINANCIERA	36
2.6.1.	Periodo simple de recuperación.....	36
2.6.2.	Valor presente neto (VPN)	37
2.6.3.	Tasa interna de retorno (TIR)	38
2.7.	DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS Y EQUIPOS EMPLEADOS.....	38
2.8.	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE INYECCIÓN	39
2.9.	HERRAMIENTA DE PARETO COMO TECNOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA	40
2.10.	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2	42
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROCESO.....		43
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.2.	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE UTILIZADA EN LA INYECCIÓN.....	43
3.3.	DISTRIBUCIÓN DE CARGA Y CONSUMO DE ENERGÍA EN EL CAMPO VILLANO A	44
3.4.	INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE REINYECCIÓN EN LOS POZOS INYECTORES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROENFRIADORES EN LOS AÑOS 2012 Y 2013	49
3.5.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE PRESIÓN EN LA CABEZA DE LOS POZOS INYECTORES DE LOS AÑOS 2012 Y 2013.	51
3.6.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA DE AGUA DE REINYECCIÓN.	53
3.7.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE CRUDO COMBUSTIBLE EN BARRILES POR DÍA EN RELACIÓN A LA ENERGÍA GENERADA EN MWH	54

3.8.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE CRUDO COMBUSTIBLE EN BPD EN RELACIÓN A LA ENERGÍA GENERADA EN MWH.	55
3.9.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DIARIA EN BOPD EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA DEL AGUA DE INYECCIÓN.	57
3.10.	ANÁLISIS DE LA OPERATIVIDAD DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA INYECCIÓN	60
3.11.	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 3	65
CAPÍTULO 4. PROPUESTA.....		67
4.1.	TÍTULO DE LA PROPUESTA	67
4.2.	JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA	67
4.3.	OBJETIVOS DE LA PROPUESTA	67
4.4.	ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA.....	68
4.5.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	69
4.5.1.	Algoritmo para la gestión energética	71
4.5.2.	Comprobación de la velocidad específica	73
4.5.3.	Relación de temperatura del agua con el factor de recobro	76
4.5.4.	Indicadores de eficiencia energética	77
4.6.	DESIGNACIÓN DE PERSONAL CLAVE	81
4.7.	EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICO-AMBIENTAL DE LA PROPUESTA	82
4.7.1.	Evaluación económica	82
4.7.2.	Evaluación socio-ambiental.....	84
4.7.3.	Ventajas y desventajas del sistema de inyección tratada por aeroenfriadores.....	84
CONCLUSIONES GENERALES.....		86
RECOMENDACIONES		87
BIBLIOGRAFÍA.....		88
REFERENCIAS		89
TRABAJOS CITADOS		90
ANEXOS.....		92
	ANEXO # 1 DATOS DE ENERGÍA CONSUMIDA 2012.	92
	ANEXO # 2 DATOS DE ENERGÍA CONSUMIDA 2013.	93
	ANEXO # 3 BOMBAS DE INYECCIÓN.	94
	ANEXO # 4 AEROENFRIADORES.....	95
	ANEXO # 5 HOJA DE CÁLCULO DE EFICIENCIA DE BOMBAS DE INYECCIÓN.	96
	ANEXO # 6 PRESIÓN EN LA CABEZA DE LOS POZOS INYECTORES.....	97
	ANEXO # 7 BOMBAS DE INYECCIÓN VILLANO 2012	98
	ANEXO # 8 BOMBAS DE INYECCIÓN VILLANO 2013.....	99

Índice de Figuras

Figura 1. 1 Villano Instalación. Fuente AOE	6
Figura 1. 2 Aeroenfriador	12
Figura 1. 3 Esquema de dos bombas en paralelo. Fuente: Ramos, (1989).....	13
Figura 1. 4 Esquema de dos bombas en serie. Fuente: Ramos, (1989).....	14
Figura 2. 1 Mapa de Ubicación de campo Villano. Fuente AOE (2016).	26
Figura 2. 2 Matriz causa – efecto: árbol de problemas relacionado al proceso. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2. 3 Curva de Eficiencia de Bomba de Inyección A/B. Fuente: Flowserve.	28
Figura 2. 4 Comportamiento de parámetros de trabajo de bombas centrífugas. Fuente: Ramos, (1989).....	31
Figura 2. 5 Esquema de 2 bombas en paralelo. Fuente: Ramos, (1989).....	32
Figura 2. 6 Esquema de 2 bombas en serie. Fuente: Ramos, (1989).....	32
Figura 2. 7 Sistema de adquisición de datos. Fuente: AOE.....	40
Figura 2. 8 Diagrama para la aplicación del análisis de Pareto. Fuente: Pareto	41
Figura 3. 1. Fracción por potencia periodo 2012.	46
Figura 3. 2 Relación del consumo energético del proceso de inyección durante el año 2012-2013 ..	47
Figura 3. 3 Variabilidad del consumo energético del proceso.....	48
Figura 3. 4 Relación del consumo energético del proceso de inyección durante el año 2013.	49
Figura 3. 5 Incremento de la capacidad de Inyección en los pozos de reinyección 2012	50
Figura 3. 6 Incremento de la capacidad de Inyección en los pozos de reinyección 2013	51
Figura 3. 7 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2012.	52
Figura 3. 8 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2013.	53
Figura 3. 9 Comportamiento de la energía en base a la variación de temperatura en el año 2012....	53
Figura 3. 10. Comportamiento de la energía en base a la variación de temperatura en el año 2013. 54	
Figura 3. 11 Consumo de crudo combustible en relación a la energía generada en el año 2012	54
Figura 3. 12 Consumo de crudo combustible en relación a la energía generada en el año 2013	55
Figura 3. 13 Gross total (fluido) relación a la energía generada.....	56
Figura 3. 14 Gross total (fluido) relación a la energía generada.....	56
Figura 3. 15 Gross total (fluido) relación a la energía generada en el año 2012	57
Figura 3. 16 Tendencia de la producción diaria en relación a la temperatura del agua de inyección en el año 2012.....	57
Figura 3. 17 Tendencia de la Producción diaria en relación a la temperatura del agua de inyección en el año 2013.....	58
Figura 3.18. Comportamiento del rendimiento del aeroenfriador en función de la temperatura del aire.	60
Figura 3. 19. Operación de las dos bombas trabajando en paralelo a diferentes temperaturas del agua.	62
Figura 3. 20. Gráfico de las alturas netas positivas de succión para las temperaturas de 88 y 97 °C. 63	
Figura 3. 21 Curva de potencia de la bomba.	64
Figura 3. 22 Curva de rendimiento de la bomba S100N.	65
Figura 4. 1. Transformación de la energía en un sistema de bombeo.	69
Figura 4. 2. Modelo de sistema de gestión de la energía para la norma internacional ISO 50001. Fuente: NTE INEN-ISO 50001:2012	70
Figura 4. 3. Enfoque metodológico propuesto de eficiencia energética para el sistema de inyección.	71

Figura 4. 4. Algoritmo del programa de mejora de la gestión energética. Elaborado por: Salazar (2016).....	72
Figura 4. 5. Esquema de yacimientos de hidrocarburos (Fassler, 2016).	73
Figura 4. 6. Rendimiento de bombas de paleta según la velocidad específica. Fuente: Nekrasov (1986).....	74
Figura 4. 7. Rendimiento de bombas centrifugas según la velocidad específica.	76
Figura 4. 8. Establecimiento de la temperatura técnico económica del agua de inyección.	82
Figura 4. 9. Comportamiento de la TIR.....	83

Índice de tablas

Tabla 1. 1 Ventajas y Desventajas de los posibles sistemas de enfriamiento.....	11
Tabla 2. 1. Variable Independiente: Consumo energético del sistema de reinyección de agua de formación.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. 2 Variable Dependiente: Eficiencia Energética.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. 3 Datos de la bomba de reinyección A/B/C/D/E/F/G/H/I.	27
Tabla 2. 4 Datos de las bombas Booster A/B/C/D. Fuente: AOE 2016	27
Tabla 2. 5 Datos de Aeroenfriadores. Fuente: AOE 2016.	27
Tabla 2. 6 Coeficientes de rugosidad aproximados de las tuberías. Fuente: (Streeter, 2000)	30
Tabla 2. 7 Valores de los coeficientes de resistencias locales Fuente: (Streeter, 2000).....	31
Tabla 2. 8 Equipos utilizados en los ensayos físico-químicos del agua de reinyección. Fuente: AOE	39
Tabla 3.1. Análisis físico químico del agua de formación Villano A. Fuente AOE	44
Tabla 3. 2 Distribución de cargas en el periodo 2012-2013; campo Villano. Fuente AOE	45
Tabla 3. 3 Valores de agua de reinyección disponibles del año 2012	49
Tabla 3. 4 Valores de agua de reinyección disponibles en el año 2013.	50
Tabla 3. 5 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2012.....	51
Tabla 3. 6 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2013.....	52
Tabla 3.7. Análisis de la operación de los aeroenfriadores	58
Tabla 3.8 Análisis de la operación de los aeroenfriadores.	59
Tabla 3. 9 Datos del sistema de bombeo para la inyección de agua.....	60
Tabla 3. 10 Datos de las propiedades del agua para inyección de agua y su relación con la altura de carga del pozo.	61
Tabla 4. 1. Puestos y personal clave.	81
Tabla 4. 2. Vinculación de ahorros energéticos con el VPN de la energía.....	83

Índice de Ecuaciones

Ecuación 2. 1. Número de Reynolds	28
Ecuación 2. 2. Pérdidas de cargas.....	29
Ecuación 2. 3. Pérdidas de presión por fricción	29
Ecuación 2. 4. Factor de fricción de Darcy – Weisbach.....	30
Ecuación 2. 5. Pérdidas locales.....	30
Ecuación 2. 6. Rendimiento del valor teórico máximo del aerofriador	33
Ecuación 2. 7. Coeficiente de realización.....	33
Ecuación 2. 8. Flujo de calor extraído del agua del agua a inyectar.....	34
Ecuación 2. 9. Calor a extraer por el aire	34
Ecuación 2. 10. Cálculo del intercambio de calor del aire	34
Ecuación 2. 11. Pérdidas de presión por resistencias locales	35
Ecuación 2. 12. Pérdidas de presión por resistencias locales	35
Ecuación 2. 13. Costo de flujo de la instalación.....	35
Ecuación 2. 14. Potencia necesaria para transporte	36
Ecuación 2. 15. Período simple de recuperación	36
Ecuación 2. 16. Valor presente	37
Ecuación 2. 17. Valor Presente Neto	37
Ecuación 2. 18. Tasa Interna de Retorno	38
Ecuación 4. 1. Cálculo velocidad específica	74
Ecuación 4. 2. Cálculo presión de velocidad.....	75
Ecuación 4. 3. Cálculo de la razón volumen de presión	75
Ecuación 4. 4. Cálculo altura de cabeza del pozo.....	76
Ecuación 4. 5. Cálculo del índice de eficiencia energética.....	77
Ecuación 4. 6. Cálculo del índice de eficiencia	77
Ecuación 4. 7. Cálculo de toneladas de Hidrocarburo Producido	78
Ecuación 4. 8. Indicador anual de consumo específico	79
Ecuación 4. 9. Indicador anual de consumo específico	79
Ecuación 4. 10. Valor ahorrado por eficiencia energética del sistema	80
Ecuación 4. 11. Valor ahorrado por eficiencia energética del sistema	80
Ecuación 4. 12. Cálculo del Impacto.....	84

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA: “Diagnóstico Energético del Sistema de Reinyección de Agua de Formación en el Campo Villano “A” de la empresa Agip Oil en la provincia de Pastaza en el año 2012-2013. Propuesta de una metodología para evaluación energética en el sistema de reinyección con aeroenfriadores”.

AUTOR: Salazar Espín Miguel Ángel

TUTOR: MSc. Ing., Ángel León

RESUMEN

El agua de Inyección dentro de la Industria Petrolera ha asumido mayor atención en su tratamiento y su optimización, porque constituye un portador energético muy importante dentro del costo de producción de un barril de petróleo, su tratamiento mejora la calidad de inyección y su manejo adecuado establece mejoras en el consumo energético.

El consumo energético dependerá de la eficiencia de los equipos de superficie que directamente están relacionados con la temperatura del agua de reinyección, la caracterización de las variables inmersas en el proceso permite que se realice una evaluación antes y después de la implementación del sistema de enfriamiento con aeroenfriadores destacando las más convenientes para disminuir el consumo energético.

Está asociado al enfriamiento del agua de reinyección el fenómeno del Fracturamiento Térmico que incide positivamente para el incremento de la reinyección.

El proyecto de investigación identifica variables importantes como presión, temperatura, flujos que inciden directamente después del cambio de temperatura del agua de reinyección, que nos permitirá realizar una evaluación en el funcionamiento de las bombas de inyección de agua porque representan el mayor consumo energético. Al disminuir la temperatura mejora sustancialmente en su rendimiento lo que disminuye en el consumo de energía.

Se plantea un tipo de metodología de evaluación acorde al sistema que nos consentirá mantener un control en los enfriadores de aire como en los equipos de superficie, tratando de precautelar que la incidencia de la alta temperatura del agua de reinyección afecte a la Inyección de Agua de Formación y el consumo de energía.

Palabras Claves: Portadores Energéticos, energía, temperatura, agua de reinyección, variables, procesos, Fracturamiento Térmico, bombas de inyección, consumo energético.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
POSTGRADOS DIRECTION
MASTER'S DEGREE IN ENERGY MANAGEMENT

TOPIC: "Energy Diagnosis of the Training Water Reinjection System in the Villano Field" A "of the Agip Oil Company in Pastaza province in the year 2012-2013. Proposal of a methodology for energy evaluation in the reinjection system with air-coolers".

AUTHOR: Salazar Espín Miguel Ángel
TUTOR: MSc. Ing., Ángel León

ABSTRACT

Injection water within the Oil Industry has assumed greater attention in its treatment and optimization because it constitutes a very important energy transportation within the cost of producing one barrel of oil, its treatment improves the quality of injection and its proper handling establishes improvements in energy consumption. The energy consumption will depend on the efficiency of the surface equipment that is directly related to the temperature of the reinjection water, the characterization of the variables immersed in the process allows an evaluation to be carried out before and after the implementation of the cooling system with Aero-coolers highlighting the most convenient to reduce energy consumption. It is associated to the cooling of the water of reinjection the phenomenon of Thermal broken that affects positively for the increase of the reinjection. The research project identifies important variables such as pressure, temperature, flows directly after the temperature change of the reinjection water, which will allow us to perform an evaluation in the operation of water injection pumps because they represent the highest energy consumption. Decreasing the temperature substantially improves its performance, which decreases energy consumption.

A type of evaluation methodology is proposed according to the system that will allow us to maintain a control in the air coolers as in the surface equipment, trying to ensure that the incidence of the high temperature of the reinjection water affects the Water Injection of Training and energy consumption .

Keywords: Energy carriers, energy, temperature, reinjection water, variables, processes, Thermal Broken, injection pumps, energy consumption

INTRODUCCIÓN

La técnica de la recuperación secundaria consiste en inyectar el agua de formación que se obtiene asociado al petróleo, en el yacimiento utilizando pozos de inyección ubicados en la roca que tengan comunicación con los pozos productores o en algunos pozos que fueron productores.

Las ventajas de la aplicación de esta técnica de recuperación permite tener un tasa de recobro que se puede obtener a mediano plazo con un promedio de dos a tres años, en países como México, Argentina y Venezuela se ha logrado una producción incremental por más de 30 años. Además mantiene la presión de reservorio y extiende la vida útil del campo (Fassler, 2013).

De los 17 pozos de producción, 15 pozos producen de la arena Hollín y 2 de la arenisca Napo Ten el campo Villano, la formación hollín se caracteriza por poseer el mecanismo de empuje de agua proporcionada por un acuífero infinito. Este tipo de formación da origen a los elevados volúmenes de agua que se producen.

El agua también debe tratarse adecuadamente para proteger el medioambiente. Como la producción de petróleo generalmente disminuirá y la producción de agua se incrementará, el costo asociado con el incremento del consumo de agua por barril de petróleo producido se elevará significativamente. Una disminución en el consumo de agua puede representar una diferencia significativa en la línea de operación (R. Correa, 2015).

Estudios realizados (Flores, 2007) y (Negrete, 2010) al proceso de Villano, indican que al incremento del corte de agua y a las limitaciones del momento, se presenta una propuesta de incrementar de 190.000 BFPD a 230 000 BFPD donde se plantea modificaciones a los equipos, nuevo tanque de Surgencia, una nueva bomba de transferencia al CPF, la implementación de una nueva bomba de reinyección de hasta unos 40 000 BWPD y aparece la implementación de aeroenfriadores para reducir la temperatura del agua de reinyección para minimizar las emisiones de vapor generadas en los tanques de agua debido a la alta temperatura en el proceso las cuales son cercanas al

punto de ebullición. La variable que afecta al rendimiento energético o el método de inyección es la temperatura del agua de formación (210°F), directamente a los equipos de superficie.

El 2011 inicia la implementación de nuevos sistemas para la solución de problemas con el manejo de agua de reinyección a un costo efectivo y una operación eficiente.

Por los motivos antes expuesto se implementaron los sistemas de enfriamiento al proceso de reinyección de agua de formación, los cuales exigen a su vez la evaluación de las diferentes bombas de inyección, que componen el sistema de reinyección de agua dentro del Campo Villano A.

El objetivo es establecer los fundamentos teóricos necesarios para diagnóstico energético del sistema de reinyección de agua de formación, a partir de la sistematización de los conocimientos científico-técnicos establecidos en los trabajos precedentes.

Problema.

¿Cómo incide la temperatura del agua de formación en consumo de energía del sistema de reinyección en el Campo Villano A, de la empresa AGIP Oil, ubicado en la provincia de Pastaza?

Hipótesis

Con la disminución de la temperatura del agua de Reinyección para la recuperación secundaria, manteniendo constantes los valores de presión y flujo volumétrico que caracterizan el sistema, se garantiza mejorar la eficiencia energética.

Justificación

Durante el proceso de reinyección la temperatura agua alcanza valores cercanos a su punto de ebullición, incrementando la emanación de vapores que afectan el funcionamiento y el rendimiento de equipos que conforman la instalación y a la vez negativamente en el consumo de energía. Al disminuir la temperatura del agua las bombas de reinyección aumentan su rendimiento a medida que sus parámetros de

operación se ajustan al comportamiento de las curvas en su funcionamiento nominal, logrando un menor consumo de energía.

Internamente en el pozo se produce un fenómeno denominado fracturamiento térmico en la roca, al disminuir la temperatura del agua la porosidad de la roca se contrae permitiendo el ingreso de fluido al reservorio, lo que libera la presión hidrostática de la columna del pozo inyector permitiendo una liberación de presión, aumentando el flujo de inyección.

Por tales motivos es necesario evaluar el comportamiento de las variables que caracterizan el sistema de enfriamiento dentro del Sistema de Reinyección de Agua de Formación y su efecto en el consumo de energía, así como también establecer una metodología que permita determinar la eficiencia del sistema.

Objeto de estudio

El sistema de reinyección de agua formación en el Campo Villano A, ubicado en la provincia de Pastaza de la empresa Agip Oil.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la influencia de la temperatura del agua de formación en la eficiencia energética del sistema de reinyección del Campo Villano A, de la empresa Agip Oil en el año 2012 y 2013, ubicado en la provincia de Pastaza.

Objetivos específicos

- 1- Caracterizar el agua de formación a partir de las propiedades termofísicas.
- 2- Describir el principio de funcionamiento, parámetros de operación de los equipos que conforman el Sistema de Reinyección de agua.
- 3- Estructurar una metodología para la evaluación energética de los sistemas de reinyección de agua con aeroenfriadores.

Campo de acción

Eficiencia energética en la operación de sistemas de reinyección de agua para la recuperación secundaria.

Visión epistemológica de la investigación:

Paradigma

Utilizado para la investigación es el cuantitativo, porque mediante la implementación de seis enfriadores a la salida de los tres separadores de crudo en el sistema de reinyección disminuimos la temperatura del agua en un rango que aspiramos a determinar, que nos permitirá mantener la temperatura del agua bajo el punto de ebullición.

El comportamiento de los equipos como bombas centrífugas de inyección al tener un fluido en condiciones estándares producen que la eficiencia de estos equipos sean más óptimos lo que nos permite el ahorro en el consumo de energía, este enfoque que tenemos es cuantitativo.

Nivel de investigación

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación experimental y cuanti-cuantitativa, en razón, que se utilizará la observación, registro y análisis de las variables que intervienen en la investigación, además cuantitativa porque la investigación de campo se realizará en el lugar donde se producen los hechos y se recolectará información primaria, procesada numérica y estadísticamente y cualitativa porque los referentes estadísticos serán sometidos análisis e interpretaciones técnicas con el apoyo del marco teórico.

Explicativo porque comprueba experimentalmente la hipótesis planteada y detecta las condiciones que determinan ciertos comportamientos.

Alcance de la investigación

Tiene como alcance evaluar la eficiencia del sistema de reinyección; El enfoque de la investigación está dirigido a los efectos en el consumo de energía de los equipos del sistema de reinyección de agua con la implementación de aerofriadores en el campo Villano "A" de la empresa Agip Oil en la provincia de Pastaza.

CAPÍTULO 1: Marco contextual y teórico

1.1. Caracterización de la instalación

Las plataformas de producción están constituidas por dos bloques, Villano A (V-A) y Villano B (V-B) aproximadamente de 4 hectáreas y 2 hectáreas respectivamente.

El campo Villano se desarrolló principalmente con los pozos horizontales. Existe 21 pozos perforados: 17 productores donde 15 de ellos con bombas eléctricas sumergibles, 2 con bomba hidráulica tipo Jet; 3 pozos de agua de reinyección y un pozo (exploratorio V-1) que está abandonado.

El crudo extraído de los pozos productores es de la formación Hollín que: según Tschopp (1953) consta de dos miembros diferenciados litológicamente: Hollín inferior y Hollín Superior, la diferencia esta que la Hollín Superior contiene laconita, mientras que la Hollín Inferior consiste en areniscas limpias.

La mayoría de pozos producen de Arena Hollín Principal (o Superior): de edad Aftiano superior- Albiano inferior según Jaillard (1997), consiste una serie de areniscas cuarzosas correspondientes a depósitos de llanuras de inundación fluvial, planicie costera y plataforma marina poco profunda.

Para la reinyección de agua de formación está conformado por el bloque V-A con tres pozos disponibles. Además dos pozos de agua de reinyección utilizados en la Facilidad Central de Procesamiento (CPF). Cuatro pozos han estado incorporados: tres productores y un pozo inyector disponible. El flujo de agua a ser reinyectada es de aproximadamente 95 % con relación al total de los barriles producidos. Por norma del estado ecuatoriano, toda el agua de formación que se produce necesita ser re-inyectada.

Las facilidades de Villano se componen de tres separadores trifásicos, cuatro tanques de tratamiento de agua de reinyección distribuidos en 2 tanques Skimmers y 2 de Surgencia, un tanque de Crudo o de almacenamiento, cinco bombas de transferencia hacia el CPF y una en back up, cuatro bombas booster de agua, nueve bombas de reinyección, sistemas auxiliares como compresores de aire para instrumentos, agua de utilidades, bombas para el suministro de químicos y Sistemas API para el tratamientos de efluentes.

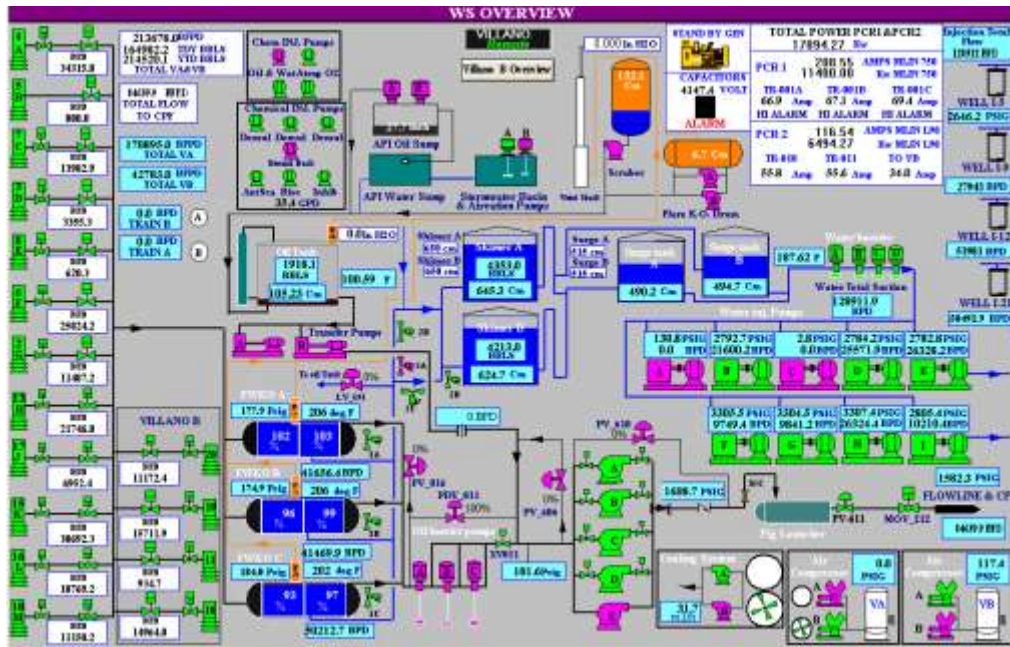


Figura 1. 1 Villano Instalación. Fuente AOE

El fluido de los Pozos pasa por los medidores de densidad (DIT's) hasta llegar a un manifold que nos permite alinear a las Separadores de Agua Libre A/B/C y a las bombas de transferencia al CPF.

En los Separadores por la parte superior tenemos la fase de crudo que a su vez se direcciona a la succión de la Flow Line Pumps A/B/C/D/E para su transferencia al Centro de Facilidades de Producción, mientras que la fase de agua sale por la parte inferior hacia el sistema de enfriamiento (aeroenfriadores), posteriormente al sistema de tratamiento de agua donde tiene que pasar por los tanques Skimmers A/B (desnatadores, 5 000 bls) en seguida a los tanques Surge (surgencia 5 000 bls) con la finalidad de disminuir la cantidad de aceite presente en el agua alrededor de 10 ppm con la adicción de químicos como demulsificantes y clarificadores.

Del tanque de Surgencia pasa a la succión de las booster pumps, la finalidad (incrementa la presión) de mantener una presión constante a la succión de la bombas de Inyección (WIP's) para la reinyección de agua en cada uno de los pozos seleccionados.

1.2. Fracturamiento térmico

Durante la inyección de agua fría hacia el yacimiento ocurrirá el fenómeno de fracturamiento inicial en la región cercana a la boca de pozo, cuando la presión fluyente

final de la extensión de la fractura (presión TIP), excede a la suma de la tensión mínima horizontal más la contribución de la energía superficial de la roca-formación oponiéndose a la fractura. El fracturamiento podrá iniciarse en estas condiciones aún a presiones menores a la presión de fractura, se demostrará que a presiones menores a la presión de fractura se dará inicio y a la propagación del fracturamiento en la formación, a este modo de inyección de agua se le denomina Waterflooding bajo condiciones de fracturamiento.

El aumento significativo de la inyección se observó cuando la formación es termalmente fracturada por la inyección súbita de agua de menor temperatura, es decir, con una variación de temperatura de 50 a 70 °F con respecto al agua originalmente inyectada. El caso más conocido se encontró en la cuenca de Marañón de Perú logrando un aumento del 100 % de inyectabilidad. Fracturamiento Térmico o Waterflooding bajo condiciones de fracturamiento se producen los siguientes efectos Termo-Mecánicos debido a la Inducción Termal (TIF):

1.-Efecto Termo-elástico. La roca se contrae por enfriamiento lo cual conlleva a una reducción de la Tensión mínima horizontal de la formación alrededor del pozo inyector; que es equivalente a la caída de la presión de fractura de la formación el cual podría decrecer hasta estar por debajo de la presión de inyección de agua.

2.-Efecto Poro-elástico. Incremento de la presión poral, ya que al enfriarse la roca los poros se reducen, aumentando la presión de inyección de agua; que equivale al incremento de la tensión mínima horizontal.

3.-Efecto de daño en la formación alrededor de la boca del pozo inyector. Taponamiento de partículas sobre la cara de la fractura, produciendo un incremento de la presión fluyente de fondo de pozo. (R. Correa, 2015).

1.3.Modos básicos de intercambio de calor

La evaluación de los sistemas de intercambio de calor y conversión de la energía requieren de cierta familiaridad con tres mecanismos diferentes, conducción, convección y radiación, así como de sus interacciones.

1.3.1. Conducción

La transmisión del calor por conducción, ocurre por contacto directo entre las partículas de un cuerpo y las de otro cuerpo o entre partes de un mismo cuerpo siempre que se encuentren a distintas temperaturas, donde se considera la materia como un medio continuo (Martín, 2011) (Holman, 1999) . Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, ocurre transferencia de energía desde la región a alta temperatura hacia la región de baja temperatura. Se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura. La ecuación se conoce como Ley de Fourier de la Conducción de Calor y se emplea cuando el flujo de calor es en una sola dirección (Incopera, 2006). El signo negativo indica que el flujo de calor es transferido en la dirección de la disminución de la temperatura.

1.3.2. Convección

El término convección se utiliza para describir la transferencia de energía entre una superficie y un fluido. Aunque el mecanismo de difusión contribuye a esta transferencia, generalmente la aportación dominante es la del movimiento global o total de las partículas del fluido (Incopera, 2006). Obviamente la convección aparece únicamente en fluidos, que es donde puede producirse este movimiento de materia (Martín, 2011). Un fluido de velocidad V y temperatura T_{∞} , fluye sobre una superficie de forma arbitraria y de área A_S . La superficie tiene una temperatura uniforme T_S ; si $T_S \neq T_{\infty}$ entonces ocurrirá la transferencia de calor por convección. En estas condiciones se produce la convección, caracterizada por un flujo térmico transmitido, dado por la relación empírica conocida como Ley de Enfriamiento de Newton

1.3.3. Radiación

La radiación térmica es la propagación de ondas electromagnéticas, en determinadas longitudes de ondas, emitidas por un cuerpo como resultado de su temperatura. La transferencia de calor por radiación no requiere de presencia de la materia ya que el calor puede ser transmitido a través del vacío absoluto a diferencia de la transferencia de calor por conducción y convección (Incopera, 2006) .

Los equipos en los que se efectúa el proceso de intercambio de calor entre dos o más sustancias a diferentes temperaturas se llaman “Equipos de transferencia de calor”

1.3.4. Aspectos generales de los procesos de intercambio térmico

Un intercambiador de calor de superficie se puede describir de un modo muy elemental como un equipo en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse con el objeto de enfriar una de ellas o calentar la otra o ambas cosas a la vez.

La búsqueda continua de economía y mayor eficiencia en el equipo de transferencia de calor ha tenido como consecuencia el desarrollo de diversos tipos de intercambiadores. Entre ellos cabe destacar el intercambiador de carcasa y tubo, el compacto aleteado y el intercambiador de placas. En muchas aplicaciones de la industria moderna el intercambiador de calor de placas ha desplazado al tradicional de tipo multitubular (Incopera, 2006) por dos razones principales:

- El coeficiente de transferencia de calor es mayor, lo que permite construir equipos más compactos y con menor tiempo de residencia de los fluidos.
- Son fácilmente desmontables, con lo cual se puede proceder a su limpieza con mayor rapidez.

La selección adecuada de los equipos de intercambio térmico es importante para la reducción de: los consumos energéticos, los costos de las instalaciones, gastos de mantenimiento y máximo aprovechamiento de la energía disponible en el sistema. Una parte esencial de cualquier análisis de un intercambiador de calor es la determinación del coeficiente global de transferencia de calor, este coeficiente se define en términos de la resistencia térmica total para la transferencia de calor entre dos fluidos, ello incluye las resistencias por convección y conducción para superficies planas o cilíndricas (Incopera, 2006).

El uso de métodos computacionales para la simulación de intercambiadores de calor ha sido ampliamente usado en la literatura consultada, ello permite simular el comportamiento en diferentes condiciones de operación sin la necesidad de experimentos adicionales que incrementa los costos de las investigaciones. Los aportes fundamentales de los trabajos consultados están encaminados a lograr mayor precisión y rapidez en la

selección de los equipos de intercambio térmico.

1.3.5. Antecedentes y estado actual de la teoría relacionada con los coeficientes de transferencia y pérdida de eficiencia en intercambiadores de calor.

En la determinación de los coeficientes de transferencia de calor y la eficiencia térmica de un intercambiador es necesaria la integración de varios conceptos de termotecnia y dinámica de los fluidos, y buena parte está dada por consideraciones experimentales. Estos coeficientes se definen en términos de la resistencia térmica total para la transferencia de calor entre dos fluidos, ello incluye las resistencias por convección y conducción para superficies planas o cilíndricas (Incopera D. , 2003)

Los coeficientes de transferencia de calor, obtenidos de forma experimental, para diferentes aplicaciones se exponen en la literatura consultada (Gongora, Lamorú , Columbié, Retirado, Legrá, & Spencer, 2009). Los autores resumen las técnicas experimentales usadas para obtener los coeficientes y su dependencia de diferentes números adimensionales: Nusselt, Reynolds y Prandtl. En todos los casos los resultados son aplicables a las condiciones específicas en que se desarrollaron los experimentos, por lo que en escenarios diferentes es necesario comprobaciones experimentales que permitan determinar la aplicabilidad de los resultados.

Existen varios trabajos de investigación desarrollados con el fin de evaluar la influencia de las incrustaciones en la eficiencia del proceso de intercambio térmico (Suarez, 2003) plantea dos modelos numéricos en tres dimensiones, uno monofásico, otro bifásico y se aplican al condensador principal de una central térmica para evaluar la influencia de la acumulación de ensuciamiento en las superficies de transferencia de calor. La evaluación del ensuciamiento térmico en cambiadores de calor de envolvente y tubos sin cambio de fase a partir de datos de proceso usado por (Bonals, 1996) comprende esencialmente un algoritmo o código basado en el método de Bell-Delaware modificado, que determina a partir de las variables de proceso los espesores homogéneos de ensuciamiento de ambas corrientes correspondientes a cada día de recorrido o servicio. Mediante un ajuste del tipo exponencial asintótico se obtiene la supuesta curva de ensuciamiento de cada corriente. Con esta información es posible estimar, con mayor precisión, el comportamiento futuro de la unidad ante cambios en los caudales y temperaturas.

El análisis de los trabajos precedentes demuestra la necesidad de usar resultados experimentales en la estimación de los coeficientes de transferencia en intercambiadores de calor, los errores que se comenten en la selección y evaluación de las instalaciones son menores y permiten predecir la dependencia de los coeficientes con los números adimensionales: Nusselt, Reynolds y Prandtl.

1.4. Aeroenfriadores

Son equipos en los cuales disminuye el calor de una corriente de proceso usando aire del ambiente como medio refrigerante flujo continuo.

La opción más viable implementada en la Plataforma “Villano A”, al poseer poco espacio para la instalación de nuevos equipos, es el diseño y montaje de aeroenfriadores, fueron instalados en el espacio (13.12 pies X 16.4 pies) en el que actualmente.

Tabla 1. 1 Ventajas y Desventajas de los posibles sistemas de enfriamiento

Sistema de Enfriamiento	Ventajas	Desventajas
Intercambiadores tipo tubo-carcasa	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos de menor tamaño - Mayor eficiencia térmica 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requieren un sistema nuevo de enfriamiento de agua (torre de enfriamiento). - Se requeriría una fuente de agua para abastecer la reposición de agua. - No existe espacio en la plataforma para el nuevo sistema de enfriamiento de agua. - Mayor problema en la operación y de constructibilidad que los aeroenfriadores. - Costo alto de mantenimiento. - Costo de químicos para el tratamiento del agua
Aeroenfriadores	<ul style="list-style-type: none"> - No se requiere de sistemas auxiliares para enfriar el fluido líquido ya que este es aire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos de mayor tamaño que los intercambiadores de calor. - Exento de contaminación ambiental

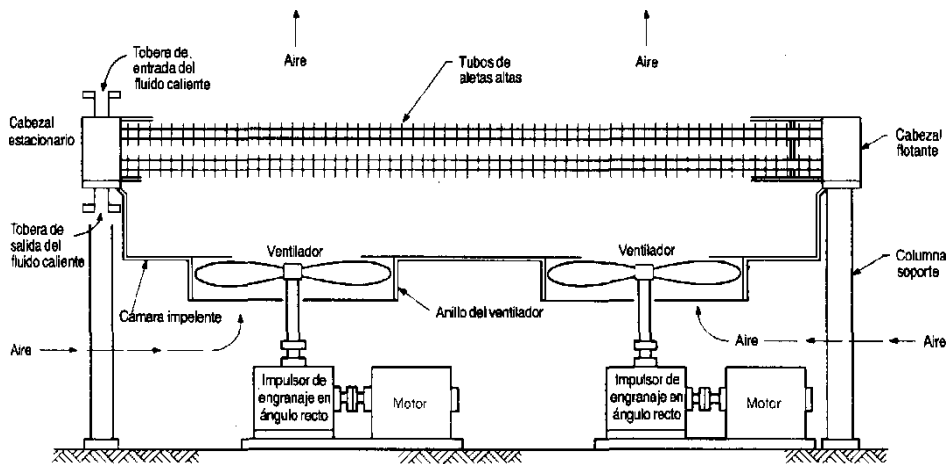


Figura 1. 2 Aeroenfriador

Es bien conocido que un haz de tubos caliente se enfriará rápido cuando se coloca delante de un ventilador que cuando se expone en la Figura 1.2. La velocidad al proceso se le llama transferencia de calor por convección.

1.5. Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga es una máquina generadora para líquidos, que consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter; o una cubierta o carcasa. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga; se usa para transformar la energía mecánica en energía hidráulica (Aldana, 2013). Uno de los factores más importantes que contribuyen al creciente uso de bombas centrífugas ha sido el desarrollo universal de la fuerza eléctrica.

Un sistema de bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse o trasladarse de un punto a otro.

1.5.1. Principio y funcionamiento de las bombas centrífugas y sistema de tuberías

El órgano principal de trabajo de la bomba es una rueda de paletas que, girando a altas velocidades, comunica el líquido que llega a la bomba a una presión elevada y lo empuja con una velocidad aumentada a la cámara espiral. Entre las paletas de la rueda y el flujo existe una interacción de fuerza, debido a la cual la energía del mando se transforma en la del flujo. La cámara espiral tiene la forma de caracol y está destinada para captar el líquido que sale del rodete y transformar parcialmente su energía cinética en la de

presión. El rodete de trabajo de la bomba consta de dos discos, uno de los cuales está fijado por medio de un casquillo sobre el árbol y el otro que tiene un orificio central para dejar pasar el líquido, está acoplado con el primero por medio de los álabes. El líquido se aproxima al rodete a lo largo de su eje de rotación, a continuación se dirige al espacio entre los álabes y después de pasarlos sale por la hendidura entre los discos del rodete (Aldana, 2013).

1.5.2. Acoplamiento de bombas

Las bombas centrífugas constituyen el 80 % de la producción mundial en comparación a la fabricación de bombas de desplazamiento positivo, pues son más adecuadas para manejar una cantidad mayor de líquido.

La asociación o acoplamiento de las bombas centrífugas puede llevarse a cabo de dos formas:

En paralelo: cuando todas las impulsiones de las bombas desembocan en el mismo colector. En este caso la altura manométrica de elevación es la misma y el caudal la suma de los caudales de cada bomba (figura 1.3).

En serie: la impulsión de una bomba constituye la aspiración de la siguiente. Todas las bombas bombean el mismo caudal, en tanto que la altura manométrica final es la suma de todas las alturas (figura 1.4).

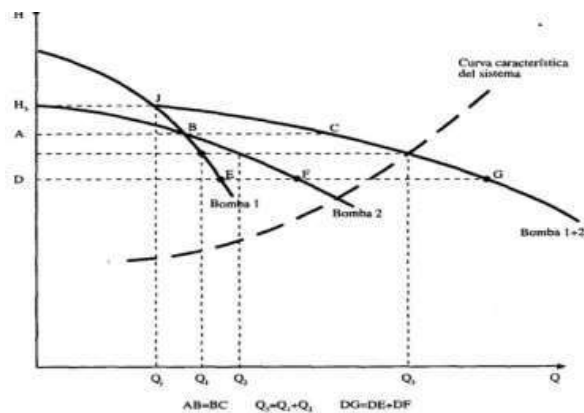


Figura1. 3 Esquema de dos bombas en paralelo. Fuente: Ramos, (1989).

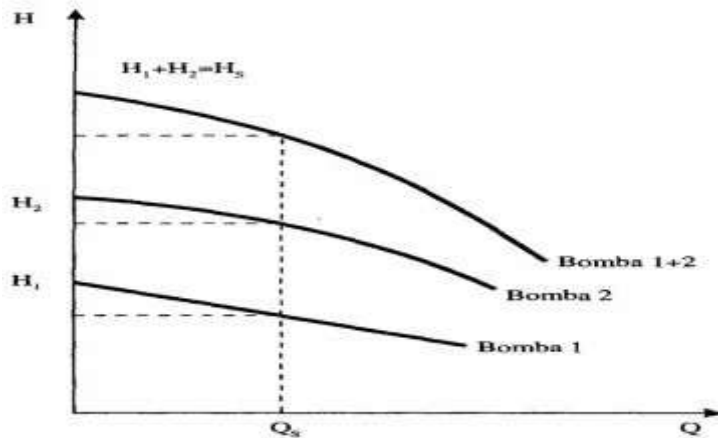


Figura 1. 4 Esquema de dos bombas en serie. Fuente: Ramos, (1989).

Para garantizar que la evaluación de la bomba sea adecuada y que las medidas de ahorro de energía sean aplicables, es necesario obtener información general de la operación de la bomba y su conexión.

1.6. Gestión Energética

Dentro del sistema de gestión de una empresa o institución es una parte dedicada a desplegar y establecer su política energética, gestionar elementos de sus actividades, productos o servicios que están relacionados con el uso de la energía, con la mejora continua en el empleo de la energía, su consumo eficiente, la disminución de los consumos de energía y gastos financieros asociados, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la adecuada utilización de los recursos naturales, así como el fomento de las energías alternativas y las renovables.

En Ecuador se ha promovido una apertura limitada, manteniendo la empresa estatal en el ámbito de la refinación y un esquema de intervención regulatoria de la autoridad pública en el mercado. En la subregión andina, se aprobó en 1994 el Comité Andino de Coordinación Energética (CACE) con el objetivo de coordinar, complementar e integrar los sistemas energéticos del área. Hasta el momento las interconexiones eléctricas son las únicas que se han materializado, aunque existe un número importante de proyectos gasíferos a nivel intrarregional e interregionales, sobre todo con el Mercosur”. (CEPAL, 2004, pág. 119)

Atendiendo a los marcos regulatorios ya promulgados, en Ecuador se lleva a cabo un Programa de Ahorro de Energía (PAE), gestionado y financiado por el Ministerio de Energía y Minas, Dirección de Energías Alternativas (DEA), (H.Altomonte y F.Sánchez, 2000) enfocado principalmente a:

- Campañas de eficiencia energética en los sectores residencial, industrial, servicios y público;
- Campañas a edificios públicos;
- Normas y etiquetado;
- Sensibilización y educación.

Por tal motivo es necesario conocer aquellos elementos que conforman el sistema de gestión energética.

1.6.1. Herramientas de la Gestión Energética

Existen un conjunto de herramientas que se emplean en la Gestión Energética sobre todo en el análisis de la información. Estas herramientas se basan en lo fundamental en criterios estadísticos matemáticos que brindan un panorama preciso de tendencias e inclusive permiten un acercamiento a la modelación energética. Dentro de estas herramientas se destacan:

Diagrama de Pareto: Es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendente factores que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio.

Está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles o Ley 80-20, que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes (20 %) que generan la mayor parte del efecto (80 %). En otras palabras, del total de problemas que causan la baja eficiencia energética de una empresa, sólo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad; y del total de causas de un problema, sólo pocas de ellas son determinantes de gran parte del mismo.

Aplicando el principio de Pareto para resolver el problema del ahorro de energía, el primer paso que se debe dar es localizar prioridades, es decir, en qué energético (electricidad, combustibles) se genera un mayor gasto. Esta localización se hace estratificando el consumo de energía por tipo de energético y representándolo a través del diagrama de Pareto.

Estratificación: El propósito de la Estratificación es similar al Histograma, pero ahora clasificando los datos en función de una característica común que permite profundizar en la búsqueda y verificación de las causas a encontrar, resolver o eliminar.

Gráficos de Control: Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Generalmente se usan como instrumento de autocontrol por los círculos y grupos de calidad y resultan muy útiles como apoyo a los diagramas causa y efecto, cuando se aplica a cada fase del proceso y detectar en cuales fases se producen las alteraciones.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir, existe un valor medio del parámetro de salida muy probable de obtener, mientras que a medida que se aleja de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar ($3S$) del valor medio. Este comportamiento (que puede probarse en caso que no se esté seguro que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influya en desviaciones del parámetro de salida controlado. El gráfico de control se obtiene de graficar los valores reales del parámetro de control obtenidos en el tiempo sobre el valor medio y sus fronteras de desviación.

Método de regresión: Está relacionado con el estudio de la dependencia de una variable, la variable dependiente, de una o más variables adicionales, las variables explicativas con la perspectiva de estimar y/o predecir el valor (poblacional) medio o promedio de la primera en términos de valores conocidos o fijos (en muestreo repetidos) de las segundas. En el

análisis de regresión existe una asimetría en la manera como se manejan las variables dependientes y explicativas.

Método de correlación: El objetivo es la medición de la fuerza o grado de asociación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación mide esta fuerza de asociación (Lineal). El coeficiente de determinación lineal es la forma de medir el grado de relación lineal entre dos variables. La relación entre ambas pudiera estar descrita por una línea recta (recta de regresión lineal). El mismo será:

- Positivo, si al aumentar los valores de X aumentan los de Y y viceversa.
- Negativo, si al aumentar los valores de X disminuyen los de Y y viceversa.

1.6.2. Sistema de monitoreo y control energético.

El control es la acción de hacer coincidir los resultados con los objetivos. Conlleva en elevar al máximo el nivel de efectividad de cualquier proceso. Para que exista la acción de control debe existir un estándar (objetivo a lograr), una medición del resultado, herramientas que permitan comparar los resultados con el estándar e identificar las causas de sus desviaciones y conocer las variables de control, sobre las cuales actuar para acercar el resultado al estándar.

1.6.3. Procedimientos y herramientas para organizar un sistema de monitoreo y control energético.

Se puede realizar de diferentes formas, en los sistemas de control energético es recomendable utilizar el método de control selectivo, seleccionar las áreas y equipos sobre la base de la estructura de consumos y de pérdidas energéticas de la empresa. Se cubre el 20 % de las áreas o equipos que provocan el 80 % del consumo de energía (puestos claves) priorizando las áreas que tienen mayores tendencias a las desviaciones.

El procedimiento a seguir es:

- Establecer o conocer el diagrama energético de la empresa.

- Establecer o conocer la estructura de consumo de la empresa por portadores.
- Selección del 20 % de los equipos y áreas que provocan el 80 % del consumo y los costos energéticos (puestos claves).
- Se establecen los indicadores de control (índices de consumos).
- Selección y validación de los indicadores de control mediante la aplicación de los diagramas de dispersión y correlaciones.
- Establecer herramientas de medición de indicadores de control.
- Establecer estándares.
- Establecer las herramientas de comparación de indicadores con estándares.
- Establecer herramientas para la determinación de la causa de las desviaciones del indicador respecto al estándar.
- Establecer las variables de control.

El proceso de control, en su ejecución, consta de las siguientes etapas:

- Recolección de datos.
- Determinación del resultado
- La comparación del resultado con los estándares.
- Ejecución del diagnóstico de causas de las desviaciones.
- Modificación de las variables de control o corrección de desviaciones.

El Diagnóstico constituye una etapa básica, de máxima importancia, se emplean distintas técnicas a evaluar el grado de eficiencia con que se produce, transforma y usa la energía. Constituye la herramienta básica para saber cuánto, cómo y dónde y porqué se consume la energía dentro de la empresa, para identificar los potenciales de ahorro energético y económico, y para definir los posibles proyectos de mejora de la eficiencia energética.

Los objetivos del diagnóstico son:

- Evaluar cuantitativamente y cualitativamente el consumo de energía.
- Determinar la eficiencia energética, pérdidas y despilfarros de energía en equipos y procesos.
- Identificar potenciales de ahorro energético y económico.

- Establecer indicadores energéticos de control y estrategias de operación y mantenimiento.
- Definir posibles medidas y proyectos para ahorrar energía y reducir costos energéticos evaluados técnica y económicamente.

1.6.4. Los tipos de Diagnósticos energéticos existentes:

Diagnóstico de primer grado: Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación, así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible. Su objetivo fundamental es detectar medidas de ahorro o de incremento de eficiencia energética cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales.

Diagnóstico de segundo grado: Consiste en el desarrollo del balance másico y térmico en condiciones reales de operación de áreas, equipos y sistemas con el objetivo de determinar su eficiencia energética e índices de consumos. Estos valores se comparan con el análisis detallado de los registros históricos y con los valores de diseño. A partir de la comparación se establecen las desviaciones y se buscan sus causas (condiciones de operación de equipos, estado técnico, variación de regímenes de trabajo, etc.). Finalmente se deben evaluar desde el punto de vista económico, las medidas que se recomiendan llevar a cabo; se deben establecer los indicadores de consumo y de eficiencia de control en cada área y equipo, así como presentar recomendaciones de un programa de mejoramiento continuo de estos indicadores.

Diagnóstico de tercer grado: Comienza con un diagnóstico de segundo grado. Consiste en determinar no solo el uso eficiente de la cantidad de la energía sino también de su disponibilidad total o calidad. Se desarrolla el balance másico, térmico, exergético, entrópico y termoeconómico de cada equipo y del sistema en las condiciones reales de operación; se determinan las pérdidas de calidad y cantidad de la energía, sus causas y los sobreconsumos de energía primaria (combustible o energía eléctrica) que provocan las mismas.

Diagnóstico de cuarto grado: En este diagnóstico se utilizan técnicas de simulación de procesos con la finalidad de estudiar no sólo las condiciones de operación nominales sino diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos. También el sistema de simulación en computadora permite el control periódico de todos los indicadores y su registro histórico con facilidad sin necesidad de contratar especialistas.

1.6.5. Determinación y operacionalización de variables

Durante el proceso de reinyección de agua de formación a bajas temperaturas; estas condiciones son logradas mediante la implementación de un grupo de areoenfriadores que garantizan que el agua a inyectar se encuentre a una temperatura cerca de 180°F. Mediante esta aplicación se ha notado una disminución de la energía utilizada en la inyección, siendo una propuesta viable a demostrar.

Por lo tanto, el uso del agua posterior a la baja de temperatura en la recuperación secundaria, permitirá disminuir los consumos de energía dl agua de reinyección en el yacimiento y así mejorar la producción del campo en función del tiempo.

Ajustada a la incidencia en el consumo energético de la implementación de aeroenfriadores en la recuperación, se han relacionado una serie de causas y efectos, mostrados en el esquema de la figura 1.5.

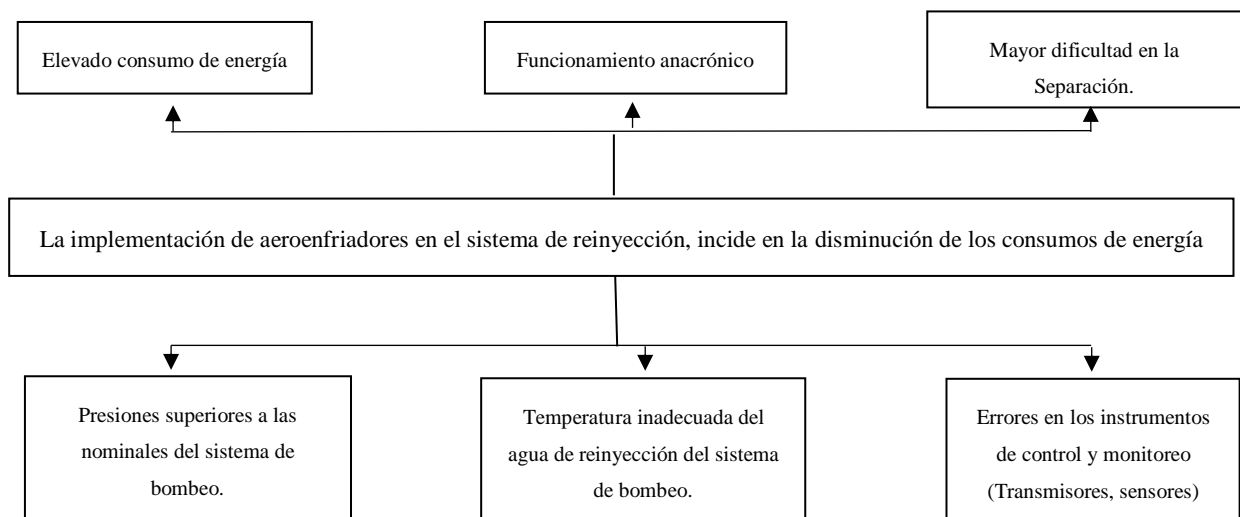


Figura 1.5. Matriz causa – efecto: árbol de problemas relacionado al proceso.

Causa de prioridad: Presiones superiores a las nominales del sistema de bombeo.

Efecto de prioridad: Elevado consumo de energía en los equipos de bombeo.

1.6.6. Matriz de operacionalización de variables

La operacionalización del proceso de inyección con aeroenfriadores inicia con la definición de las variables en función de los factores estrictamente medibles a los que se les llama indicadores. En función de estos indicadores se procede a realizar la definición operacional de la misma para identificar los indicadores que permitirán realizar su medición de forma empírica y cuantitativa, al igual que cualitativamente llegado el caso (tabla 2.1 y 2.2).

Tabla 1. 2. Variable Independiente: Consumo energético del sistema de reinyección de agua de formación.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Sistema de intercambio de calor diseñado para disminuir la emisión de vapores de agua de reinyección para mejorar el rendimiento de los equipos.	Portadores energéticos.	Cantidad de agua reinyectada	BWPD	Medición	Contador de flujo
		Consumo de energía eléctrica del motor	kW	Medición	Analizador de redes, Multilin 740
	Dimensiones de los Aeroenfriadores	Área de transferencia de calor	°C	Medición	Termocupla.
		Eficiencia del Aeroenfriador	%	Cálculos	Ecuaciones
	Energía utilizada	Potencia	kW	Medición	Fluke 435

Tabla 1. 3. Variable Dependiente: Eficiencia Energética.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la determinación de la cantidad de energía utilizada para reinyectar.	Pérdida de Calor	Temperatura	°C	Medición	Termocupla, termómetro
	Eficiencia mecánica	Trabajo mecánico	%	Cálculos	Ecuaciones
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

1.7. Conclusiones del capítulo 1

- En las literaturas científicas consultadas existe suficiente información para la evaluación del proceso de intercambio térmico entre dos fluidos a diferentes temperaturas. Sin embargo, en el caso del enfriamiento del agua de inyección es necesario considerar las características del fluido y sus particularidades dentro del proceso.
- En el análisis del comportamiento de la eficiencia y evaluación continua de los intercambiadores de calor se necesitan mediciones de los parámetros fundamentales que intervienen en el proceso de intercambio térmico. La pérdida de eficiencia, en intercambiadores de calor, está influenciada por la presencia de elementos incrustantes en el fluido que provoca variaciones en el coeficiente global.

CAPÍTULO 2: METODOLOGIA

En este capítulo se plantea como objetivo, definir los métodos y materiales adecuados para realizar la evaluación de los consumos de energía y análisis de eficiencia del proceso operativo de recuperación secundaria mediante la implementación de aerofriadores.

2.1 Enfoque, nivel y alcance de la investigación

El enfoque de la investigación está dirigido a los efectos en el consumo de energía de los equipos del sistema de reinyección de agua con la implementación de aerofriadores en el campo Villano “A”.

El paradigma utilizado para la investigación es el cuantitativo, porque mediante la implementación de 7 enfriadores a la salida de los tres separadores de crudo en el sistema de reinyección disminuimos la temperatura del agua en un rango que aspiramos a determinar, que nos permitirá mantener la temperatura del agua bajo el punto de ebullición del agua.

El comportamiento de los equipos como bombas centrífugas de inyección al tener un fluido en condiciones estándares la eficiencia de estos equipos son más óptimos lo que nos permite el ahorro en el consumo de energía, este enfoque que tenemos es cuantitativo.

El nivel de una investigación viene dado por el grado de profundidad y alcance que se pretende con la misma. De acuerdo a la naturaleza de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio que alcanza todos los niveles de investigación:

Exploratorio.- Pone al investigador en contacto con la realidad, observación preliminar del área, elementos y relaciones del objeto de estudio. Conocimiento superficial.

Descriptivo.- Conocimiento detallado de los rasgos externos del problema, se interesa por describir, no le preocupa explicar.

Correlacionado.- Permite identificar asociaciones entre variables y establecer relaciones estadísticas.

Explicativo.- Comprueba experimentalmente una hipótesis. Detecta los factores que determinan ciertos comportamientos. (Variables con otras variables)

El alcance de la investigación es correlacional porque permite relacionar dos o más variables utilizadas para evaluar la eficiencia del sistema de reinyección de agua de formación.

Métodos de Investigación

Método Inductivo.- Es un proceso donde estudian aspectos particulares para llegar a generalizaciones, utiliza mucho la observación y la experimentación.

Nos permitirá obtener una idea clara del proceso motivo de esta investigación, mediante la primera observación nos permitirá realizar un análisis y clasificación de los hechos, tratando de proponer una hipótesis para la solución de un problema.

Método deductivo.- Partiendo de leyes generales para obtener conclusiones particulares, implica destacar los hechos más importantes y las relaciones entre ellos.

Establecemos ecuaciones para demostrar que un principio o una ley en concreto son verdaderos, y para ello se parte de todas las verdades establecidas así como de las relaciones lógicas, las curvas de las bombas de inyección.

Método analítico-sintético.- Una relación entre el método deductivo y el sintético, el inductivo y el analítico, ya que en la inducción se analizan los acontecimientos y en la deducción se sintetizan integrando todos los hechos estudiados.

Identificamos los portadores de consumo de energía con una representación y análisis de la situación antes y previo a la implementación de los aeroenfriadores en las dos etapas, donde obtendremos la idea acerca del problema de investigación, que reforma en una propuesta concreta.

Método descriptivo.- Mantener un orden al ser presentados, los datos de manera comprensible en forma de tablas, gráficos para su análisis; esta metodología se utilizará durante la interpretación de todas las variables interrelacionadas.

Tipos de Investigación

Bibliográfica – documental.- El estudio sistemático de informes o escritos que se componen en fuentes de datos referenciales.

La investigación es bibliográfica documental porque acumula información de varios autores que se relacionan al tema, como; normas legales, conceptos de eficiencia energética, procesos y entre otros, recogen archivos que presentan datos históricos de los portadores para constituir parámetros de eficiencia, a partir de los niveles de consumo.

De campo.- Por que la información necesaria se la encuentra acudiendo al contacto directo con los sucesos y fenómenos que se encuentran en estudio.

El Sistema de Reinyección de agua de formación dentro de la plataforma de Villano A se constituirá en el medio de la investigación, entrando en contacto directo con la realidad energética, los datos son obtenidos cada cuatro horas.

Experimental.- Se interactúan variables independientes, a objeto de determinar el efecto que en las dependientes.

Se utiliza la herramienta de operacionalción de las variables permitiéndonos encontrar el efecto dentro de las variable dependiente.

Explicativo.- Predice lo que ocurrirá si se emplea una variable que produce modificaciones en condiciones actuales.

Está relacionada con la modalidad experimental, se comprobará o descartará la hipótesis planteada.

2.2 Características del sistema de reinyección

Las condiciones de los equipos del sistema de reinyección dan información acerca de cómo se va a comportar el sistema en función de ciertos parámetros. A partir de la toma de datos, nos permite llevar una estadística para elaboración de las curvas características para el sistema de reinyección, estableciendo la energía suministrada por las bombas, la potencia y el rendimiento, conociéndose si el sistema trabaja con eficiencia.

El Campo Villano perteneciente Bloque 10, está ubicado en el Sector Triunfo Nuevo al sur Oriente de Ecuador en la provincia de Pastaza, operada actualmente por Agip Oil Ecuador. El petróleo extraído es de (19,5 ° API) con su Central de Procesamiento a 44 km del campo, con el mínimo acceso para proteger el ambiente y las comunidades nativas del área.

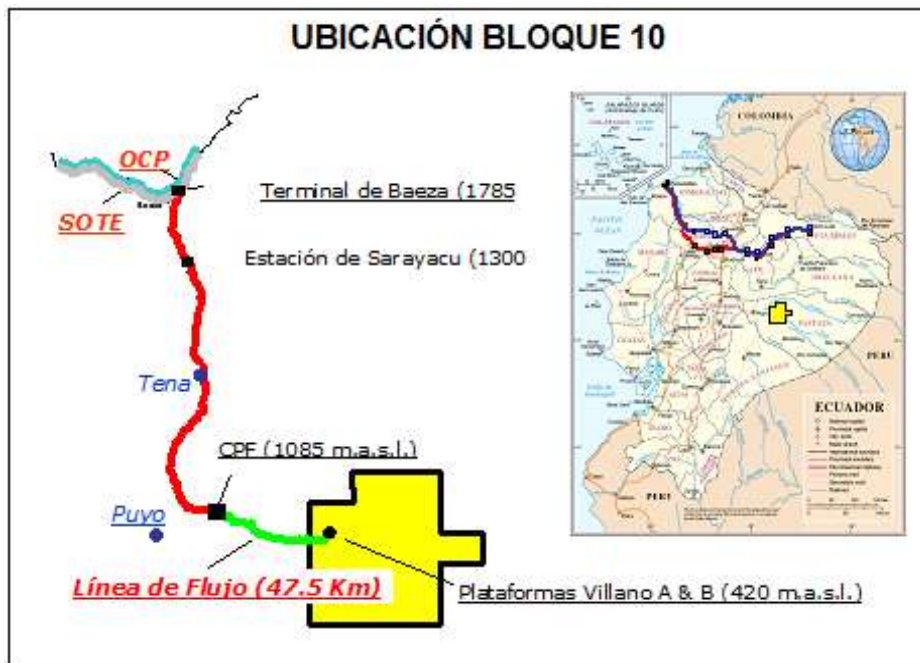


Figura 2. 1 Mapa de Ubicación de campo Villano. Fuente AOE (2016).

2.2.1 Datos técnicos de las bombas de inyección, booster y aeroenfriadores

En el sistema se cuenta con nueve bombas centrífugas de inyección, cuatro bombas booster, siete aeroenfriadores, instaladas con la finalidad de lograr la reinyección del agua a bajas temperaturas en el yacimiento. En las tablas 2.1, 2.2, 2.3, se muestran las características técnicas de las bombas y los aeroenfriadores.

Tabla 2. 1 Datos de la bomba de reinyección A/B/C/D/E/F/G/H/I. Fuente: AOE 2016

WATER INYECTION PUMPS	HP MOTOR POTENCIA NOMINAL	VOLTAJE	INYECCION BWPD	AMPERIOS	CONSUMO kW
WIP A	1.743	4.160	20.000	209,9	1.300
WIP B	1.743	4.160	20.000	209,9	1.300
WIP C	1.836	4.160	22.000	221,2	1.370
WIP D	1.836	4.160	22.000	221,2	1.370
WIP E	1.836	4.160	22.000	221,2	1.370
WIP F	900	4.000	10.000	113	671
WIP G	900	4.000	10.000	113	671
WIP H	2.000	4.160	20.000	241	1.492
WIP I	1.000	4.000	10.000	124	746

Tabla 2. 2 Datos de las bombas Booster A/B/C/D. Fuente: AOE 2016.

WATER BOOSTER	HP MOTOR	VOLTAJE	RATA BPD	AMPERIOS	CONSUMO kW
A	148	460	30171	167	110
B	148	460	30171	167	110
C	148	480	30171	161	110
D	148	480	30171	161	110

Tabla 2. 3 Datos de Aeroenfriadores. Fuente: AOE 2016.

AEROENFRIADORES	HP MOTOR POTENCIA NOMINAL	VOLTAJE	RATA BWPD	AMPERIOS	CONSUMO kW
1A	40	460	60.000	48,3	30
1B	40	460	60.000	48,3	30
1C	40	480	60.000	48,3	30
2A	40	480	60.000	48,3	30
2B	40	460	60.000	48,3	30
2C	75	460	60.000	89	56
2D	75	460	60.000	89	56

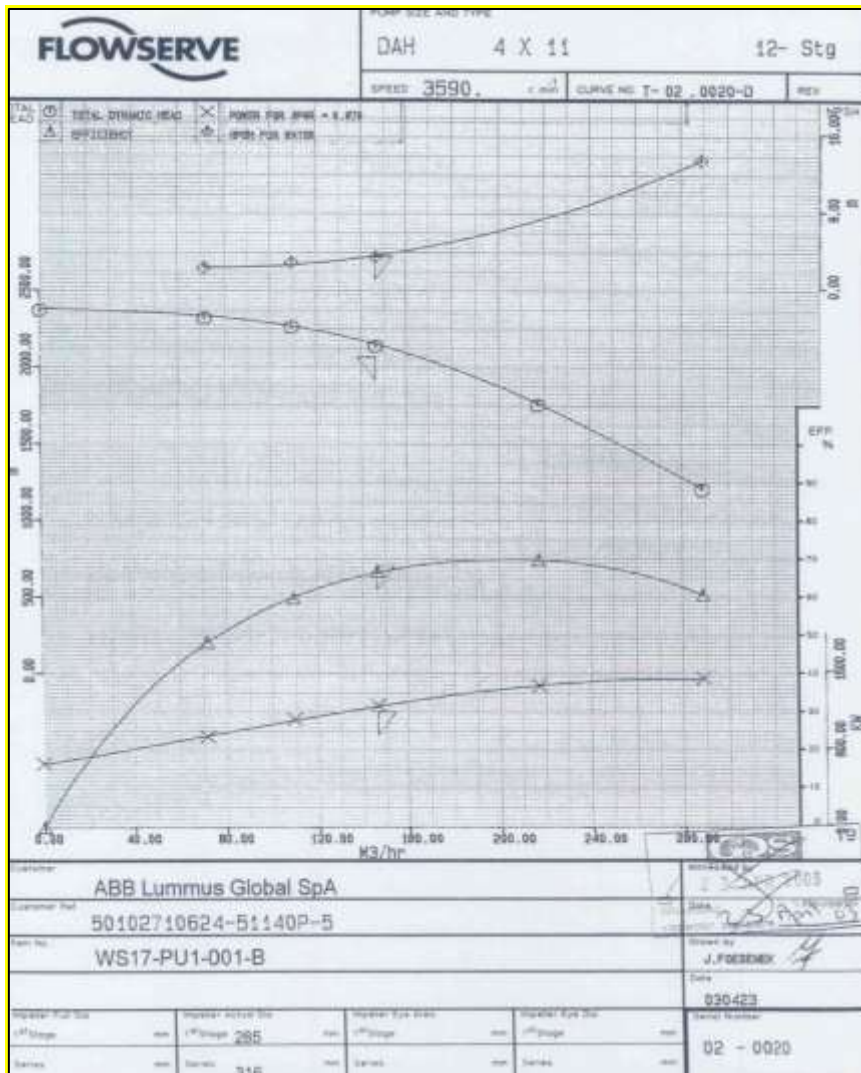


Figura 2. 2. Curva de Eficiencia de Bomba de Inyección A/B. Fuente: Flowserve.

El análisis adecuado y minucioso de la operación de estos equipos posibilitará llegar a la conclusión de cual de la combinación de operación es la más eficiente.

2.3. Curva característica del flujo de agua por el sistema de tuberías

Para flujo monofásico newtoniano en un conducto circular, el número de Reynolds está dado por:

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

Ecuación 2. 1. Número de Reynolds

Dónde: μ : Viscosidad dinámica del fluido; (Pa·s). D : Diámetro de la tubería; (m). v : Velocidad del fluido; (m/s). ρ : Densidad del fluido; (kg/m³).

En la verificación del sistema de flujo es necesario comprobar si las bombas entregan valores de presión, acorde a los elementos mecánicos que integran el sistema actual diseñado. Para ello es necesario realizar el cálculo hidráulico del sistema, en el que se tendrá en cuenta la velocidad, las pérdidas, la variación de la altura estática, entre otros aspectos. Para tubería de sección circular que estén completamente llenas, el total de las pérdidas de cargas (H_{sit}), puede calcularse según DARCY-WEISBACH como sigue:

$$H_{sit} = \Sigma h_{loc} + H_{roz} + H_{geo}$$

Ecuación 2. 2. Pérdidas de cargas

Dónde: Σh_{loc} : sumatoria de las perdidas locales por accesorios; (m). H_{roz} : pérdidas por rozamiento; (m). H_{geo} : variación de la altura estática (nivel del líquido a la salida de la bomba y entrada al tanque); (m).

Las pérdidas de presión por fricción a lo largo de una tubería de longitud L, en flujo multifásico está dado por:

$$\frac{\Delta P}{L} = \lambda_f \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot D}$$

Ecuación 2. 3. Pérdidas de presión por fricción

Donde: $\frac{\Delta P}{L}$: Pérdida de presión por fricción; [Pa/m]. λ_f : Coeficiente de fricción de fases; [adim.]. D : Diámetro interior de la tubería; [m]. ρ : Densidad de la mezcla [kg/m³]. v : Velocidad del fluido en el interior de la tubería; [m/s].

El factor de fricción de Darcy – Weisbach se recomienda determinar mediante la ecuación de Swamee & Jaim (Wojs, 1993).

$$\lambda_{ns} = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Ecuación 2. 4. Factor de fricción de Darcy – Weisbach

Dónde: k : Coeficiente de rugosidad de la tubería; (m). Coeficiente de rugosidad de la tubería se puede encontrar en la tabla 2.7.

Tabla 2. 4. Coeficientes de rugosidad aproximados de las tuberías. Fuente: (Streeter, 2000)

Características de las tuberías	k, mm
Acero	0,045 a 0,5
Fundición	0,26 a 1,0
Metal, muy vieja con incrustaciones	1,0 a 3,0

Para el cálculo de las pérdidas locales donde se tienen en cuenta los accesorios con que cuenta la instalación, se emplea la fórmula siguiente:

$$h_{loc} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación 2. 5. Pérdidas locales

Dónde: ξ : Coeficiente de resistencia local; [adim.].

En la tabla 2.8 se muestran diferentes valores según el accesorio.

Tabla 2. 5 Valores de los coeficientes de resistencias locales Fuente: (Streeter, 2000).

Accesorio	ξ
Codo de 90°	0,9
Codo de 45°	0,24
Coeficiente a la entrada	0,78
Coeficiente a la salida	1

2.3.1. Curvas características de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son las bombas que más se aplican en las industrias ya que estas se adaptan con facilidad a muchas circunstancias de trabajo, mundialmente constituyen el 80 % de la producción en comparación a la fabricación de bombas de desplazamiento positivo, pues son más adecuadas para manejar una cantidad mayor de líquido. En este tipo de mecanismos las características operativas son importantes para la selección y comportamiento activo para cubrir las necesidades de un proceso. Su relación de eficiencia se da cuando el líquido se aproxima al rodete a lo largo de su eje de rotación, a continuación se dirige al espacio entre los álabes y después de pasarlos sale por la hendidura entre los discos del rodete (Ramos, 1989). Su característica de trabajo se rige según la Figura 2.

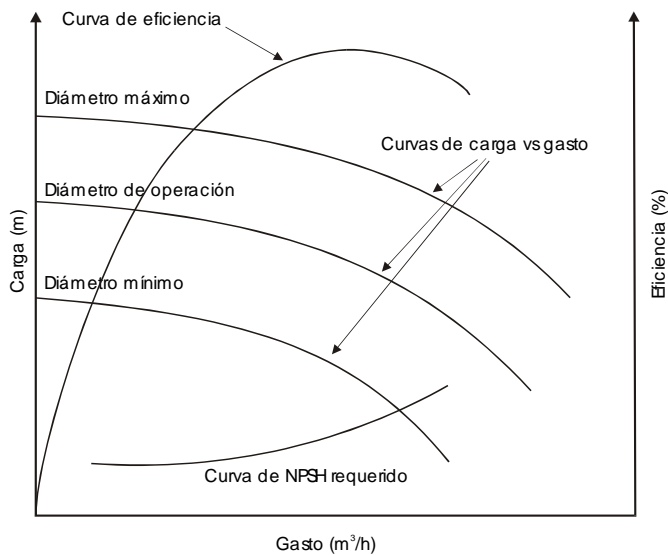


Figura 2. 3 Comportamiento de parámetros de trabajo de bombas centrífugas. Fuente: Ramos, (1989).

El acoplamiento de las bombas centrífugas puede llevarse a cabo de dos formas:

En paralelo: Cuando todas las descargas de las bombas desembocan en una misma descarga. En este caso la altura manométrica de elevación es la misma y el caudal es la suma de los caudales de cada bomba (Figura 2.4).

En serie: La descarga de una bomba constituye la succión de la siguiente. Todas las bombas bombean el mismo caudal, en tanto que la altura manométrica final es la suma de todas las alturas (Figura 2.5).

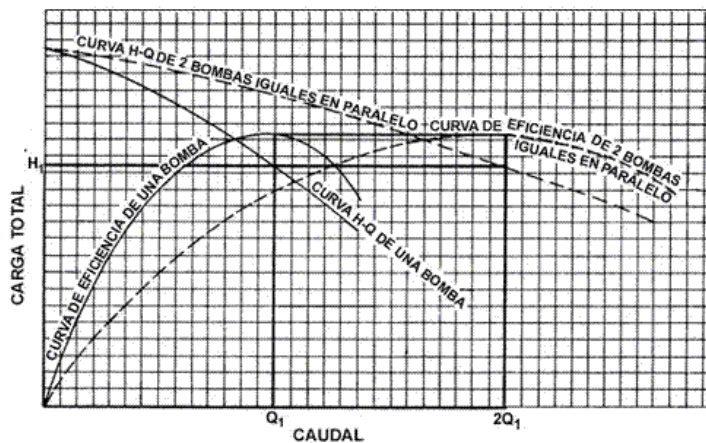


Figura 2. 4 Esquema de 2 bombas en paralelo. Fuente: Ramos, (1989).

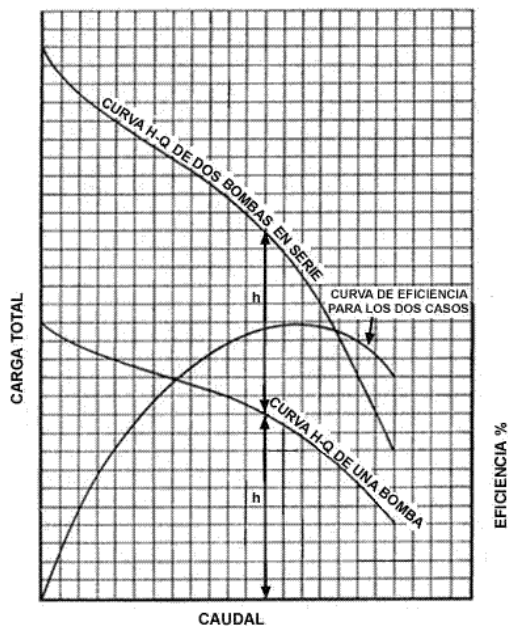


Figura 2. 5 Esquema de 2 bombas en serie. Fuente: Ramos, (1989).

2.4. Evaluación de parámetros de los aeroenfriadores para la inyección de agua

En principio térmico, el aeroenfriador en una máquina térmica capaz extraer calor de un fluido mediante el paso de aire a menor temperatura, a costa de convertir trabajo mecánico del ventilador en energía térmica extraída del fluido. Una cantidad de energía térmica es extraída por el equipo y el resto continúa en el paso del foco térmico caliente, donde el trabajo mecánico y la relación de esta energía térmica extraída determinan el rendimiento térmico, este viene determinado por la relación entre el flujo de calor extraído por la máquina desde el foco caliente (agua) y la potencia del ventilador, por lo tanto, no podrá existir ningún aeroenfriador capaz de producir un rendimiento superior al de la máquina de Carnot entre los mismos focos térmicos, siendo este rendimiento el valor teórico máximo del aeroenfriador que opera entre estas dos temperaturas, donde:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_{aire}}{T_{agua}}$$

Ecuación 2. 6. Rendimiento del valor teórico máximo del aeroenfriador

Dónde: T_f : Temperatura inicial del aire; [K]. T_c : Temperatura inicial del agua; [K].

El trabajo de enfriamiento mediante el paso del aire a más baja temperatura, es generado por el sistema de ventilación de tiro forzado. Durante su operación, el aeroenfriador elimina una cantidad de energía térmica q_c del agua a inyectar, en función de la potencia de trabajo del ventilador. El coeficiente de realización del aeroenfriador se define mediante la siguiente relación.

$$CDR_{AE} = \frac{q_{agua}}{N_v}$$

Ecuación 2. 7. Coeficiente de realización

Dónde: N_v : Potencia del ventilador; [W]. q_{agua} : Flujo de calor extraído del agua ; [W].

El flujo de calor extraído del agua del agua a inyectar se determina por en función de la capacidad calorífica del agua, la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida, y el flujo másico del agua enfriada, definidos por:

$$q_{agua} = \dot{m}_{agua} \cdot c_{p,agua} \cdot (\Delta T_{agua})$$

Ecuación 2. 8. Flujo de calor extraído del agua del agua a inyectar

Donde: \dot{m}_{agua} : flujo másico de agua; [kg/s]. $c_{p,agua}$: Capacidad calorífica del agua; [J/kg.K].

ΔT_{agua} : Diferencia de temperatura del agua; [K].

El flujo adecuado de aire para lograr la temperatura deseada del aire, se puede obtener para un rendimiento máximo, determinado por la ecuación 2.17, en función del calor a extraer del agua, para lo cual se igualan los calores y fijándose diferentes valores de temperatura, tanto del agua como del aire. El calor a extraer por el aire se determinará por la siguiente ecuación:

$$q_{aire} = \dot{m}_{aire} \cdot c_{p,aire} \cdot (\Delta T_{aire})$$

Ecuación 2. 9. Calor a extraer por el aire

Dónde: \dot{m}_{aire} : flujo másico de agua; [kg/s]. $c_{p,aire}$: Capacidad calorífica del agua; [J/kg.K].

ΔT_{aire} : Diferencia de temperatura del agua; [K].

Para el cálculo del intercambio de calor del aire, la capacidad calorífica puede ser determinada a través de la ecuación empírica reportada por Montero (2005).

$$c_{p,aire} = 999,2 + 0,1434 \cdot T_{aire} + 1,101 \cdot 10^{-4} \cdot T_{aire}^2 - 6,7581 \cdot 10^{-8} \cdot T_{aire}^3$$

Ecuación 2. 10. Cálculo del intercambio de calor del aire

Siendo: T_{aire} – temperatura del aire; (°C).

2.4.1. Pérdidas locales del aerofriador.

En la evaluación hidrodinámica del aerofriador es necesario determinar las pérdidas de presión por resistencias locales, donde se utiliza fundamentalmente la expresión:

$$\Delta p_{loc} = \xi_{loc} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{Q}{A} \right)^2$$

Ecuación 2. 11. Pérdidas de presión por resistencias locales

Siendo: ξ_{loc} : coeficiente de fricción de pérdidas locales; (adimensional). A : Área hidrodinámica del aerofriador; (m²).

En función del flujo másico, la expresión 2.11 queda de la siguiente manera:

$$\Delta p_{loc} = \xi_{loc} \cdot \frac{1}{2 \cdot \rho} \cdot \left(\frac{m}{A} \right)^2$$

Ecuación 2. 12. Pérdidas de presión por resistencias locales

Conocidas las caídas de presiones, se puede determinar el coeficiente de pérdida local del aerofriador. El mismo se puede encontrar como una función del número de Reynolds.

2.5. Determinación de parámetros de costos para bombeo y ventilación

Para un sistema de flujo, es importante considerar la configuración del sistema de inyección. El análisis de los costos de operación del sistema conduce a la determinación de los parámetros racionales de operación. El costo de flujo en que se incurre al transportar el fluido se expresa mediante la siguiente ecuación (Laurencio, 2012)

$$C_{bom} = \frac{t_{el} \cdot t_t}{\eta_m \cdot \eta_b \cdot L} \cdot N_h \cdot 10^{-3}$$

Ecuación 2. 13. Costo de flujo de la instalación

Dónde: C_{bom} : Costo de flujo de la instalación; (\$/m·año). N_h : Potencia de flujo; (W).

t_{el} : Tarifa eléctrica; (\$/ kW·h). t_t : Tiempo de trabajo del equipo; (h/año). η_b : Rendimiento de la máquina de flujo; (adim). η_m : Rendimiento del motor eléctrico; (adim).

Para cualquier fluido, la potencia necesaria para su transporte por una tubería será:

$$Nh = Q \cdot H_{red} \cdot \rho_m \cdot g$$

Ecuación 2. 14. Potencia necesaria para transporte

2.6. Determinación de la rentabilidad financiera

El estudio de factibilidad técnica es la base para otras formas de evaluación. Los expertos técnicos deberán mostrar que el proyecto puede lograr sus objetivos mediante el uso de una tecnología y normas técnicas que son apropiadas a las circunstancias del país en el cual el proyecto estará localizado (Pocohuanca, 2012)

2.6.1. Periodo simple de recuperación

Este método consiste en determinar el tiempo simple (meses, años, etc.) que tarda un inversionista para recuperar el capital invertido, ya sea por los ingresos que produce el proyecto o por los beneficios resultantes de aplicar alguna medida de ahorro de energía (ahorros en la facturación eléctrica). El número de meses o años en que se amortiza la inversión que requiere la aplicación de la medida recibe el nombre de período simple de recuperación.

Se consideran todos los costos en términos nominales y no se considera el valor del dinero en el tiempo. El criterio de aceptación del proyecto lo establece el inversionista definiendo el período máximo en que debe de recuperarse la inversión. El período simple de recuperación se calcula como:

$$\text{Periodo de Recuperación} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros Anuales}}$$

Ecuación 2. 15. Período simple de recuperación

2.6.2. Valor presente neto (VPN)

Consiste en traer a valor presente todos los componentes del flujo de efectivo, mediante una tasa de interés, durante el período de análisis de un proyecto dado; la tasa de actualización debe ser superior al costo de capital, a fin de satisfacer el interés del inversionista.

El VPN representa la magnitud absoluta en que los ingresos equivalentes de un flujo de efectivo superan o son superados por los egresos equivalentes de dicho flujo. Es decir, si el valor presente neto del flujo de efectivo es positivo, significa que los ingresos son mayores que los costos y que el rendimiento que se espera obtener del proyecto que demandó la inversión es mayor que el rendimiento mínimo establecido por la empresa o el inversionista. En tal caso el proyecto es factible de llevarse a cabo.

Para usar esta técnica en la evaluación, los ingresos o beneficios deben definirse como flujos positivos de dinero y los egresos o desembolsos como flujos negativos.

$$VP_{\text{beneficios}} = \sum_{i=0}^n \frac{\text{Valores}_i}{(1 + \text{tasa})^i}$$

Ecuación 2. 16. Valor presente

$$VPN = VP_{\text{beneficios}} - VP_{\text{egresos}}$$

Ecuación 2. 17. Valor Presente Neto

Donde:

n : número de intervalos de tiempo sobre los cuales se analiza la inversión. Su valor puede estar definido por el tiempo de vida del equipo (vida útil).

Valores: representan los flujos de efectivo (beneficios por años).

tasa : tasa de actualización establecida por el inversionista.

2.6.3. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado. Se define como la tasa de interés “i” que reduce a cero el valor presente del flujo de efectivo, es decir, de una serie de ingresos y egresos.

Por lo general, este cálculo se hace por un método de aproximaciones. Se suponen dos o tres tasas de interés, se calculan los valores presentes o flujos de efectivo anuales uniformes equivalentes y se encuentra la tasa de rendimiento por interpolación. A continuación se muestran estos pasos con mayor detalle:

La tasa de retorno se determina de manera iterativa. Se propone una tasa de interés y se determina el VPN del flujo de efectivo del proyecto. Si el resultado del valor presente es positivo, $VPN(Tasa\ 1) > 0$, entonces se proponen otras tasas de interés hasta obtener un VPN negativo, es decir, $VPN(Tasa\ 2) < 0$.

En caso de que el resultado del VPN sea negativo con la primera tasa de interés propuesta ($VPN(Tasa\ 1) < 0$), entonces se procede de manera inversa.

Finalmente, la TIR se determina mediante interpolaciones entre los VPN resultantes para cada tasa de interés propuesta para un $VPN = 0$.

$$TIR = Tasa_1 - \left\{ \left(\frac{VPN_1}{VPN_1 - VPN_2} \right) \cdot (Tasa_1 - Tasa_2) \right\}$$

Ecuación 2. 18. Tasa Interna de Retorno





Para que la inversión sea rentable se debe tener una tasa de rendimiento o tasa interna de retorno (TIR) mayor que la tasa de descuento propuesta por el inversionista (TREMA).

Es evidente que la TIR no se puede calcular si se tiene un proyecto de inversión con un flujo de efectivo formado en su totalidad por costos, o bien, por ingresos.

2.7. Descripción de los instrumentos y equipos empleados

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron las mediciones de los parámetros necesarios para la caracterización de agua, tanto la de formación como la del pozo. Los parámetros medidos, así como los instrumentos de medición y sus respectivas características técnicas se exponen en la tabla 2.9.

Tabla 2. 1 Equipos utilizados en los ensayos físico-químicos del agua de reinyección.
Fuente: AOE

EQUIPO	MARCA	MODELO	DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
Bomba de Aspiración	GASTEC	GV-100	Se utiliza para medir el H ₂ S y CO ₂ en gas.	
Titulador	Hach	1690001	Se utiliza para determinar salinidad, dureza total y cálcica, alcalinidad, contenido de CO ₂ en agua	
MULTIMETER	Hach	Sension 156	Se utiliza para medir el pH y conductividad del agua	
Espectrofotómetro	Hach	DR2800	Se utiliza para determinar contenido de hierros, sulfatos, residual de fosfonatos	

En la tabla 2.9 se muestran los instrumentos utilizados para tomar las mediciones de las variables que constituyen objeto de estudio en este trabajo con sus respectivas características técnicas y aplicación.

2.8. Sistema de adquisición de datos del proceso de inyección

Las instalaciones están concedidas de equipos y accesorios que permiten mayor calidad en el registro y control de las variables y su procesamiento posterior, mediante el programa de adquisición de datos Intouch 9.0 (figura 2.7).

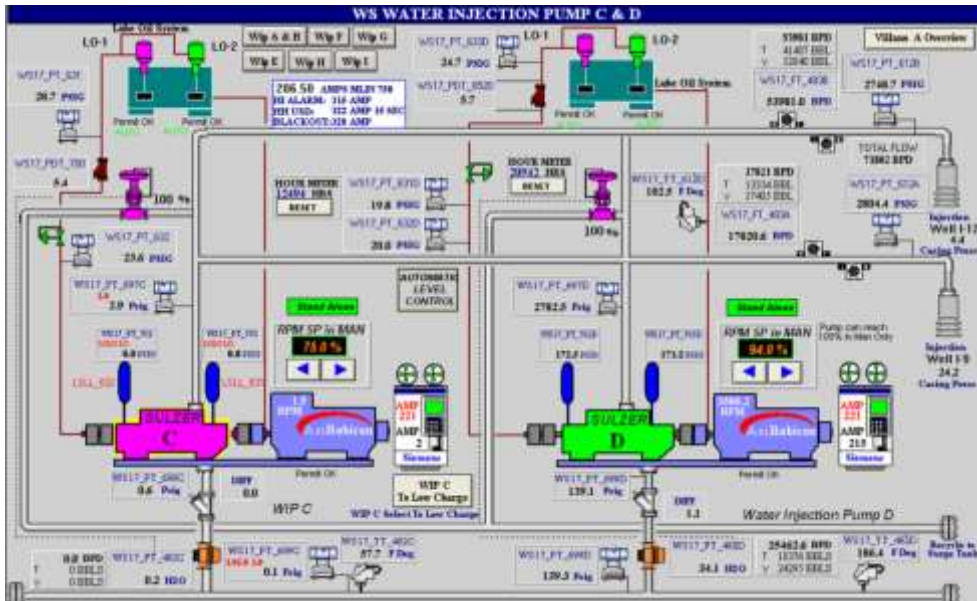


Figura 2. 2 Sistema de adquisición de datos. Fuente: AOE.

El sistema facilita visualizar y almacenar la información pertinente del proceso de inyección, lo que viabiliza la toma de decisiones en el proceso y así poder aplicar criterios de operación adecuados de eficiencia.

Disponemos de reportes diarios del área de Generación de amperaje, energía consumida y consumo de crudo en el Anexo # 1 y 2.

Los Operadores de Producción registran datos cada cuatro horas diariamente de todas las variables en archivos Excel existentes: datos de cada una de las bombas inyección como; como la potencia y el amperaje en el Anexo # 3, temperatura del agua al ingreso y salida de los aerofriadores Anexo # 4, flujo volumétrico de inyección en cada uno de los pozos, presión en la cabeza de los pozos en el Anexo # 6 presión en la succión, en la descarga como se apreciamos en el Anexo # 7 y 8.

Donde desarrollaremos en base a los datos obtenidos estadísticas de consumo en función de las diferentes variables como por ejemplo la temperatura del agua de inyección, consumo energético, producción de crudo, Gross, etc.

2.9. Herramienta de Pareto como tecnología de gestión energética

El Análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores según su contribución a un determinado efecto. El objetivo de esta comparación es

clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: Las "Pocas Vitales" (los elementos muy importantes en su contribución) y los "Muchos Triviales" (los elementos poco importantes en ella).

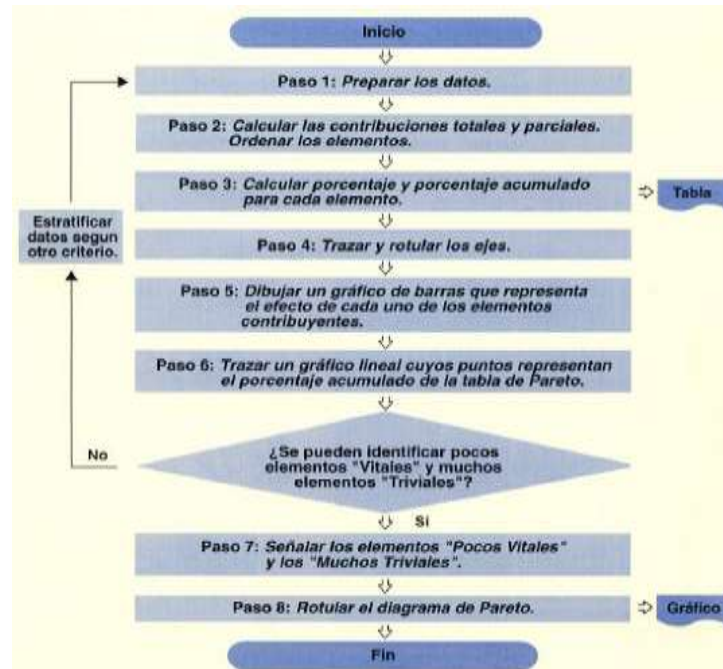


Figura 2. 3 Diagrama para la aplicación del análisis de Pareto. Fuente: Pareto

Para la construcción de un Diagrama de Pareto son necesarios:

- a) Un efecto cuantificado y medible sobre el que se quiere priorizar (Costes, tiempo).
- b) Una lista completa de elementos o factores que contribuyen a dicho efecto.

Es importante identificar todos los posibles elementos de contribución al efecto antes de empezar la recogida de datos. Esta condición evitará que, al final del análisis, la categoría "Varios" resulte ser una de las incluidas en los "Pocos Vitales".

- c) La magnitud de la contribución de cada elemento o factor al efecto total.

Estos datos, bien existan o bien haya que recogerlos, deberán ser:

-Objetivos: basados en hechos, no en opiniones.

-Consistentes: debe utilizarse la misma medida para todos los elementos contribuyentes y los mismos supuestos y cálculos a lo largo del estudio, ya que el Análisis de Pareto es un análisis de comparación.

-Representativos: deben reflejar toda la variedad de hechos que se producen en la realidad.

-Verosímiles: evitar cálculos o suposiciones controvertidas, ya que buscamos un soporte para la toma de decisiones, si no se cree en los datos, no apoyarán las decisiones.

El objetivo del Análisis de Pareto es utilizar los hechos para identificar la máxima concentración de potencial del efecto en estudio (Magnitud del problema, costes, tiempo, etc) en el número mínimo de elementos que a él contribuyen. Con este análisis enfocamos nuestro esfuerzo en las contribuciones más importantes, con objeto de optimizar el beneficio obtenido del mismo.

2.10. Conclusiones del capítulo 2

- Se establecieron los procedimientos de cálculo para efectuar el diagnóstico del sistema de inyección de agua de formación.
- Las ecuaciones definen el uso de los parámetros de inyección en el Sistema, en función del consumo de energía.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROCES

3.1. Caracterización del agua de utilizada en la inyección

Mediante un diagnóstico que describa el comportamiento de los consumos energéticos en el proceso de inyección y el análisis de gráficos especializados y esquemas, permitirán el control de operación para uso adecuado de la energía; de este modo se logra determinar el consumo mínimo necesario de energía para lograr resultados satisfactorios aplicando técnicas de gestión total de la eficiencia energética.

En este capítulo se plantea como objetivo realizar la evaluación crítica de los resultados que relaciona la efectividad del proceso de inyección de agua con la implementación de Aeroenfriadores al sistema de Reinyección de Agua.

Los yacimientos de petróleo y gas tienen capas con agua natural (agua de formación) que reposa debajo de los hidrocarburos. Los yacimientos petrolíferos contienen generalmente grandes cantidades de agua. Para lograr una máxima recuperación de petróleo en los pozos, se inyecta agua de formación adicional dentro del yacimiento, que obliga al petróleo a salir a la superficie. Estas dos aguas, la producida y la inyectada, acaban saliendo a la superficie junto con el petróleo y a medida que el pozo de petróleo se empobrece, la proporción de agua producida con el petróleo aumenta (Fasler, 2016).

En superficie el tratamiento del agua de inyección cumplirá un factor importante dentro del comportamiento energético, por que dependerá de su buena condición para su aplicación. Con un control diario a su comportamiento garantizamos su calidad, la inyección de químicos durante el tratamiento será una condición que va a la mano con la condición del agua de inyección.

El agua de formación en el campo Villano presenta las siguientes características físico-químicas, expuestas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Análisis físico químico del agua de formación Villano A. Fuente AOE

Parámetros	Unidad	Inyección	Ingreso Villano B 12 in	Ingreso Villano B 6 in	Salida hacia CPF
pH	U	7	7	7	7
Conductividad	μS/cm	1,061	1,121	1,144	1,124
TDS	mg/L	679	717	732	719
Alcalinidad	mg/l HCO ₃	180	180	180	200
Cloruro Sódico	mg/l ClNa	627	660	644	743
Dureza Cálcica	mg/L CO ₃ Ca	140	140	110	120
D. Magnésica	mg/L CO ₃ Ca	40	40	60	60
Dureza total	mg/L CO ₃ Ca	180	180	170	180
Hierro	mg/L Fe ⁺⁺	0,69	0,61	0,62	0,63
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻⁻	8	8	9	5
H ₂ S gas	ppm H ₂ S	80	100	60	110
Densidad Específica	g/cc	0,9998			
CO ₂ gas	% v CO ₂	2	2	2	4

Al sistema de reinyección de agua de formación, pasará por un sistema de tratamiento diseñado exclusivamente para mejorar su calidad donde constaría:

- Clarificadores (separa el residual de crudo en el agua de inyección).
- Demulsificantes (impide la corrosión en los equipos y líneas de flujo).
- Antiescalas (controla, evita precipitaciones y depósitos sólidos).
- Biocida (previene la trasmisión de bacterias presentes en el agua de inyección).

3.2. Distribución de carga y consumo de energía en el campo Villano A

El Sistema de Gestión Energética está dirigido a reducir el consumo de portadores energéticos que se usan para la obtención del producto final o en todo el proceso productivo. En este caso particular se trata de la producción de electricidad, de vital importancia para el desarrollo eficiente de la producción.

En mayor consumo energético reportado en la empresa desde su creación, ha sido la electricidad, planteándose como el primer portador de consumo de toda la empresa. Sobre

este portador es el que más se tiene vigilancia en cuanto a la operatividad de la planta, por la su extensión de su procedencia y el costo de generación. Su demanda se hace igualmente por índices de consumos y nivel de actividad, acorde a la producción que se vaya a realizar; se trata de una producción cíclica.

Se debe buscar cuales son los factores responsables de la mayor parte de consumo de energía, donde se dará prioridad a estos según la información proporcionada, en busca de mejorar la calidad y disminuir los consumos de energía. La tabla 3.2 recoge la estructura de la potencia instalada en el campo Villano para el periodo 2012 - 2013.

Tabla 3.2 Distribución de cargas en el periodo 2012-2013; campo Villano. Fuente AOE

Equipos	Potencia (MW)	Fracción del total (%)	Acumulado %
WATER INYECTION PUMPS	10,29	42,749	42,75
WELLS	8,083	33,58	76,33
FLOW LINE PUMPS	3,32	13,793	90,12
OIL BOOSTER PUMPS	0,9	3,739	93,86
WATER BOOSTER PUMP	0,589	2,447	96,31
AREO ENFRIADORES 001-A/B/C 002-A/B/C/D	0,261	1,084	97,39
TRANSFER PUMPS	0,224	0,931	98,32
SYSTEMA CONTRA INCENDIOS	0,149	0,619	98,94
COMPRESORES DE AIRE	0,075	0,312	99,25
BOMBAS DE TRASVASE DE AGUA OIL TANK	0,037	0,154	99,41
API OIL SUMP	0,022	0,091	99,5
BOMBAS DE AREACION	0,015	0,062	99,56
BOMBA DE AGUA DE UTILIDADES	0,012	0,05	99,61
BOMBAS DE BLOW DOWN	0,012	0,05	99,66
COOLING SYSTEM	0,08	0,332	99,99
SCRUBER DE GAS	0,002	0,008	100
Total	24,071	100	

Mediante los resultados que se recogen en la tabla 3.1, se procede al análisis gráfico de la distribución de carga asociada a la potencia instalada por equipos.

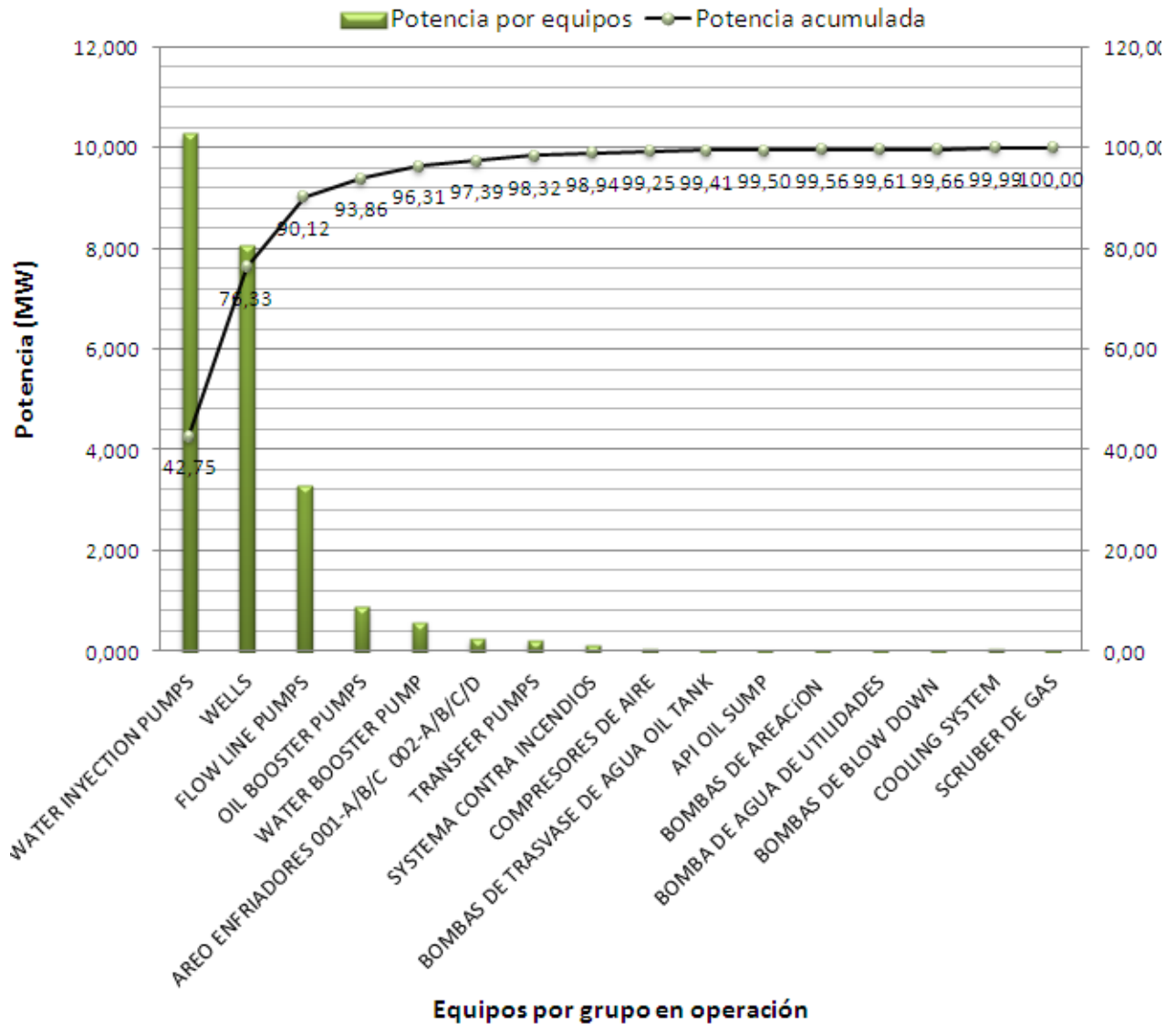


Figura 3. 1. Fracción por potencia periodo 2012.

Mediante el análisis de los resultados indicados en la figura 3.1, se realiza la comparación cuantitativa y ordenada de los equipos según la potencia. Se demuestra en que las bombas de agua clasifican entre los elementos importantes en el análisis de contribución a la eficiencia energética.

Se encuentra en la priorización de los equipos, en primera instancia, que las bombas de agua para reinyección componen el 42,75 % de la potencia total, superando el segundo grupo (*WELLS*) con el 9,2 %, seguidos por las bombas de las líneas de flujo, las que ocupan el 13,8 %, identificados estos tres portadores vitales, ocupando 17,75 % de los equipos que

consumen el 90,12 % de la energía total del campo Villano, según la aplicación del criterio de Pareto.

Desde la puesta en operación del sistema de reinyección con la aplicación de aerofriadores el consumo de energía ha mantenido una tendencia estable, para la potencia total instalada de 24,07 MW.

Dentro de los índices de consumo definidos por la entidad se encuentran el índice de consumo de combustible y el índice de consumo eléctrico como los de mayor incidencia en los costos de producción. El índice de consumo eléctrico refleja el por ciento de la energía eléctrica producida que se consume por los equipos propios utilizados en la producción. Para el año 2012, donde no se tenía en cuenta el enfriamiento del agua de inyección, este estaba relacionado según los resultados indicados en la figura 3.2.

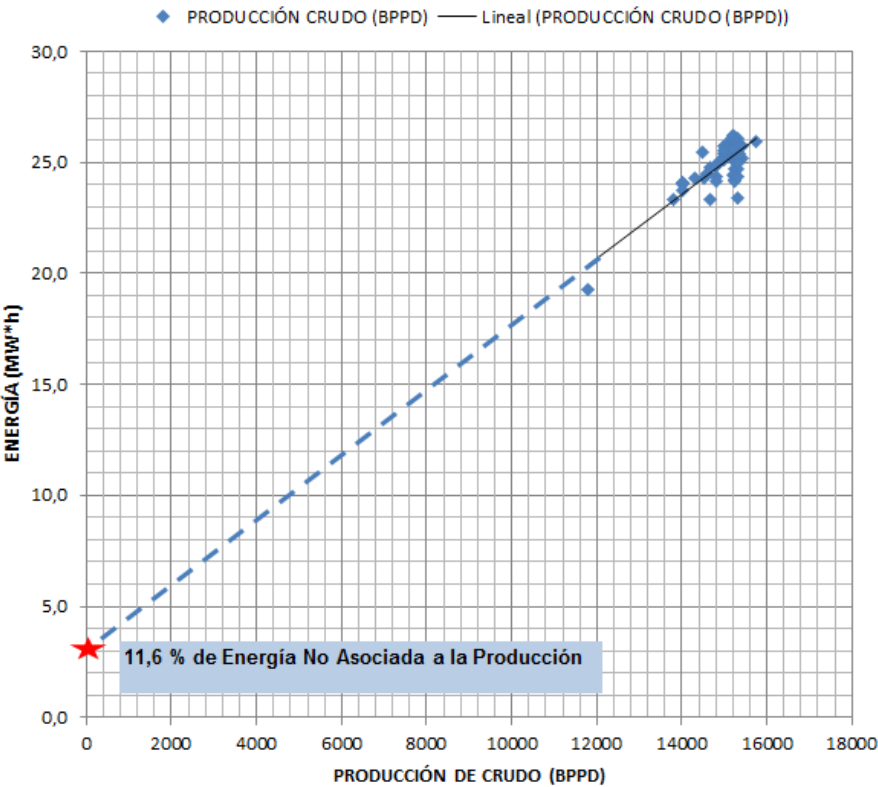


Figura 3. 2 Relación del consumo energético del proceso de inyección durante el año 2012-2013

De este resultados se obtiene el modelo que relaciona las dos variables antes mencionadas. Para este caso se demuestra que la energía no asociada a la producción es del 11,6 %.

$$E = 0,0015 \cdot PR + 3. . . \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Dónde:

E: Energía consumida en el proceso; (MW·h).

PR: producción de crudo por recuperación; (barriles/días).

En la figura 3.3 se muestra el gráfico de variabilidad de consumo eléctrico comparándose su tendencia antes del enfriamiento de agua y después. Se observa que el comportamiento a disminuir el consumo en función de la disminución de la temperatura del agua.

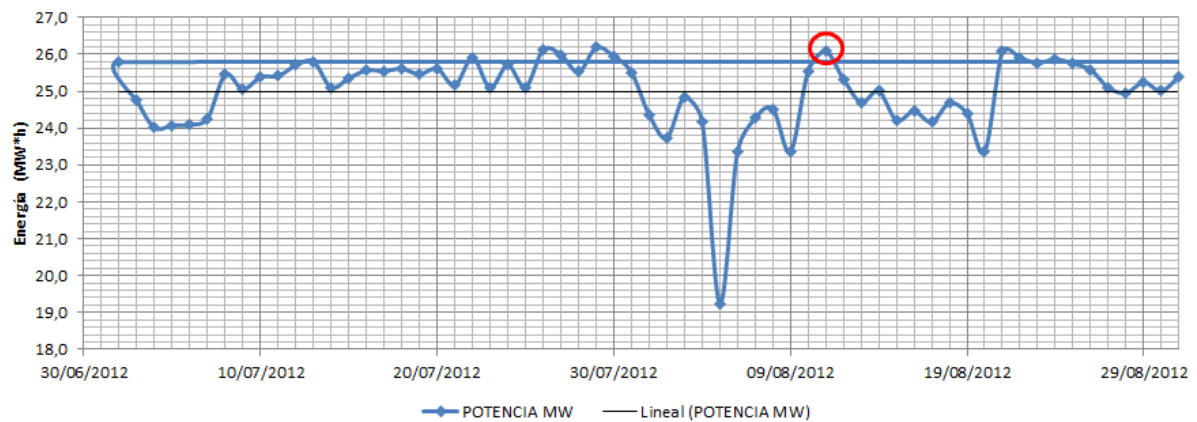


Figura 3. 3 Variabilidad del consumo energético del proceso.

Como se puede apreciar, por lo general, el consumo de energía eléctrica real está estrechamente relacionado con la temperatura del agua, a menor temperatura, menos consumo energético, asociado con el fracturamiento térmico del reservorio por bajas temperaturas; lo que indica una constante vigilancia de este parámetro por parte de la empresa. Pronto este consumo aumenta debido al aumento de la producción.

Luego del enfriamiento del agua de inyección se muestra que la energía no asociada a la producción se encuentra en el 10,5 %, demostrándose la mejora en cuanto a eficiencia energética del proceso de recuperación, según se muestra en la figura 3.4.

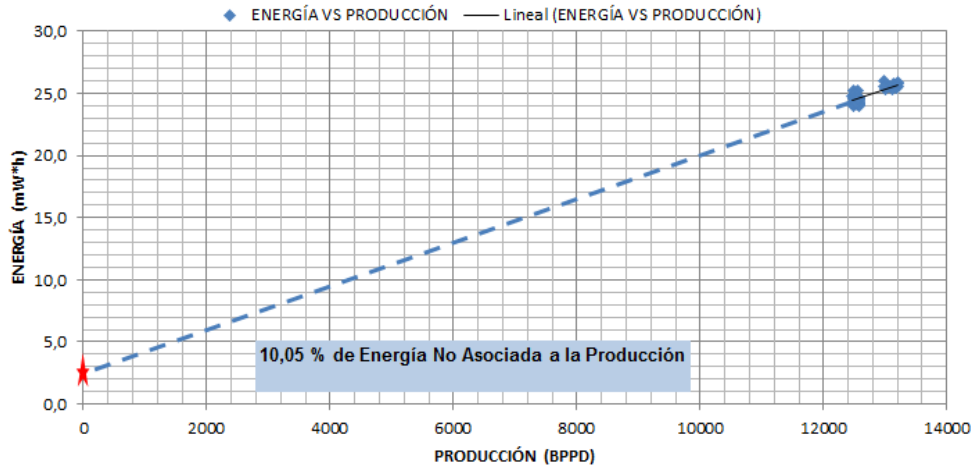


Figura 3. 4 Relación del consumo energético del proceso de inyección durante el año 2013.

Mediante este resultado se obtiene la ecuación ajustada del consumo energético en función de la producción ya aplicándose el enfriamiento del agua de inyección.

$$E = 0,0017 \cdot PR + 2,6 \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

3.3. Incidencia de la temperatura del agua de reinyección en los pozos inyectoros con la implementación de Aeroenfriadores en los años 2012 y 2013

En la primera etapa de implementación del primer tren de enfriamiento del agua de inyección se desprende los siguientes datos: Con la caída de temperatura de 20°F aproximadamente, de 210°F a 190°F, incrementó la inyección cerca de 23 800 BWPD esto en el mes de Agosto del 2012 en comparación con las condiciones operativas previas de cómo se venía manteniendo, incluso se aprecia el cierre del Pozo I-2; como apreciamos en la figura 3.5.

Tabla 3. 3 Valores de agua de reinyección disponibles del año 2012

No	Pozos	Flujo de agua	Unidad
1	I-12	12 800	Barriles/Días
2	I-9	8 000	Barriles/Días
3	I-21	3 000	Barriles/Días
4	Total	23 8000	Barriles/Días

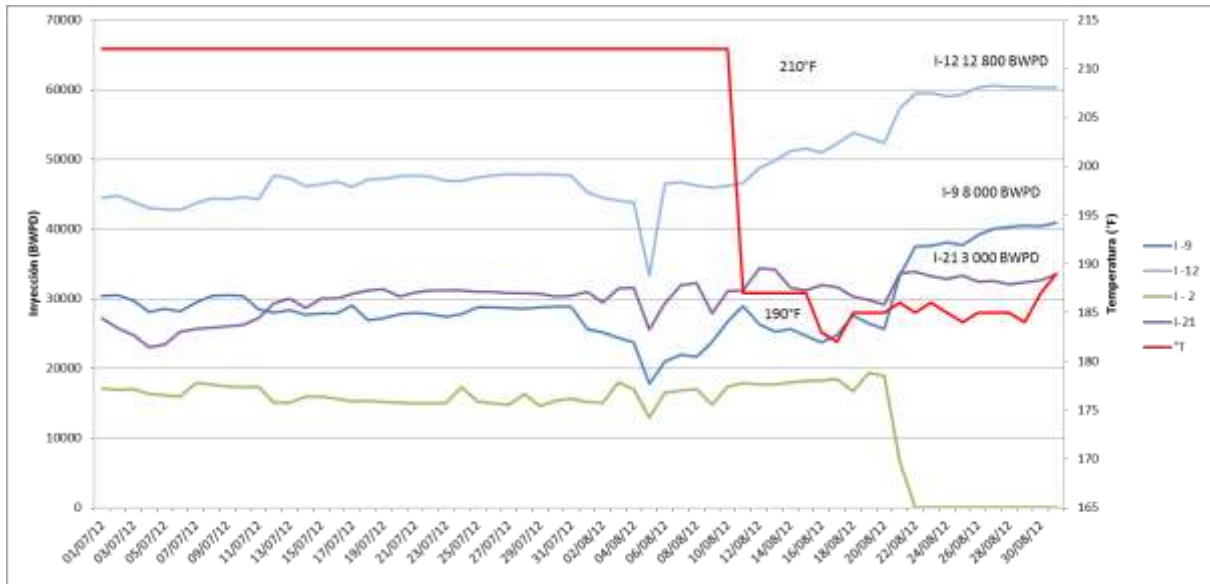


Figura 3. 5 Incremento de la capacidad de Inyección en los pozos de reinyección 2012

Con la implementación del segundo tren de enfriamiento se logra una disminución de temperatura de 10°F de 190°F a 180°F que fue efectuada en el mes de diciembre del 2013 donde se segregan los siguientes datos: incrementó la inyección cerca de 12 500 BWPD.

Tabla 3. 4 Valores de agua de reinyección disponibles en el año 2013.

No	Pozos	Flujo de agua	Unidad
1	I-12	5 000	Barriles/Días
2	I-9	3 000	Barriles/Días
3	I-21	4 500	Barriles/Días
4	Total	12 500	Barriles/Días



Figura 3. 6 Incremento de la capacidad de Inyección en los pozos de reinyección 2013

3.4. Análisis del comportamiento de presión en la cabeza de los pozos inyectoros de los años 2012 y 2013.

Con la caída de temperatura de 20°F aproximadamente se redujo la presión de inyección en la cabeza de los Pozos Inyectoros, esto en el mes de Agosto del 2012. Como apreciamos en la tabla 3.3.3 y en el gráfico 3.3.3

Tabla 3. 5 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectoros en el año 2012.

No	Pozos	Presión del Pozo	Unidad
1	I-12	211	PSI
2	I-9	366	PSI
3	I-21	474	PSI

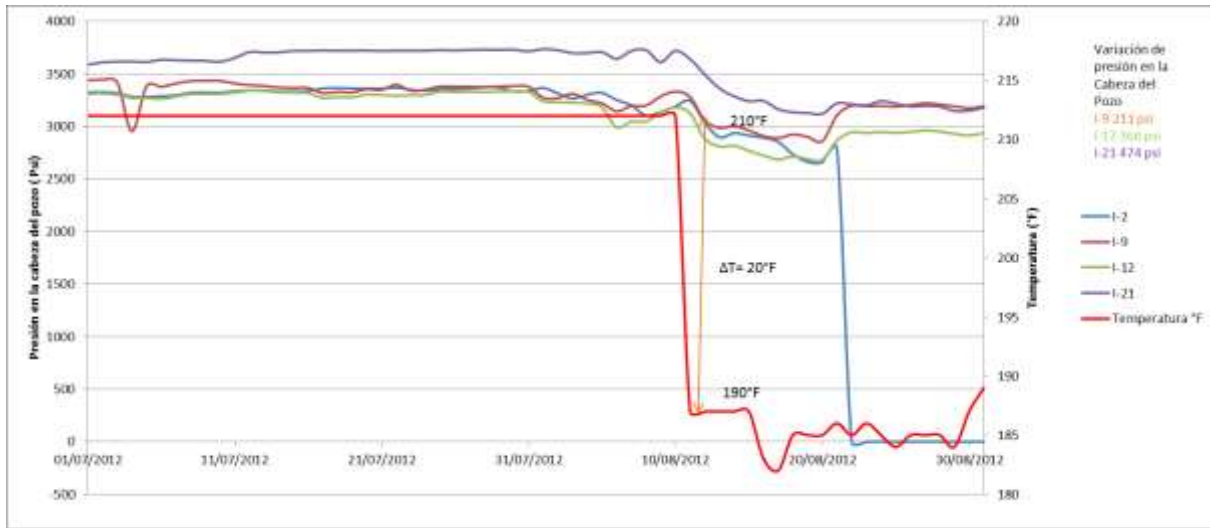


Figura 3. 7 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2012.

Con la segunda etapa de enfriamiento de cerca de 10 °F en el mes de diciembre 2013, se obtuvieron datos similares al comportamiento del año 2012, encontrándose una disminución en la presión de cabeza de los pozos inyectores como se desprende en la tabla 3.3.4 y en el gráfico 3.3.4.

Tabla 3. 6 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2013.

No	Pozos	Presión del Pozo	Unidad
1	I-12	390	PSI
2	I-9	191	PSI
3	I-21	196	PSI

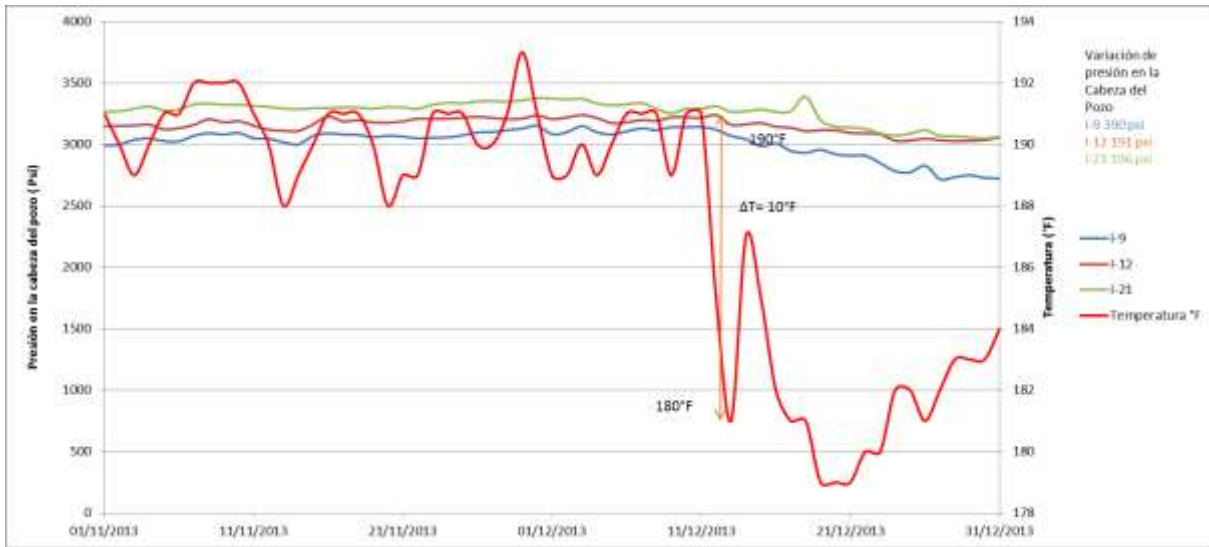


Figura 3. 8 Diferencia de presiones en la cabeza de los inyectores en el año 2013.

3.5. Análisis del comportamiento del consumo de energía en relación a la temperatura de agua de reinyección.

En la figura 3.3.4 apreciamos que la tendencia de consumo energía, disminuye luego de implementar el sistema de enfriamiento por aerofriadores durante la primera etapa en el año 2012.

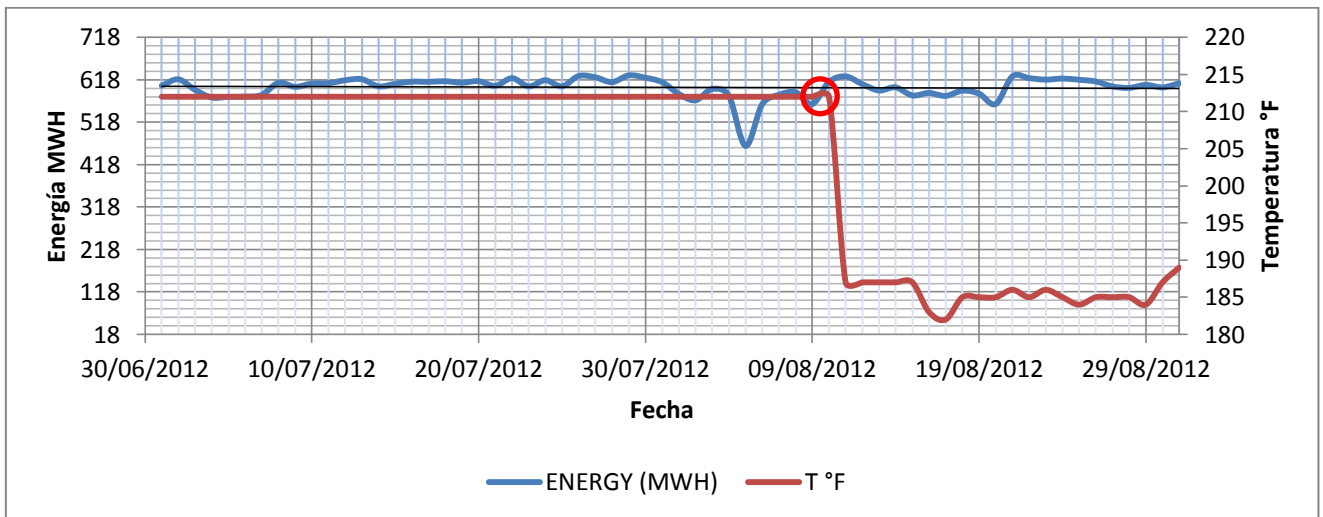


Figura 3. 9 Comportamiento de la energía en base a la variación de temperatura en el año 2012.

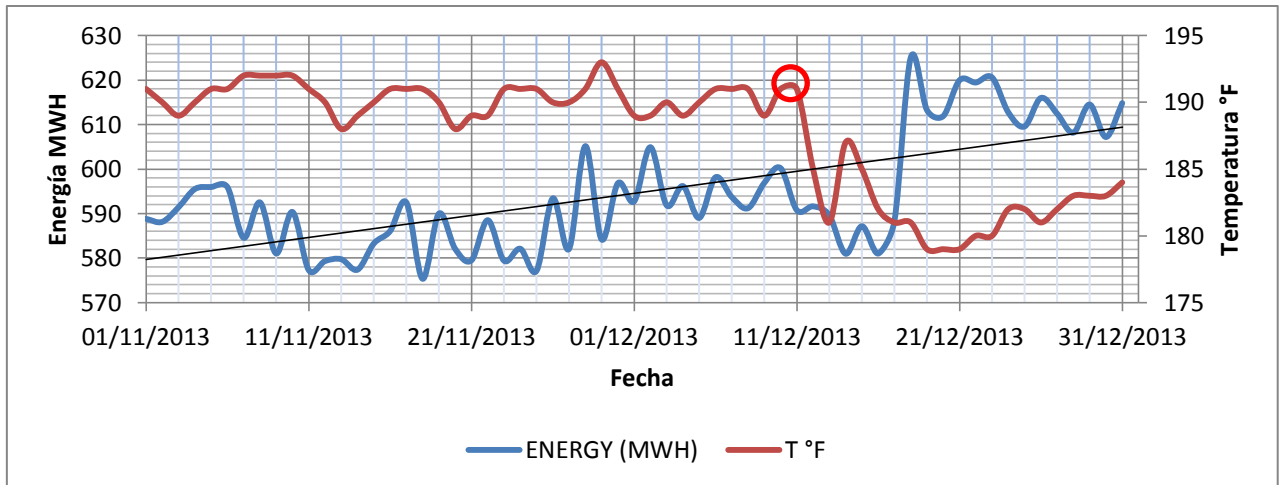


Figura 3. 10. Comportamiento de la energía en base a la variación de temperatura en el año 2013.

En la figura 3.10 la tendencia de consumo energía aumenta debido al incremento del volumen total de fluido producido, en la segunda etapa en el año 2013.

3.6. Análisis del comportamiento del consumo de crudo combustible en barriles por día en relación a la energía generada en MWH

En la figura 3.11 la tendencia del consumo crudo combustible y energía generada disminuye luego de la implementación del sistema de enfriamiento. Lo que representa en el 2012 alrededor de 60 bls de crudo por día en ahorro y 18 bls en el 2013.

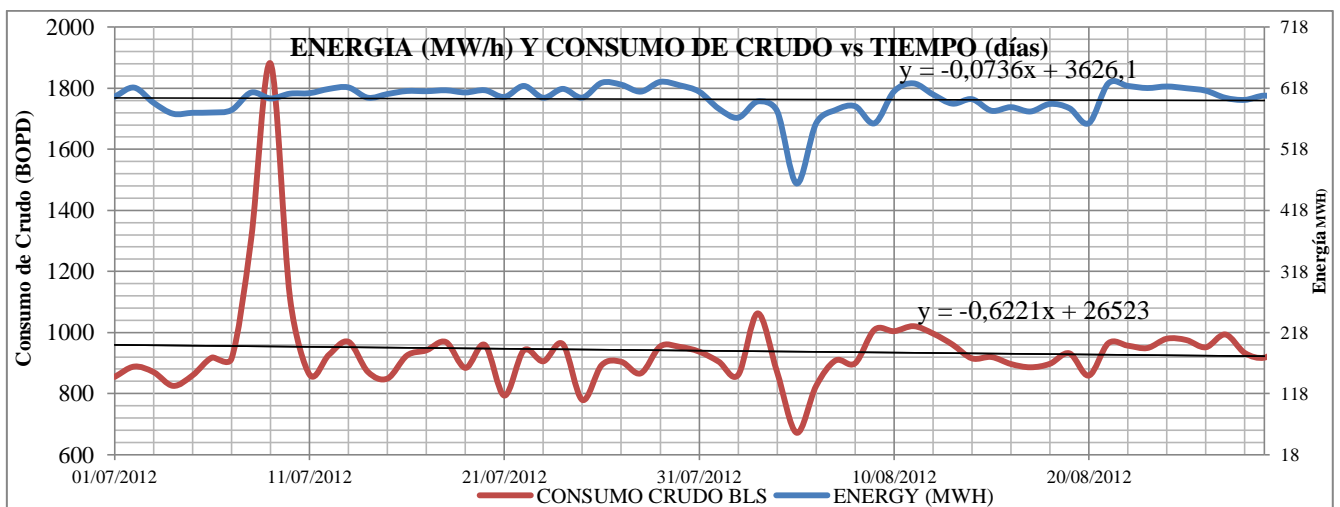


Figura 3. 11 Consumo de crudo combustible en relación a la energía generada en el año 2012

En la figura 3.12 la tendencia del consumo crudo combustible y energía generada incrementa luego de la implementación del sistema de enfriamiento por aeroenfriadores en la segunda etapa, este fenómeno se produce debido al incremento del volumen de fluido producido. Se aprecia que las dos variables son directamente proporcionales.

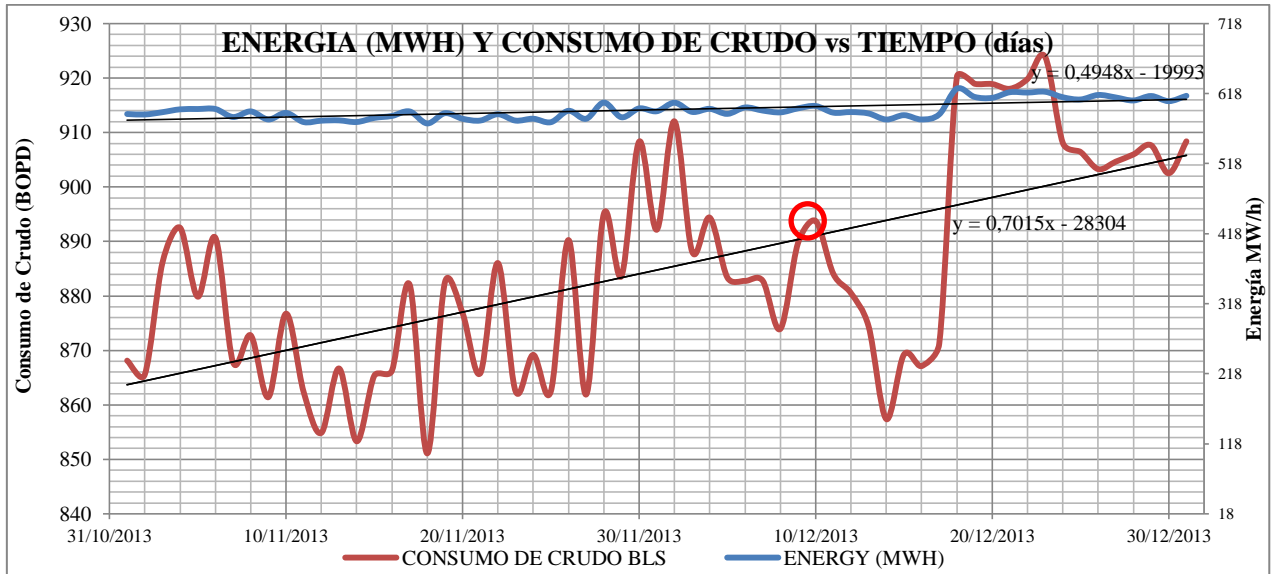


Figura 3. 12 Consumo de crudo combustible en relación a la energía generada en el año 2013

3.7. Análisis del comportamiento del consumo de crudo combustible en BPD en relación a la energía generada en MWh.

A partir del 11 de Diciembre tiende a caer el consumo energético, después de disminuir la temperatura en 10 °F desde el 20 de diciembre se aprecia un incremento del consumo energético debido al incremento del Gross (fluido: agua, gas y crudo). Representa a su vez un aumento en la producción del campo.

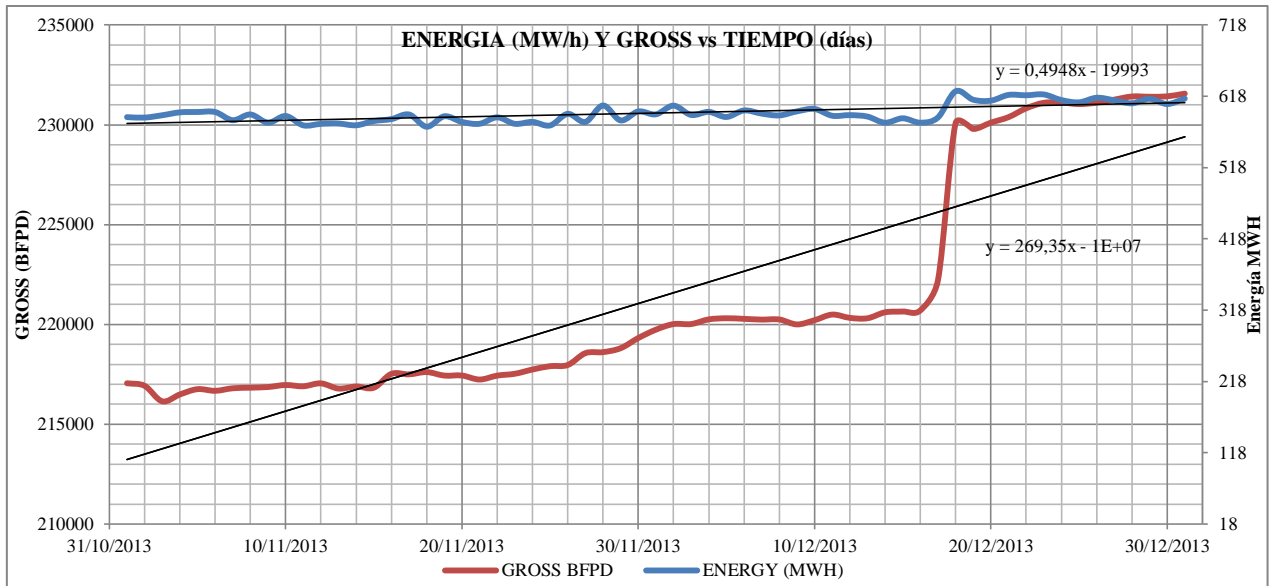


Figura 3. 13 Gross total (fluido) relación a la energía generada.

A partir del 12 agosto tiende a caer el consumo energético después de disminuir la temperatura en 20 °F, incrementa el consumo por el aumento del Gross.

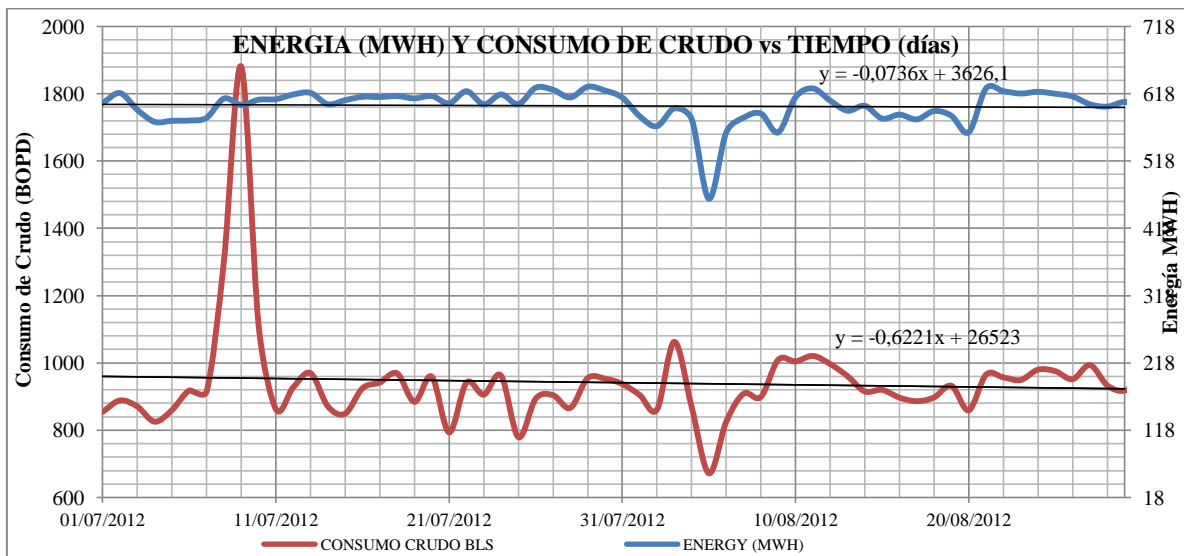


Figura 3. 14 Gross total (fluido) relación a la energía generada.

El 11 de Diciembre tiende a caer el consumo energético después de disminuir la temperatura en 10 °F, desde el día 20 incrementa el consumo por el incremento del Gross.

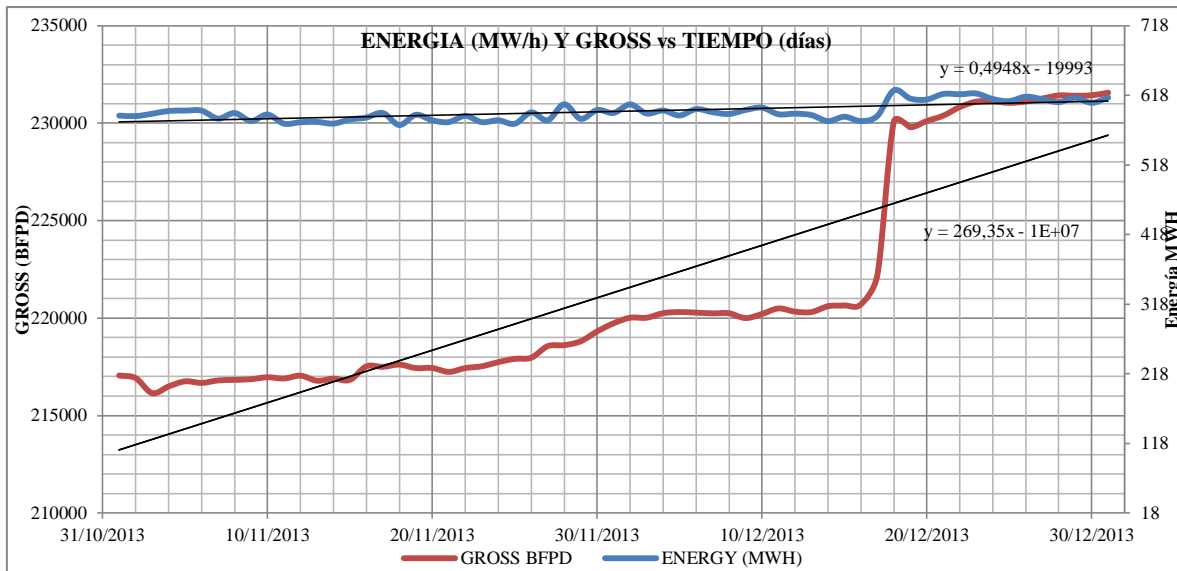


Figura 3. 15 Gross total (fluido) relación a la energía generada en el año 2012

3.8. Análisis del comportamiento de la producción diaria en BOPD en relación a la temperatura del agua de inyección.

En la primera etapa de enfriamiento la tendencia al alza de la producción representa aproximadamente 400 BOPD en el año 2012 como indica en la figura 3.16.

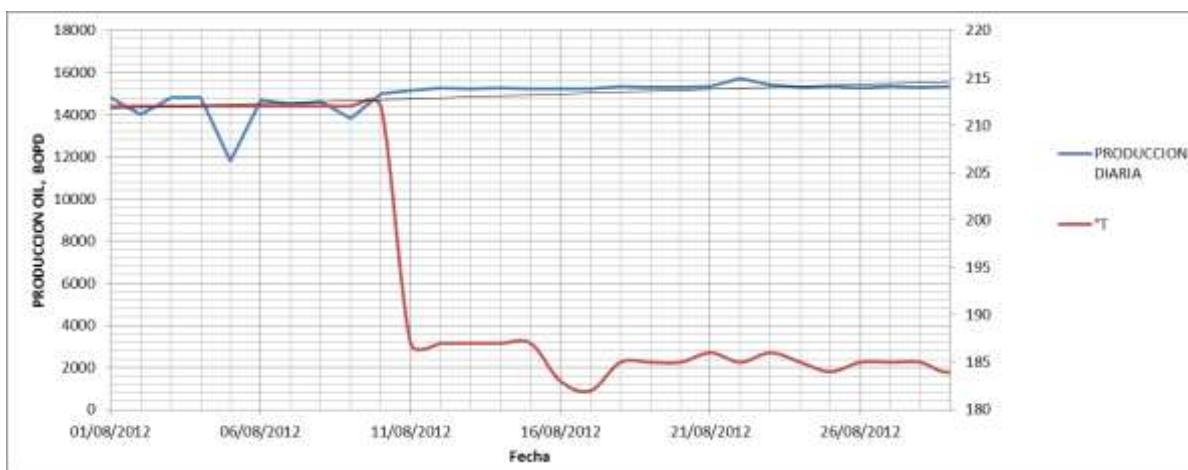


Figura 3. 16 Tendencia de la producción diaria en relación a la temperatura del agua de inyección en el año 2012.

Para la segunda etapa de enfriamiento se observa que la tendencia aumenta, lo que representa unos 600 BOPD en el año 2013, implica el beneficio del enfriamiento del agua de inyección. Como indica en la figura 3.17



Figura 3. 17 Tendencia de la Producción diaria en relación a la temperatura del agua de inyección en el año 2013.

En la siguiente tabla 3.7 indica valores de los enfriadores que nos permite calcular el coeficiente de transferencia de calor y la caída de presión del lado del aire en un aroenfriador. Se supone un arreglo triangular.

Tabla 3.7. Análisis de la operación de los aroenfriadores

diámetro interno del tubo	19,304	mm
espesor de aleta b	0,3812	mm
diámetro externo de la aleta	57,15	mm
diámetro del tubo	25,4	mm
número de aletas por metro	394	
Ancho del haz W=	3,94	m
Long tubos L =	7	m
Distancia entre filas		
medida en dirección		
del flujo=SF=	52,23	mm
SL=(ver figura de la derecha)	60,32	mm
ST=(ver figura de la derecha)	60,32	mm
número de filas de tubos=	4	

número de tubos por fila	65,5	
conductividad de la aleta	200	W/mK =
Caudal de aire	105,5	kg/s =
viscosidad aire	0,0209	cp
Pr aire	0,79	
k aire	0,02674	W/mK =
Temp de entrada	30	°C
Temp de salida	41,5	°C
Coef. ensuciamiento aire	0	m ² .K/W
Tiro Forzado o inducido(F/I)	F	
Numero ventiladores	2	
Diámetro ventiladores	2,5	m
Eficiencia ventiladores (%)	75	
Eficiencia motor %	95	
Altura sobre nivel del mar	0	m

Para el cálculo de coeficiente de transferencia de calor utilizamos la tabla 3.8 para determinar la eficiencia por aleta del enfriador, la pérdida por carga.

Tabla 3.8 Análisis de la operación de los aeroenfriadores.

CALCULO DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR						
		$h'fo=h'f(Ao+\Omega af)/Ao$	1027,6	W/m ² K		
presión atmosférica =		101300	Pa			
CALCULO DE PERDIDA DE CARGA						
	DELTA P=	164,4	Pa=	0,0238	psi	
CALCULO DE POTENCIA DE CADA VENTILADOR						
veloc en el ventilador		9,21	m/s	presión de velocidad	49,52	Pa
Potencia por ventilador=		13,57	Kw			
Cálculo de la eficiencia de la aleta						
m=		39,04070461	H=		0,015875	
Y=		0,0206	Ω =eficiencia=		0,8283	

A partir de las especificaciones indicadas en la tabla 3.8, y utilizando la ecuación 2.17, se realiza el análisis del comportamiento de rendimiento del aeroenfriador en función de la temperatura del aire, indicándose en el gráfico de la figura 3.18.

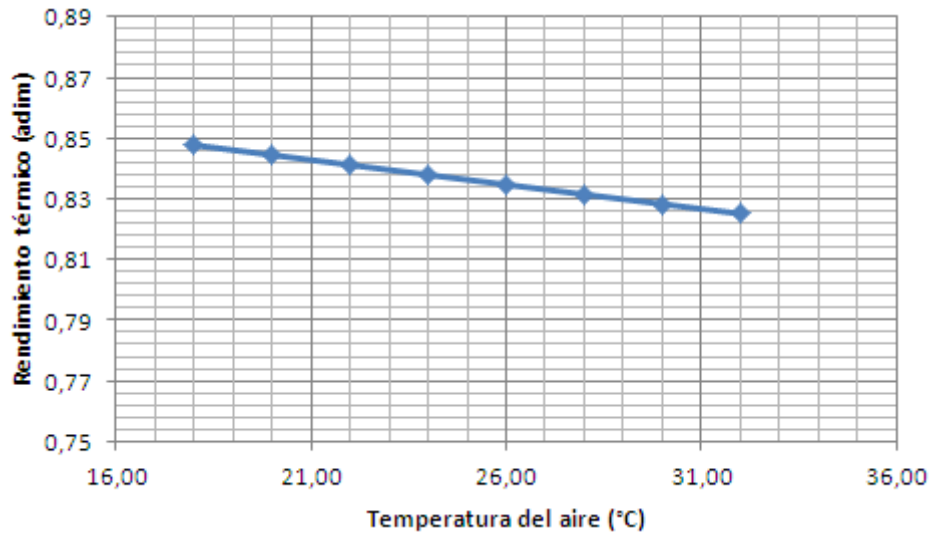


Figura 3.18. Comportamiento del rendimiento del aerofriador en función de la temperatura del aire.

Según se indica en los resultados de la figura, el rendimiento del aerofriador disminuye con el aumento de la temperatura del aire de entrada, lo que muestra la importancia de mantener el aire de enfriamiento a temperaturas inferiores de 26 °C, inferiores a la temperatura ambiente, donde se tiene un rendimiento de 83 %.

3.9. Análisis de la operatividad del sistema de bombeo de agua para inyección

El adecuado y eficiente manejo de los fluidos en superficie, requieren de la aplicación de conceptos básicos relacionados con el flujo de fluidos en tuberías y en red de tuberías, el uso de válvulas accesorios y las técnicas necesarias para evaluar y especificar equipos utilizados en operaciones.

De acuerdo con los resultados de mediciones e indicadores del sistema de bombeo para inyección de agua para las bombas de inyección, se tienen los siguientes datos indicados en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Datos del sistema de bombeo para la inyección de agua.

Coefficiente de pérdida local de descarga (adimensional)	7
Diámetro de la tubería (m)	0,15

Longitud de la tubería (m)	117
Diferencia de altura (m)	5
Longitud de la tubería de succión (m)	2
Coefficiente de pérdida local de succión (adimensional)	4
Diferencia de altura de succión (m)	6
Altura atmosférica (m)	10,33

La primera fase que comprendió un reducción de la temperatura en aproximadamente 20 °F y la segunda de 10 °F presentan diferente tipo de densidad y viscosidad por la influencia de la temperatura como apreciamos en la tabla 3.10. Que nos permitirá utilizar para diferentes cálculos, incluso modifica para los medidores de crudo másicos.

Tabla 3. 10 Datos de las propiedades del agua para inyección de agua y su relación con la altura de carga del pozo.

Temperatura del agua (°C)	Presión del vapor	Densidad	Viscosidad	Altura de carga del pozo
	(kPa)	(kg/m ³)	(Pars)	(m)
88	70	965	0.0003	2089.59
97	100	958	0.00028	2345.55

Como se puede observar en los datos indicados según la tabla 3.10, la altura de carga del pozo (resultado de mediciones de campo) es directamente proporcional a la temperatura del agua inyectada; en este caso para una menor temperatura del agua a inyectar se manifiesta menor resistencia hidráulica interna del reservorio, fenómeno asociado al fracturamiento térmico, medición que muestra ventajas al emplear el enfriamiento del agua a inyectar.

Una parte del sistema principal opera con dos bombas de conexión en paralelo, el que trabaja de forma continua; la operación del sistema se realiza garantizándose el flujo y la presión adecuada para el proceso de inyección, donde se ha notado que para las dos bombas con funcionamiento en paralelo los consumos energéticos se han disminuido con la disminución de la temperatura del agua a inyectar al pozo. Para las dos bombas operando en paralelo se realizó el siguiente análisis de operatividad, arrojando los siguientes resultados (figura 3.19)

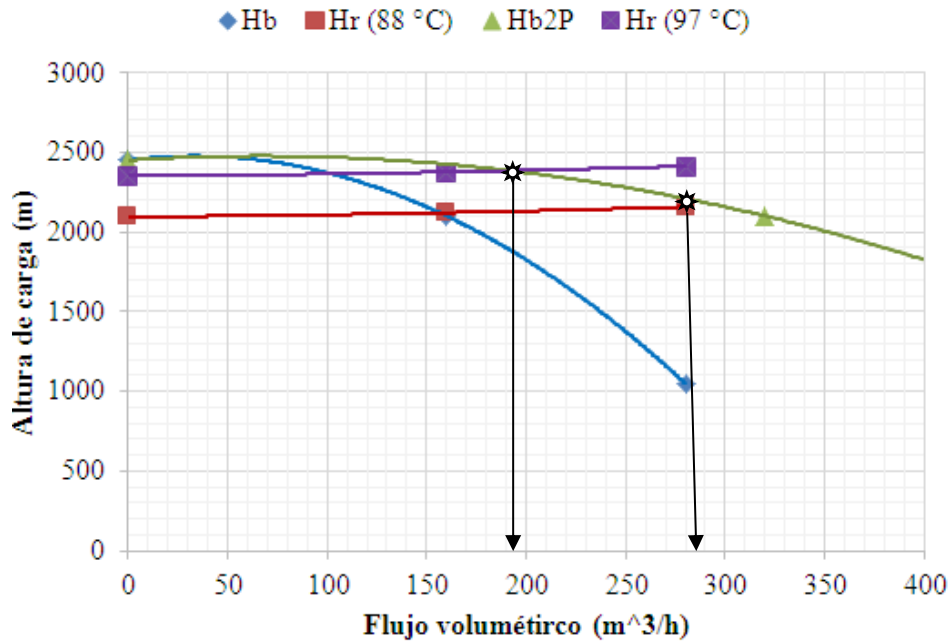


Figura 3. 19. Operación de las dos bombas trabajando en paralelo a diferentes temperaturas del agua.

Como se indica en la figura 3.19, para las dos bombas trabajando en paralelo se obtiene un flujo volumétrico aportado al sistema de inyección de 285 m³/h, para la temperatura del agua de 88 °C; para la temperatura del agua a inyectar de 97 °C, el flujo volumétrico es de 190 m³/h, lo que existe un defecto de flujo de 95 m³/h, siendo una diferencia muy significativa, considerándose la relación directa de agua inyectada con los barriles diarios de crudo recuperado.

En este análisis se demuestra la las mejoras operativas de bombeo en que se incurren al enfriar el agua de inyección. Se conoce que al disminuir la temperatura del fluido los parámetros de viscosidad y densidad aumentan, incidiendo considerablemente en las pérdidas de carga por rozamiento, pero en este caso la temperatura del agua provoca una disminución significativa en la presión de descarga, lo que da como resultado la disminución de la presión total del sistemas y por ende el aumento del flujo volumétrico.

Un análisis importante a realizar en estos sistemas de bombeo que operan a altas temperaturas, lo constituye el análisis del estado de la altura neta positiva de succión, indicado según el gráfico de la figura 3.20.

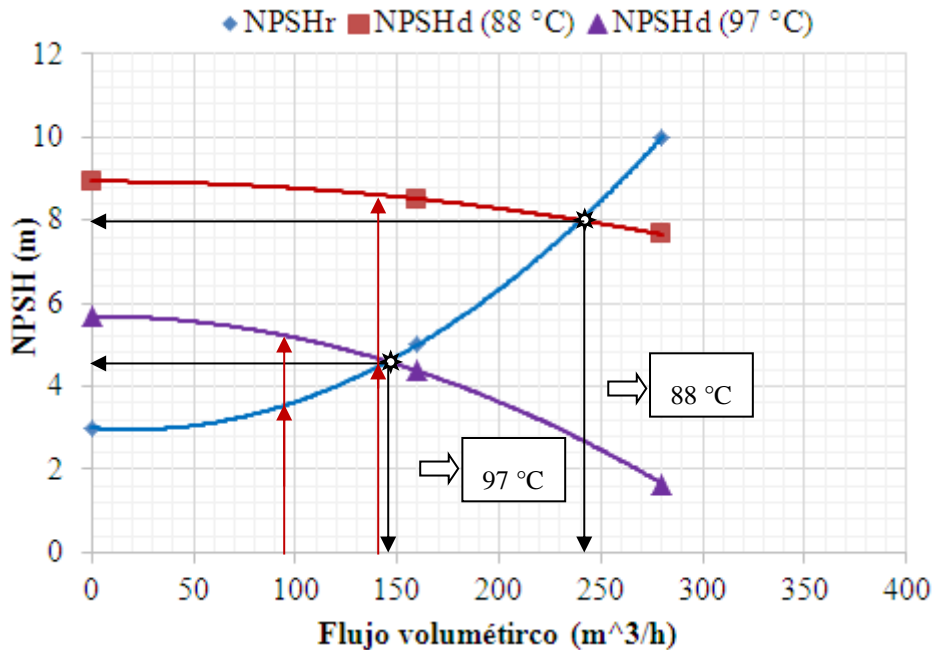


Figura 3. 20. Gráfico de las alturas netas positivas de succión para las temperaturas de 88 y 97 °C.

El enfoque para este análisis se hace tomando como nivel de referencia la comparación del comportamiento del NPSHd para las dos temperaturas estudiadas. Se analizan los parámetros de reserva cavitacional mediante los conceptos asociados. Como se puede observar en la figura 3.12, para la temperatura del agua de 88 °C se obtiene una mayor reserva de altura neta; en los puntos observados de convergencia, para la temperatura de 88 °C se tiene como flujo máximo 242 m³/h, mientras que para la temperatura de 97 °C el flujo máximo es de 145 m³/h.

Analizando la relación de flujos operados para las dos temperaturas estudiadas, se tiene que para el agua a 88 °C el caudal de operación obtenido es de 285 m³/h siendo para cada bomba de 142,5 m³/h, comparando este con el flujo máximo permisible de 242 m³/h, se demuestra que las bombas trabajan con ausencia de cavitación para dicha temperatura.

Para el agua a 97 °C el caudal de operación obtenido es de 190 m³/h siendo para cada bomba de 95 m³/h, comparando este con el flujo máximo permisible de 145 m³/h, se demuestra que las bombas trabajan con ausencia de cavitación para dicha temperatura.

En ambos casos se ha demostrado que el sistema está fuera del fenómeno de la cavitación, pero se encuentra que la mayor reserva está dada para la temperatura de 88 °C; resultado que demuestra otra ventaja al aplicar enfriamiento al agua de inyección.

En la figura 3.10 se indica la potencia que consume cada bomba referente a los caudales de operación obtenidos.

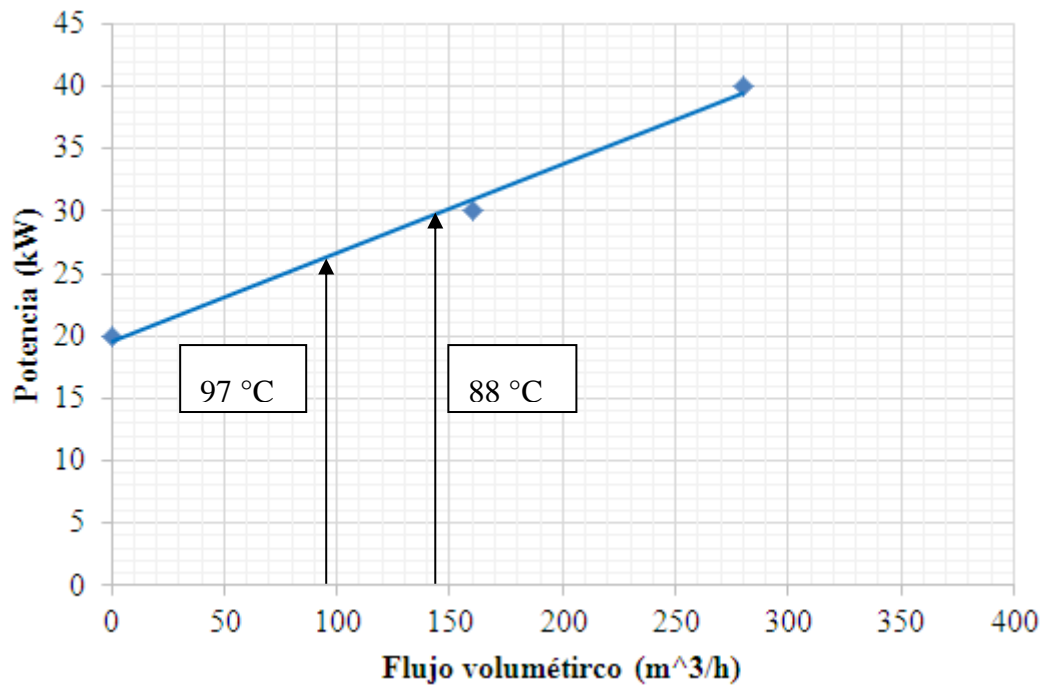


Figura 3. 21 Curva de potencia de la bomba.

Como se indica en la figura 3.10, para la temperatura de 88 °C cada bomba opera a una potencia de 30 kW aproximadamente y para la temperatura de 97 °C se opera a una potencia de 26 kW por bomba. Si bien el resultado muestra que a la temperatura de 97 °C se trabaja a menor potencia, no es así el valor en específico, para lo cual la relación potencia en función del flujo volumétrico indica todo lo contrario; para el agua a 97 °C la relación potencia / flujo volumétrico es de 0,27 kW·h/m³, mientras que para el agua a 88 °C la relación potencia / flujo volumétrico es de 0,21 kW·h/m³; mostrándose un menor índice para el mayor flujo volumétrico.

El rendimiento se determina de la misma manera, teniendo en cuenta el flujo que energiza una bomba, empleando curva de rendimiento de la bomba, según se indica en la figura 3.11

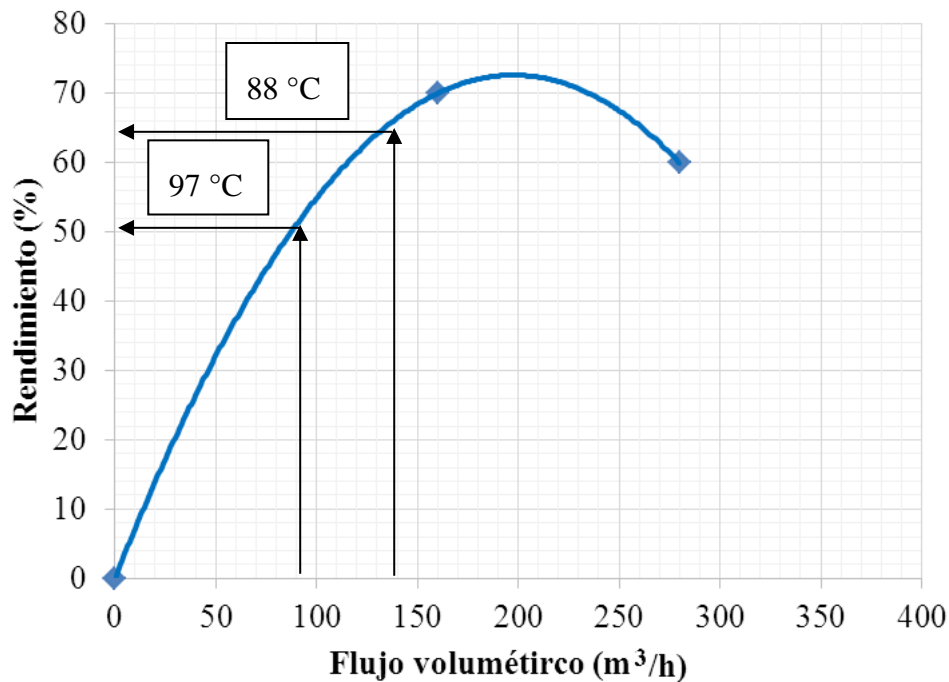


Figura 3. 22 Curva de rendimiento de la bomba S100N.

Para este caso, como es notorio en la figura 3.22, que para la temperatura del agua a 97 °C cada bomba trabaja para un rendimiento de 51 %, considerándose un valor muy bajo, si se tiene en cuenta que los valores para bombas actuales de alta eficiencia se encuentran dentro de los 70 a 80 % de rendimiento. Para la temperatura del agua a 88 °C cada bomba trabaja para un rendimiento del 65 %, donde se demuestra la relación directa del enfriamiento del agua con el aumento del rendimiento.

3.10. Conclusiones del capítulo 3

La implementación del enfriamiento representa cerca de los 30 °F de disminución en la temperatura del agua de enfriamiento.

La presión en la cabeza de los Pozos inyectores disminuye, en el Pozo I-9 600 psi, I-9 550 psi y I-21 670 psi.

Se comprueba que a menor temperatura del agua a inyectar se presenta menor resistencia hidráulica interna del reservorio fenómeno asociado al fracturamiento térmico.

La temperatura del agua provoca una disminución significativa en la presión de descarga, lo que da como resultado la disminución de la presión total de los sistemas y por ende el aumento del flujo volumétrico alcanzándose cerca de 95 m³/h con dos bombas centrifugas en paralelo.

El sistema está fuera del fenómeno de la cavitación, pero se evidencia que la mayor reserva de NPSHd está dada para la temperatura de 88 °C; resultado que demuestra otra ventaja al aplicar enfriamiento al agua de inyección.

En condiciones operativas después de la implementación de aroenfriadores existe un ahorro en consumo de crudo combustible de 78 BOPD.

Se demuestra que el funcionamiento eficiente del sistema de inyección se obtiene para el trabajo de la Bomba Centrifuga de Inyección WIP "A" con un 76 % de rendimiento.

La producción diaria de crudo incrementa en 400 BOPD luego de la primera etapa de enfriamiento y 600 BOPD después de la segunda etapa, debido a la disponibilidad de inyección de agua de formación.

El sistema de bombeo para inyección de agua en la planta representa el 26,1 % de la potencia instalada, considerándose como un elemento vital para la eficiencia energética.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA

4.1. Título de la propuesta

Metodología para evaluación energética en los sistemas de reinyección con aeroenfriadores.

4.2. Justificación de la propuesta

En la actualidad el sector petrolero del Ecuador se ve afectado directamente por el consumo excesivo de energía eléctrica, atribuido en la mayoría de los casos a la falta de diagnósticos energéticos e ineficiente operación de los sistemas. Según (Fasler, 2016) una de las demandas más importantes es el consumo por equipos de bombeo para la recuperación secundaria, tanto en el bombeo de hidrocarburo como en el proceso de inyección de agua de formación a los pozos.

En base al análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se evidenció que existen múltiples ventajas al aplicar enfriamiento del agua de inyección para la recuperación del crudo; por lo que se hace necesario una metodología que argumente los programas de mejoras para la gestión energética del proceso, la misma que puntualiza los aspectos relevantes de la planificación energética tales como, la revisión energética, línea de base energética, indicadores de desempeño energético, los objetivos y metas energéticas a desarrollarse.

El propósito de la investigación es demostrar los beneficios productivos de la implementación de aeroenfriadores al proceso de recuperación secundaria que represente la realidad fenomenológica del proceso, lográndose actuar sobre la eficiencia energética del proceso de bombeo.

4.3. Objetivos de la propuesta

1. Garantizar consumos mínimos de energía a partir de la operación eficiente del sistema de inyección de agua de con aeroenfriadores.
2. Mejorar la productividad a partir de la disminución de la temperatura del agua de inyección.

4.4. Estructura de la propuesta

La estructura de la propuesta se ha planteado de la siguiente manera:

- 1) Se utilizará los resultados obtenidos en capítulos precedentes para con ellos dimensionar establecer los parámetros eficientes de bombeo para inyección.
- 2) A partir de los datos para el análisis energético se seleccionan los datos que permiten realizar el tratamiento de la información y por medio de estos se determinan las curvas promedio anual de la potencia servida por la unidad y el flujo. Por otra parte, a través de la corriente medida en los motores se realiza el cálculo de la potencia consumida por las bombas y por medio del flujo real se determina la potencia que demandan las bombas para garantizar el mismo.
- 3) Se realizará la estructura de los pasos a seguir para la identificación del proceso y la evaluación eficiente del sistema de bombeo.
- 4) Como paso final se realiza el análisis técnico – económico por medio del cual se calcula el ahorro por concepto de la energía dejada de consumir y el ahorro económico que esto reporta, posibilitando calcular el tiempo de recuperación de la inversión para validar la factibilidad de la ejecución de la misma.

En el enfoque metodológico para el ahorro de energía en sistemas de bombeo del agua de inyección y enfriamiento se plantea tener en cuenta los siguientes factores:

Tarifas eléctricas; administración de la demanda; factor de potencia; transformadores eléctricos; conductores eléctricos; motores eléctricos; bombas centrífugas; aeroenfriadores y el sistema de conducción.

Utilidad de los Balances de Energía

1. Analizar el desempeño histórico del consumo de energía.
2. Establecer el balance entre la energía generada y los usos finales de la misma.
3. Identificar las pérdidas en cada etapa del proceso.

4.5. Desarrollo de la propuesta

La metodología propuesta, está basada en el cumplimiento de objetivo de eficiencia energética; para ello se toma en consideración el proceso de transformación de la energía para el trabajo de bombeo (figura 4.1), al ser este el de mayor consumo energético.



Figura 4. 1. Transformación de la energía en un sistema de bombeo.

La incorporación de eficiencia energética en los procesos productivos tiene como objetivo optimizar el consumo y uso de la energía requerida, así como el desempeño energético general del proyecto o proceso en etapa de operación por medio de la incorporación y aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía. Se debe registrar la medición de las variables de energía y de proceso durante la evaluación para permitir un mejor seguimiento del desempeño energético durante las operaciones.

Conforme con la Norma ISO 50001 (2011): Sistemas de Gestión de la Energía - Requisitos con orientación para su uso, indica que el propósito de esta Norma Internacional es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta Norma Internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costes de la energía a través de una gestión sistemática de la energía. Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño,

independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Su implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y especialmente de la alta dirección.

Navarro (2015), manifiesta que la metodología de este estándar internacional se basa en el sistema de mejoramiento continuo o círculo de Deming: Planear-Hacer-Revisar-Actuar (figura 4.2), siendo compatible con otras medidas de ahorro y eficiencia energética. En el anexo 4 se presenta la secuencia de actividades a desarrollar en la implementación de un sistema de gestión de la energía basada en ISO 50001.

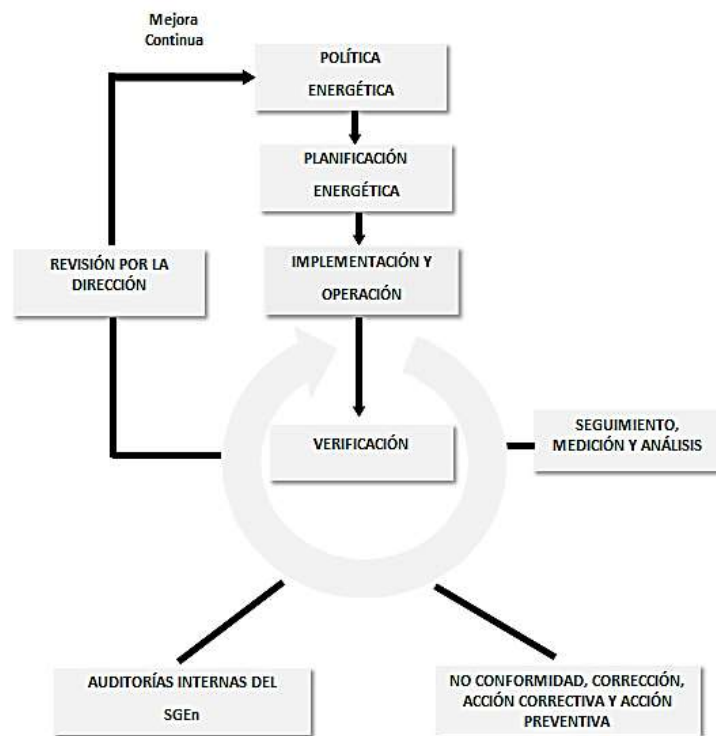


Figura 4. 2. Modelo de sistema de gestión de la energía para la norma internacional ISO 50001. Fuente: NTE INEN-ISO 50001:2012

Un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn), permite a la organización alcanzar los compromisos derivados de su política energética, tomar acciones, según sea necesario para mejorar su desempeño energético. No se especifican metas cuantitativas; cada organización elige las metas que desea establecer y posteriormente diseña un plan de acción para alcanzar estas metas.

La organización puede escoger integrarse a la norma ISO 50001 entre otros sistemas de gestión como son los de calidad, ambiental, salud ocupacional y seguridad o responsabilidad social, u otro.

El enfoque metodológico de eficiencia energética en sistemas de bombeo de agua para inyección, se muestra según el siguiente diagrama.

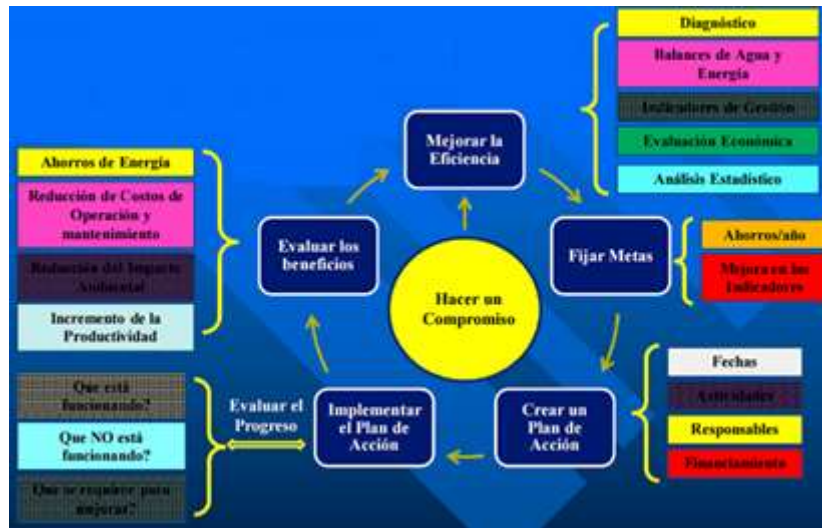


Figura 4. 3. Enfoque metodológico propuesto de eficiencia energética para el sistema de inyección.

Los usos significativos de energía son aquellos que tienen un consumo sustancial de energía y ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño; es en ellos donde la organización debe enfocar su gestión. Lo más común es identificar los usos con la mayor porción del consumo de energía o con los mayores costos en energía. La herramienta que se propone para determinar los usos y consumos significativos es el gráfico de Pareto; análisis realizado en el capítulo 3.

4.5.1. Algoritmo para la gestión energética

En la figura 4.4 se muestra el algoritmo propuesto para el programa de mejora para la gestión de la energía eléctrica.

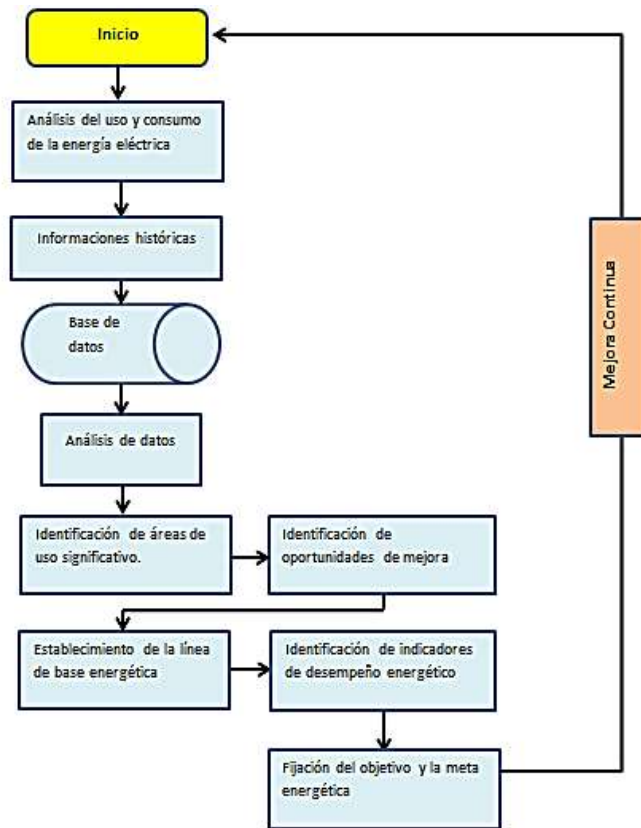


Figura 4. 4. Algoritmo del programa de mejora de la gestión energética. Elaborado por: Salazar (2016).

Objetivos del diagnóstico energético propuesto:

- Establecer las mejores condiciones para desarrollar el proyecto de eficiencia energética
- Identificar las medidas de eficiencia energética técnica y económicamente factibles
- Establecer los parámetros para la evaluación del proyecto de eficiencia energética

Etapas del diagnóstico energético propuesto:

- 1ª Etapa: Recolección de Información.
- 2ª Etapa: Mediciones en Campo.
- 3ª Etapa: Análisis de la Información.
- 4ª Etapa: Identificación de Áreas de Oportunidad de Ahorro.

5ª Etapa: Propuesta de medidas de ahorro.

6ª Etapa: Evaluación de las Medidas.

Como parte de conocer la etapa de explotación de hidrocarburo, las cuales se resumen en la figura 4.5.

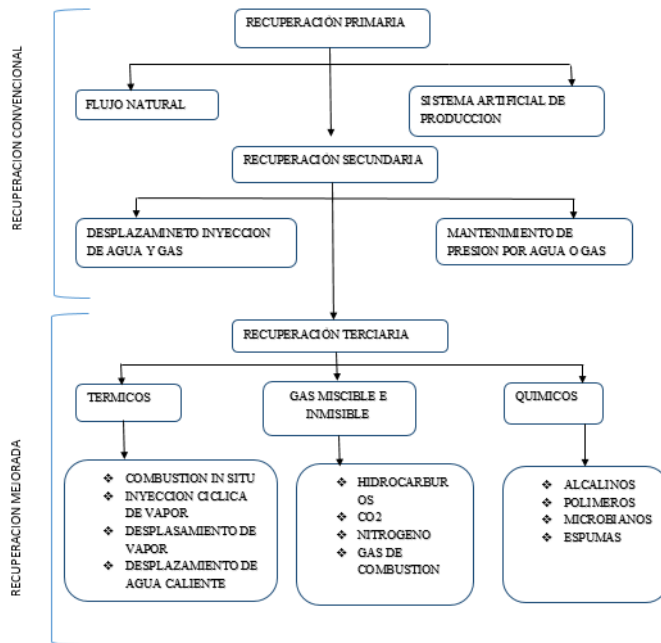


Figura 4. 5. Esquema de yacimientos de hidrocarburos (Fassler, 2016).

Según se observa en la figura, el caso en estudio se encuentra en la segunda etapa de la recuperación convencional. Para este fin se utilizan los sistemas de bombeo, los cuales deben garantizar el trabajo eficiente del proceso de recuperación, para consumo óptimo de energía.

4.5.2. Comprobación de la velocidad específica

Velocidad específica de las bombas

La velocidad específica se calcula a partir del caudal y la carga que corresponde al máximo rendimiento de la máquina o por los parámetros nominales de la misma.

Según sea la velocidad específica o característica n_s , las bombas centrífugas y otras de paletas, semejantes a estas, se dividen en los siguientes tipos:

- lentas: $n_s \leq 80$; $\frac{D_2}{D_1} = 2,2 \div 3,5$
- normales: $n_s = 80 \div 150$; $\frac{D_2}{D_1} = 2,2 \div 1,8$
- rápidas: $n_s = 150 \div 300$; $\frac{D_2}{D_1} = 1,8 \div 1,3$
- diagonales o helicoidales: $n_s = 300 \div 600$; $\frac{D_2}{D_1} = 1,3 \div 1,1$
- axiales o de hélice: $n_s = 600 \div 1200$; $\frac{D_2}{D_1} = 1$

De tal forma, la velocidad específica se calcula empleando la ecuación 4.1 .

$$n_s = 3,56 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Ecuación 4. 1. Cálculo velocidad específica

Donde:

n - número de revoluciones; (rev/min).

H - altura de succión; (m).

Q - caudal o gasto del fluido; (m³/s).

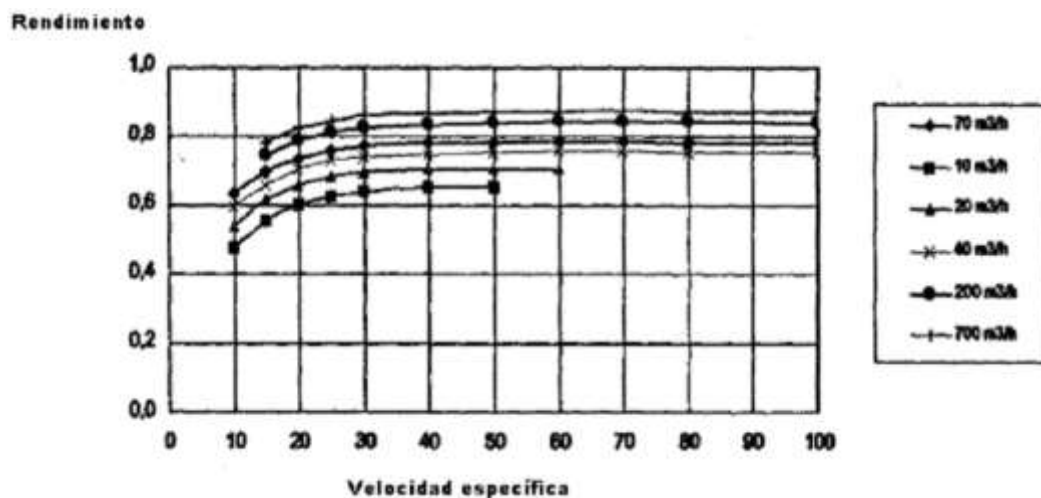


Figura 4. 6. Rendimiento de bombas de paleta según la velocidad específica. Fuente: Nekrasov (1986).

Mediante este criterio se determinará la bomba empleada en el proceso es adecuada. De este proceso parte la propuesta para decidir en primera instancia si el sistema es eficiente. Se deduce de la figura 4.6 que los mejores rendimientos de las máquinas se obtienen para altas capacidades de flujo, siendo las bombas normales las de mejores prestaciones.

Velocidad específica de los ventiladores para enfriamiento

La pérdida por fricción en un ducto, necesaria para determinar la velocidad específica, es proporcional a la presión de velocidad. Esto no solo para la fricción del ducto sino también para la pérdida de fricción en otros componentes como es el caso del aerofriador. La pérdida por fricción en el aerofriador es proporcional a la presión de velocidad:

$$P_v = k \cdot v_p$$

Ecuación 4. 2. Cálculo presión de velocidad

Donde:

P_v - pérdida de presión en el aerofriador; (Pa).

v_p - velocidad del aire; (m/s).

Solamente el factor k cambia, dependiendo del tipo de equipo; para los aerofriadores en estudio se encontró que este valor es de 0,2; partir de los resultados mostrados en la tabla 2.8.

La velocidad específica n_s del ventilador de enfriamiento es un número característico que puede ser calculado de una fórmula que se deriva de las leyes de los ventiladores:

La velocidad específica puede ser considerada una herramienta matemática (más que una velocidad de trabajo actual) para determinar el tipo de ventilador para ser usado para una cierta aplicación; la ecuación (4.3) es la más útil en este caso, quedando de la siguiente manera partir de la ecuación 4.1, adecuada según la razón volumen de presión:

$$R = 3,56 \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{n_s}{n}$$

Ecuación 4. 3. Cálculo de la razón volumen de presión

Notemos que la razón R , clasifica a los ventiladores de acuerdo a su razón de volumen de presión.

4.5.3. Relación de temperatura del agua con el factor de recobro

Cuando la tasa de producción de un yacimiento comienza a declinar, se tiene evidencia de haber alcanzado la presión de saturación de los fluidos en el yacimiento. La mayoría de los sistemas de inyección son convencionalmente desplazamiento por agua. Se ha demostrado en los resultados analizados en el capítulo 3, que el recobro del petróleo puede ser incrementado mediante el ajuste de la relación de movilidad influenciada por la temperatura del agua de inyección.

Los ahorros energéticos en este caso se evidencian en los sistemas de bombeo, donde se trabaja con presiones menores de cabeza de pozo para menores temperaturas del agua. Este resultado se indica en el gráfico de la figura 4.7.

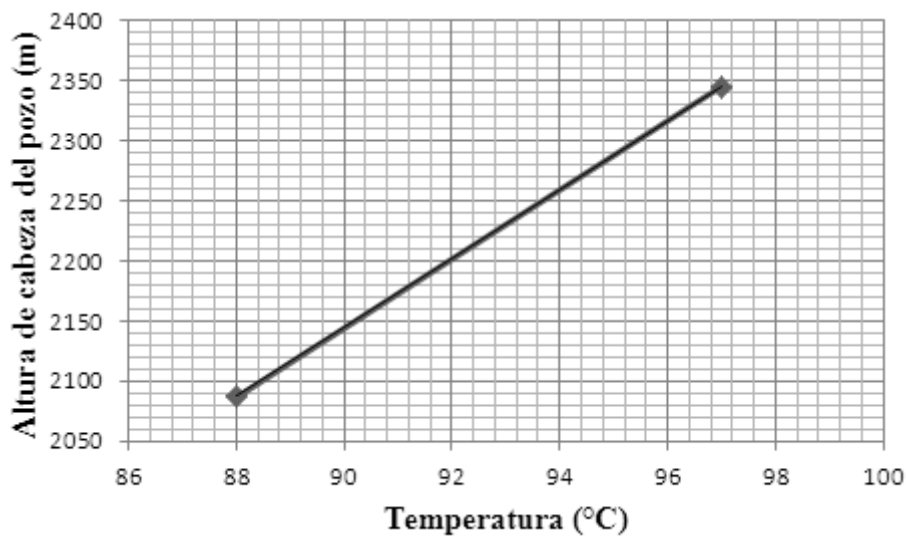


Figura 4. 7. Rendimiento de bombas centrífugas según la velocidad específica.

Mediante los resultados de medición de la cabeza del pozo en función de la temperatura, se obtiene el modelo que posibilita describir el comportamiento la presión de cabeza, dado por:

$$H_{cp} = 28,55 \cdot T - 425,45$$

Ecuación 4. 4. Cálculo altura de cabeza del pozo

Dónde:

H_{cp} - altura de cabeza del pozo; (m).

T - temperatura del agua de inyección; (°C).

4.5.4. Indicadores de eficiencia energética

La eficiencia energética es una práctica que tiene como objeto reducir el consumo de energía. La eficiencia energética es el uso eficiente de la energía, de esta manera optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios. No se trata de ahorrar energía, sino de consumir menos electricidad.

Como parte de la propuesta se recomienda determinar el **índice de eficiencia energética**, dado por la siguiente ecuación:

$$IEE = CeB + CeE$$

Ecuación 4. 5. Cálculo del índice de eficiencia energética

Dónde:

IEE - índice de eficiencia energética; (kW·h/barriles).

CeB - energía específica en bombeo; (kW·h/barriles).

CeE - energía específica en enfriamiento de agua; (kW·h/barriles).

El **indicador de intensidad energética** de una instalación compara sus consumos energéticos reales con el consumo teórico (o consumo estándar). Esto se traduce en la siguiente ecuación:

$$IE = \frac{Cr_{año}}{Cet_{año}}$$

Ecuación 4. 6. Cálculo del índice de eficiencia

Dónde:

IE - índice de eficiencia energética; (adimensional).

$Cr_{año}$ - consumo energético real al año; (kW·h/año).

$Cet_{año}$ - consumo energético teórico al año; (kWh/año).

Este indicador permite ver de forma porcentual cuanto ha mejorado o empeorado el consumo energético real de las instalaciones con relación al consumo teórico, en igualdad de condiciones de actividad. De esta manera se hace una comparación entre el consumo de la instalación real y el consumo que tendría una instalación teórica de referencia con las mismas características y con la misma actividad. El seguimiento periódico del indicador da cuenta de la eficiencia de una las instalaciones con relación al estándar y permite deducir el estado de su mantenimiento o de su operación.

El indicador de intensidad energética se presta a la definición y seguimiento de ahorros de energía. Si el consumo energético real de las operaciones es igual al patrón de consumo del año de referencia, el valor de IE es igual a 1 (100% de concordancia). Cualquier desviación con relación al valor de referencia se explica por un incremento o un ahorro en los consumos energéticos con relación a la línea base (patrón de consumo de referencia). El valor de IE es igual a $IE = (1 - \text{ahorros}\%)$. Este indicador podría servir para fijar objetivos anuales de ahorro.

Otro factor determinante propuesto para al análisis de eficiencia energética es el parámetro de actividad; se considerarán parámetros de actividad al volumen de fluidos procesados en cada yacimiento, es decir las **toneladas de Hidrocarburo Producido** (HP); los metros cúbicos de fluido procesado (hidrocarburos y agua) (m^3 procesado); y las toneladas de petróleo equivalente (TPE).

$$HP_{vendidos} = TEP + TEG$$

Ecuación 4. 7. Cálculo de toneladas de Hidrocarburo Producido

Donde:

TEP - toneladas equivalentes de petróleo; (T/año).

TEG - toneladas equivalentes de gas; (T/año).

Para el cálculo del consumo teórico, se tienen que determinar previamente los siguientes indicadores analíticos para cada yacimiento:

$$ICE = \frac{CEC_{Año}}{VCP_{Año}}$$

Ecuación 4. 8. Indicador anual de consumo específico

Donde:

ICE - indicador anual de consumo específico; (adimensional).

CEC_{Año} - consumo energético específico equivalente de combustible; (m³/año).

VCP_{Año} - volumen anual de crudo procesado; (m³/año).

EL **Indicador de Intensidad Energética** de yacimiento muestra también el consumo específico de energía del para el yacimiento. A diferencia de otros sistemas de indicadores, NO realiza una comparación frente a un consumo teórico. La intensidad energética empleada en el yacimiento se define mediante la siguiente fórmula:

$$IIEY = \frac{CRE_{Año}}{PC_{Año}}$$

Ecuación 4. 9. Indicador anual de consumo específico

Donde:

IIEY - intensidad energética de yacimiento; (kW·h/barriles).

CRE_{Año} - consumo real de energía; (kW·h/año).

PC_{Año} - producción anual de crudo; (barriles/año).

Para determinar si el valor del indicador es alto o bajo, la guía de CAPP sugiere compararlo frente a los valores medios de la industria de producción de petróleo y gas de Canadá (según datos de 1995), según el tipo de yacimiento evaluado. Este indicador (consumo energético por m³ de petróleo equivalente producido) da así una idea del desempeño energético de las instalaciones, pero no indica cómo debería ser su consumo frente al de referencia de una instalación equivalente en igualdad de condiciones de fabricación (mismos niveles de producción, madurez de campo, existencia de tecnología para recuperación secundaria, etc.). Por este motivo, aunque permite ver de forma aproximada el

desempeño de una instalación, este indicador no se ha considerado referente para la industria.

Comprobación de los parámetros de operación del sistema de bombeo

Para el cálculo de los **beneficios en ahorros del sistema** seleccionado a partir de la operación para máximo rendimiento, se propone la siguiente relación, obtenida a partir de la ecuación 4.10, donde se trata como la diferencia del valor de ahorro por energía:

$$V_{EE} = C_N - C_o$$

Ecuación 4. 10. Valor ahorrado por eficiencia energética del sistema

Donde:

V_{EE} - Valor ahorrado por eficiencia energética del sistema; (\$/año).

C_N - Costo nominal de trabajo de la instalación de bombeo; (\$/año).

C_o - Costo operativo de trabajo de la instalación de bombeo; (\$/año).

De la ecuación 4.11 y la 4.10 se obtiene la relación de evaluación a partir de los datos nominales y operativos.

$$V_{EE} = t_{el} \cdot \left[\frac{t_{tn} \cdot N_n}{\eta_{mn} \cdot \eta_{bn}} - \frac{t_{to} \cdot N_o}{\eta_{mo} \cdot \eta_{bo}} \right]$$

Ecuación 4. 11. Valor ahorrado por eficiencia energética del sistema

Donde:

N_n y N_o : Potencia nominal y operativa; (kW).

t_{el} : Tarifa eléctrica; (\$/ kW·h).

t_t : Tiempo de trabajo del equipo (nominal y operativo); (h/año).

η_b : Rendimiento de la bomba (nominal y operativo); (adim).

η_m : Rendimiento del motor eléctrico (nominal y operativo); (adim).

4.6. Designación de personal clave

Como aplicación de esta propuesta se ha designado un Consejo Energético (tabla 4.1) el que estará presidido por el Gerente de Campo asignado para la atención integral de la actividad energética y son miembros del mismo los Superintendentes de Producción, Villano, Mantenimiento, los Operadores Líderes de Villano y CPF, vinculados a los Puestos Claves, que son los que más influyen en la eficiencia energética por su responsabilidad y contenido de trabajo.

Tabla 4. 1. Puestos y personal clave.

No	Nombre del personal clave	Cantidad de trabajadores
1	Gerente de Campo	1
2	Superintendentes de Villano y Producción	2
3	Superintendente de Mantenimiento y Generación	2
5	Operador Líder Villano y CPF	2
6	Operador Líder Generación	1
	Total	8

Los puestos claves identificados en el uso y utilización del portador energético en el Campo Villano para esa dependencia existen varios equipos considerados altos consumidores de energía e inadecuadamente operados. El sistema de inyección de agua es considerado como una de las áreas de mayores pérdidas de energía (puesto clave para la eficiencia energética), con el 42,5 % del total de la potencia instalada.

4.7. Evaluación socio-económico-ambiental de la propuesta

Los impactos tecnológicos es el análisis de la influencia de la tecnología en las distintas sociedades, ya sea de manera positiva, negativa o neutra. Dentro de este análisis sobre la actividad tecnológica podemos identificar distintos focos, tales como el impacto tecnológico en la cultura, en el medio ambiente, en la sociedad y como consecuencia de esto, el impacto ideológico que ha tenido sobre las personas. (Heredia, 2002)

4.7.1. Evaluación económica

Se plantea para este caso la inclusión de los costos de inversión y recuperación por operación. Los costos de instalación incluyen la inversión de aerofriadores para mejorar la eficiencia en los equipos del sistema de recuperación secundaria.

Para el análisis económico inicial del proceso de inyección se ha tomado en consideración establecer los límites para los cuales se recomienda el enfriamiento del agua para inyección, considerándose el efecto sobre la temperatura de cabeza del pozo. Mediante el empleo de la ecuación 4.4 se tomaron los resultados de costo de inyección costo de recuperación, enfriamiento y el costo total, expresados en % del mayor costo total, como se indica en la figura 4.8.

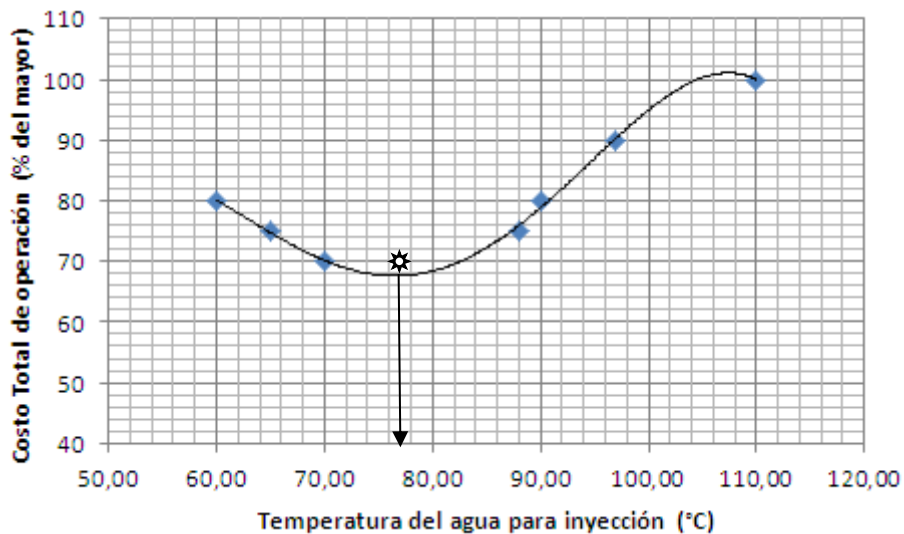


Figura 4. 8. Establecimiento de la temperatura técnico económica del agua de inyección.

El menor costo se obtiene cuando la presión del reservorio es mínima en función del efecto de la temperatura de fraccionamiento de reservorio. El menor valor de presión se encuentra a la temperatura del agua de 76,5 °C, según los resultados mostrados en la figura 4.8, donde es recomendable mantener el proceso de inyección para mejorar su inyección. Es evidente que para el aumento de la presión del reservorio, el costo de inyección aumenta, debido al aumento de la resistencia de descarga.

Para realizar la evaluación económica se llevan a cabo varios pasos que se describen a continuación en la tabla 4.2, teniendo en cuenta la inversión realizada para el sistema de enfriamiento de agua para inyección.

Tabla 4. 2. Vinculación de ahorros energéticos con el VPN de la energía.

No	FNE	(1+i)^n	FNE/(1+i)^n
0	-300000		-300000
1	30310	112%	27062.5
2	35000	125%	27901.7857
3	42000	140%	29894.7704
4	42500	157%	27009.5183
5	45000	176%	25534.2085
6	52500	197%	26598.1339
7	52500	221%	23748.3338
8	52500	248%	21203.8695
VAN			91046.8799

Se toma para el caso de evaluación una tasa del 12 %. Según los resultados del cálculo se obtiene un VPN de \$ 91 046, demostrándose la factibilidad de la inversión.

De la misma manera se comprueba la TIR donde se indican los resultados en la figura 4.8.

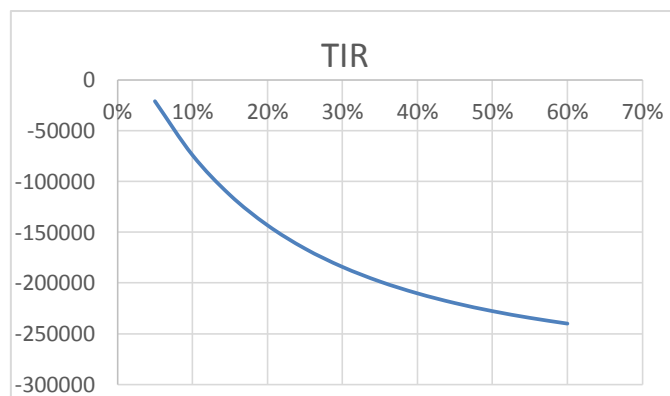


Figura 4. 9. Comportamiento de la TIR.

De los resultados del cálculo de la TIR, se determina que la misma tiene un valor del 3 %, superior a la tasa de descuento del 12 %, lo que demuestra la rápida recuperación de la inversión.

4.7.2. Evaluación socio-ambiental

Se evalúa, el impacto al medio ambiente, a través, de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEIs), que provocará la implementación de la oportunidad de mejora de gestión del portador energético electricidad, por optimización de la calidad, analizada en el capítulo anterior, donde se demostró una reducción de energía de 24.8 Mw/h por la disminución de temperatura del agua de inyección, mediante la instalación aeroenfriadores. La aproximación más común para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero es mediante la aplicación de factores de emisión normalizados. Para el caso de la electricidad se recomienda recurrir a los factores de emisión, en nuestro caso se utilizó el factor de emisión de 0,43 tCO₂/Bbl. proporcionado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA), de acuerdo a lo anterior se tiene que:

$$impacto = Bl_{ahorrada} \cdot 0.43(tco_2 / Bbl)$$

Ecuación 4. 12. Cálculo del Impacto

Se determinó que el valor del impacto diario es de 33,54 toneladas de CO₂, que se dejan de desprenderse a la atmosfera por la disminución del consumo energético.

Si proyectamos en las condiciones operativas durante un año, se dejarían de emitir 12 242 toneladas de CO₂ al ambiente.

4.7.3. Ventajas y desventajas del sistema de inyección tratada por aeroenfriadores

El presente estudio da respuesta a la creciente necesidad de buscar alternativas que permitan minimizar el impacto ambiental, permitiendo un desarrollo sustentable de las empresas petroleras en las Operaciones de manejo y disposición del agua de formación acompañante del proceso de extracción, traduciéndose en un mayor bienestar para el ecosistema y generando un impacto social positivo para la población de la zona de influencia.

Ventajas

- Es una tecnología con cero descargas del agua al ambiente, por lo que disminuye el impacto ambiental.
- Elimina la deposición de todo ese material a superficie.
- Usualmente es una opción más económica del proceso de recuperación.
- Es un proceso básico y simple de manejar.
- El mantenimiento se logra sin generar tiempo improductivo costoso.
- Tecnología probada en campo.
- Los componentes están diseñados para adaptarse al volumen de trabajo, disponibilidad de espacio y otros requerimientos.

Desventajas

- Encontrar la zona adecuada para la inyección.
- Necesita un estudio geológico y de fracturamiento usualmente para determinar la temperatura óptima de inyección.
- Incertidumbre en predicciones de fracturas: ¿Cuánto seguramente podemos bombear?
- Tener cuidado con la presión de trabajo.
- El tratamiento inicial debe ser el óptimo para impedir ensuciamiento del aerofriador.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La implementación del enfriamiento representa cerca de los 30 °F de disminución en la temperatura del agua de inyección.
2. Se comprueba que a menor temperatura del agua a inyectar se presenta menor resistencia hidráulica interna del reservorio fenómeno asociado al fracturamiento térmico.
3. La temperatura del agua provoca una disminución significativa en la presión de descarga, lo que da como resultado la disminución de la presión total de los sistemas y por ende el aumento del flujo volumétrico alcanzándose cerca de 95 m³/h con dos bombas centrifugas en paralelo.
4. La mayor disponibilidad de NPSHd está dada para la temperatura de 88 °C; resultado que nos indica que a menor temperatura de agua de inyección el NPSHd aumenta.
5. El funcionamiento eficiente del sistema de inyección se obtiene para el trabajo de las Bombas Centrifugas de Inyección “A” y “B” en paralelo, obteniendo un incremento del 51 % al 76 % de rendimiento.
6. El sistema de bombeo para inyección de agua en la planta representa el 26,1 % de la potencia instalada, considerándose como un elemento vital para la eficiencia energética.
7. El ahorro energético es de 24.8 MWH después de la implementación del sistema de enfriamiento con aeroenfriadores.
8. El valor del impacto diario es de 33,54 toneladas de CO₂, que se dejan de desprenderse a la atmosfera por la disminución del consumo energético.

RECOMENDACIONES

1. Mantener una periodicidad de mantenimientos programados para mantener la eficiencia de los Aeroenfriadores.
2. Implementar una tercera etapa de enfriamiento.
3. La inyección de químicos como clarificadores y demulsificantes antes de los separadores libres debe ser el adecuado para mantener la calidad de agua de inyección y evitar el ensuciamiento.
4. Calcular permanentemente la eficiencia de los aeroenfriadores equipos de medición disponibles en el sistema. Para determinar el requerimiento de un mantenimiento predictivo.
5. En lo posible utilizar bombas centrifugas de inyección en paralelo de la misma capacidad en el Sistema de Inyección.
6. Esta metodología propuesta puede ser utilizada para evaluaciones técnicas económicas de sistemas de inyección de agua.

Bibliografía

- Almonte, H. C. (1 de Octubre de 2003). *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Restricciones y Perspectivas*. Obtenido de <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/pe/2008/01876.pdf>
- Bonals, M. (1996). *Método de evaluación del ensuciamiento térmico en cambiadores de envolvente y tubos sin cambio de fase a partir de datos de proceso*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (2002). *Gestión Energetica Empresarial*. Cuba: Editorial Universidad de Cienfuegos.
- CEPAL. (2 de Septiembre de 2004). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2003-2004*. Recuperado el 4 de Octubre de 2016, de CEPAL: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/estudio-economico-de-america-latina-y-el-caribe-2003-2004>
- Chan, K. (22 de Octubre de 1995). Water Control Diagnostic Plots. *SPE-30775*. Dallas, Texas, EEUU: Thecnican and Conference.
- ENI S.p.A. (2012). *Villano Field Ecuador-Conceptual Study Summary Report*. Milan: Internal documentation No 1062400FGRV00604.
- Fasler, R. (2016). *Evaluación de consumos de energía en el sistema de Inyección de Agua en el yacimiento ml de Eden Yuturi*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Flores. (2007). *Análisis de Proceso en Villano A*. Quito.
- Gongora, E., Lamorú, M., Columbié, A., Retirado, Y., Legrá, A., & Spencer, Y. (3 de Septiembre de 2009). *Coefficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto*. Recuperado el 2 de Octubre de 2016, de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223515970002>
- Heredia, R. (Septiembre de 2002). *El impacto de la Tecnociencia en la sociedad contemporanea*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2016, de Educación MMM: <http://www.fmmeduccion.com.ar/Recursos/tecnociencia.htm>
- Holman. (1999). *Transferencia de Calor*. Mexico: ISBN 84-481.
- Incopera, D. (2003). *Fundamentos de transferencia de Calor*. Mexico: Sons J.W.
- Incopera, K. H. (2006). *Fundamentos de Transferencia de Calor y de Masa*. Mexico: Wiley.
- INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 50001:2012 Sistemas de gestión de la energía*. Quito: INEN.
- Jaillard, N. (1997). *Síntesis Estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y paleógeo de la Cuenca Oriental del Ecuador*. Quito.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. Mexico: Continental S.A.
- Laurencio. (2012). *Método para la obtención de la temperatura racional de bombeo de petróleos pesado*. Moa, Cuba: ENERMOA.
- Martín. (2011). *Apuntes de Transmisión de Calor*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Navarro, M. (2015). *Gestión en Plantas Industriales*. Madrid: Antonio Vicente Madrid.
- Negrete. (2010). *Estudio de Proceso en Villano A*. Quito.
- Pocohuanca. (10 de Noviembre de 2012). <http://www.monografias.com/trabajos82/evaluacion-proyectos-estados->

- financieros/evaluacion-proyectos-estados-financieros2.shtml#ixzz4SAGw0q2q*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de Monografías.
- R. Correa, N. B. (2015). The Integrated Approach to Formation Water Management 2. *Society of Petroleum Engineers*, 10.
- Ramos, N. (1989). *Bombas, ventiladores y compresores*. La Habana: ISPJA.
- Streeter. (2000). Coeficientes de Resistencia. En Steerer.
- Suarez. (2003). *Modelización de condensadores de centrales térmicas mediante métodos CFD y aplicación a la predicción del ensuciamiento*. España: Escuela Politécnica de Ingeniería de Jijón.
- Tobar, J. J. (9 de Junio de 2008). *The Impact of Sandstone Strength's Behavior as a Results of Temperature Changes in Water Injectors*. Roma: Society of Petroleum Engineers.

Referencias

- Almonte, H. C. (1 de Octubre de 2003). *Energías renovables y eficiencia energética en America Latina y el Caribe. Restricciones y Perspectivas*. Obtenido de <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/pe/2008/01876.pdf>
- Bonals, M. (1996). *Método de evaluación del ensuciamiento térmico en cambiadores de envolvente y tubos sin cambio de fase a partir de datos de proceso*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (2002). *Gestión Energética Empresarial*. Cuba: Editorial Universidad de Cienfuegos.
- CEPAL. (2 de Septiembre de 2004). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2003-2004*. Recuperado el 4 de Octubre de 2016, de CEPAL: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/estudio-economico-de-america-latina-y-el-caribe-2003-2004>
- Chan, K. (22 de Octubre de 1995). Water Control Diagnostic Plots. *SPE-30775*. Dallas, Texas, EEUU: Thecnican and Conference.
- ENI S.p.A. (2012). *Villano Field Ecuador-Conceptual Study Summary Report*. Milan: Internal documentation No 1062400FGRV00604.
- Fasler, R. (2016). *Evaluación de consumos de energía en el sistema de Inyección de Agua en el yacimiento m1 de Eden Yuturi*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Flores. (2007). *Análisis de Proceso en Villano A*. Quito.
- Gongora, E., Lamorú, M., Columbié, A., Retirado, Y., Legrá, A., & Spencer, Y. (3 de Septiembre de 2009). *Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto*. Recuperado el 2 de Octubre de 2016, de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223515970002>
- Heredia, R. (Septiembre de 2002). *El impacto de la Tecnociencia en la sociedad contemporanea*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2016, de Educación MMM: <http://www.fmmeducacion.com.ar/Recursos/tecnociencia.htm>
- Holman. (1999). *Transferencia de Calor*. Mexico: ISBN 84-481.
- Incopera, D. (2003). *Fundamentos de transferencia de Calor*. Mexico: Sons J.W.
- Incopera, K. H. (2006). *Fundamentos de Transferencia de Calor y de Masa*. Mexico: Wiley.

- INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 50001:2012 Sistemas de gestión de la energía*. Quito: INEN.
- Jaillard, N. (1997). *Síntesis Estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y paleógeo de la Cuenca Oriental del Ecuador*. Quito.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. Mexico: Continental S.A.
- Laurencio. (2012). *Método para la obtención de la temperatura racional de bombeo de petróleos pesado*. Moa, Cuba: ENERMOA.
- Martín. (2011). *Apuntes de Transmisión de Calor*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Navarro, M. (2015). *Gestión en Plantas Industriales*. Madrid: Antonio Vicente Madrid.
- Negrete. (2010). *Estudio de Proceso en Villano A .* Quito.
- Pocohuanca. (10 de Noviembre de 2012).
<http://www.monografias.com/trabajos82/evaluacion-proyectos-estados-financieros/evaluacion-proyectos-estados-financieros2.shtml#ixzz4SAGw0q2q>.
 Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de Monografías.
- R. Correa, N. B. (2015). The Integarted Approach to Formation Water Management 2. *Society of Petroleum Engenniers*, 10.
- Ramos, N. (1989). *Bombas, ventiladores y compresores*. La Habana: ISPJA.
- Streeter. (2000). Coeficientes de Resistencia. En Steerer.
- Suarez. (2003). *Modelización de condensadores de centrales térmicas mediante métodos CFD y aplicación a la predicción del ensuciamiento*. España: Escuela Politecnica de Ingeniería de Jijón.
- Tobar, J. J. (9 de Junio de 2008). *The Impact of Sandstone Strength's Behavior as a Results of Temperature Changes in Water Injectors*. Roma: Society of Petroleum Engineers.

Trabajos citados

- Almonte, H. C. (1 de Octubre de 2003). *Energías renovables y eficiencia energética en America Latina y el Caribe. Restricciones y Perspectivas*. Obtenido de <http://www19.iadb.org/intal/intalcdi/pe/2008/01876.pdf>
- Bonals, M. (1996). *Método de evaluación del ensuciamiento térmico en cambiadores de envolvente y tubos sin cambio de fase a partir de datos de proceso*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (2002). *Gestión Energetica Empresarial*. Cuba: Editorial Universidad de Cienfuegos.
- CEPAL. (2 de Septiembre de 2004). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2003-2004*. Recuperado el 4 de Octubre de 2016, de CEPAL:
<http://www.cepal.org/es/publicaciones/estudio-economico-de-america-latina-y-el-caribe-2003-2004>
- Chan, K. (22 de Octubre de 1995). Water Control Diagnostic Plots. *SPE-30775*. Dallas, Texas, EEUU: Thecnican and Conference.
- ENI S.p.A. (2012). *Villano Field Ecuador-Conceptual Study Summary Report*. Milan: Internal documentation No 1062400FGRV00604.

- Fasler, R. (2016). *Evaluación de consumos de energía en el sistema de Inyección de Agua en el yacimiento m1 de Eden Yuturi*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Flores. (2007). *Análisis de Proceso en Villano A*. Quito.
- Gongora, E., Lamorú, M., Columbié, A., Retirado, Y., Legrá, A., & Spencer, Y. (3 de Septiembre de 2009). *Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto*. Recuperado el 2 de Octubre de 2016, de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223515970002>
- Heredia, R. (Septiembre de 2002). *El impacto de la Tecnociencia en la sociedad contemporanea*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2016, de Educación MMM: <http://www.fmmeducacion.com.ar/Recursos/tecnociencia.htm>
- Holman. (1999). *Transferencia de Calor*. Mexico: ISBN 84-481.
- Incopera, D. (2003). *Fundamentos de transferencia de Calor*. Mexico: Sons J.W.
- Incopera, K. H. (2006). *Fundamentos de Transferencia de Calor y de Masa*. Mexico: Wiley.
- INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 50001:2012 Sistemas de gestión de la energía*. Quito: INEN.
- Jaillard, N. (1997). *Síntesis Estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y paleógeo de la Cuenca Oriental del Ecuador*. Quito.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. Mexico: Continental S.A.
- Laurencio. (2012). *Método para la obtención de la temperatura racional de bombeo de petróleos pesado*. Moa, Cuba: ENERMOA.
- Martín. (2011). *Apuntes de Transmisión de Calor*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Navarro, M. (2015). *Gestión en Plantas Industriales*. Madrid: Antonio Vicente Madrid.
- Negrete. (2010). *Estudio de Proceso en Villano A*. Quito.
- Pocohuanca. (10 de Noviembre de 2012). <http://www.monografias.com/trabajos82/evaluacion-proyectos-estados-financieros/evaluacion-proyectos-estados-financieros2.shtml#ixzz4SAGw0q2q>. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de Monografías.
- R. Correa, N. B. (2015). The Integarted Approach to Formation Water Management 2. *Society of Petroleum Engenniers*, 10.
- Ramos, N. (1989). *Bombas, ventiladores y compresores*. La Habana: ISPJA.
- Streeter. (2000). Coeficientes de Resistencia. En Steerer.
- Suarez. (2003). *Modelización de condensadores de centrales térmicas mediante métodos CFD y aplicación a la predicción del ensuciamiento*. España: Escuela Politecnica de Ingeniería de Jijón.
- Tobar, J. J. (9 de Junio de 2008). *The Impact of Sandstone Strength's Behavior as a Results of Temperature Changes in Water Injectors*. Roma: Society of Petroleum Engineers.

ANEXOS

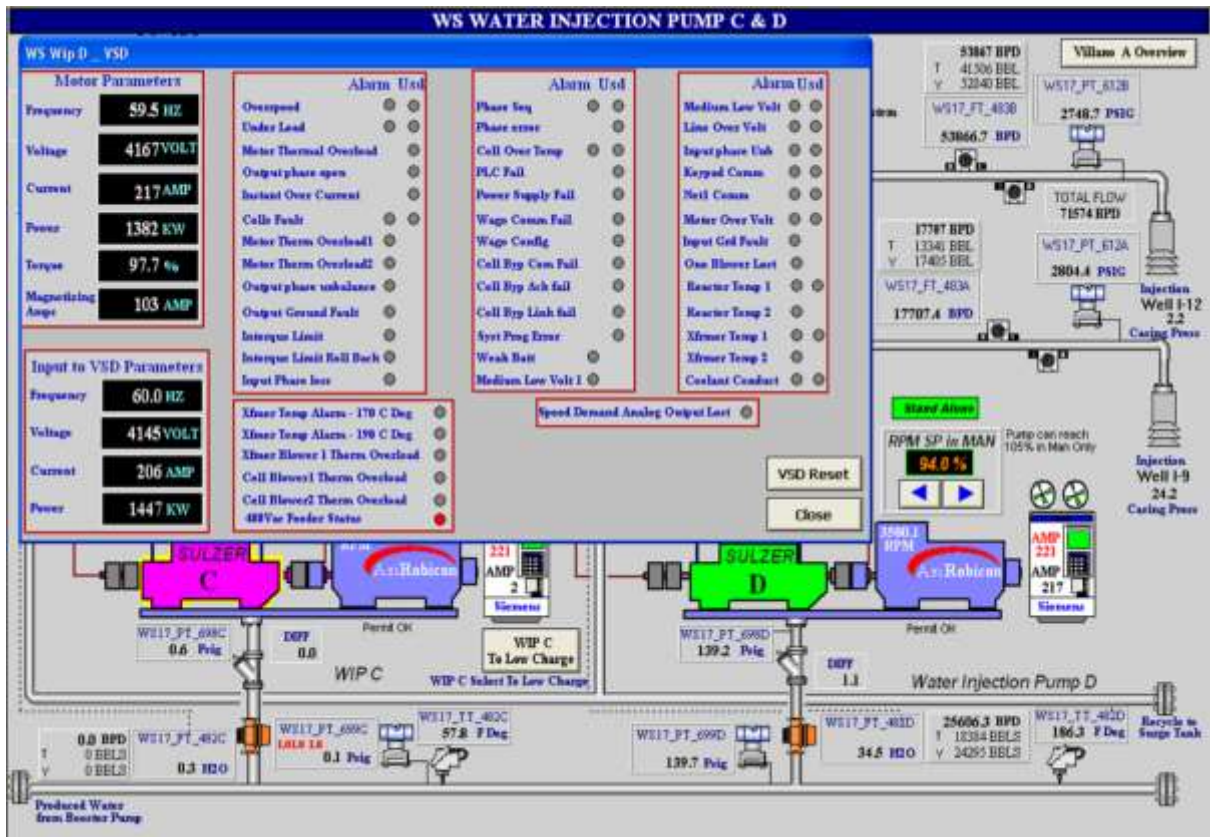
Anexo # 1 Datos de Energía Consumida 2012.

FECHA	ENERGY CONSUMPTION (MWH)			TOTAL AMP	ENERGIA MW/h	CONSUMO CRUDO	T °F	GROSS BFPD	PRODUC CION
	CABLE VILLANO 250	CABLE VILLANO	CPF						
7/1/2012	497		107	604	25.2	855	212	214205	15437.8
7/2/2012	504		115	619	25.8	888	212	213744	15362.2
7/3/2012	488		106	594	24.8	870	212	209192	14676.8
7/4/2012	472		104	576	24.0	825	212	203661	14011.3
7/5/2012	467		111	578	24.1	860	212	203990	14026.6
7/6/2012	471		108	578	24.1	918	212	204194	14029.9
7/7/2012	479		103	582	24.3	915	212	205532	14311.1
7/8/2012	495		116	611	25.5	1303	212	211752	14488.2
7/9/2012	495		106	601	25.1	1881	212	212588	14868.4
7/10/2012	488		121	609	25.4	1113	212	213001	15013.4
7/11/2012	500		110	610	25.4	862	212	212650	15004.8
7/12/2012	509		108	617	25.7	927	212	212641	15005.1
7/13/2012	502		117	619	25.8	970	212	213463	15078
7/14/2012	495		108	602	25.1	871	212	212316	15006.9
7/15/2012	498		110	608	25.4	849	212	214569	15151.1
7/16/2012	502		112	613	25.6	925	212	214887	15215.5
7/17/2012	495		118	613	25.5	942	212	212657	15019.2
7/18/2012	506		109	615	25.6	969	212	214998	15201.5
7/19/2012	501		110	611	25.5	884	212	215311	15231.3
7/20/2012	507		108	615	25.6	959	212	214852	15182.8
7/21/2012	500		103	604	25.2	793	212	215481	15235.8
7/22/2012	506		115	622	25.9	942	212	215236	15222.1
7/23/2012	499		104	602	25.1	906	212	215237	15228.7
7/24/2012	511		106	617	25.7	962	212	215416	15237.2
7/25/2012	502		101	603	25.1	779	212	215722	15245.2
7/26/2012	513		114	627	26.1	894	212	215204	15226.6
7/27/2012	512		112	624	26.0	904	212	215424	15239.8
7/28/2012	501		111	612	25.5	866	212	215890	15242.7
7/29/2012	516		112	628	26.2	955	212	215406	15207.7
7/30/2012	507		115	623	25.9	953	212	215448	15214.5
7/31/2012	512		100	612	25.5	937	212	215462	15025.4
8/1/2012	354	139	92	585	24.4	905	212	214205	14807.7
8/2/2012	340	129	101	570	23.7	861	212	213744	14019.8
8/3/2012	354	137	106	596	24.8	1063	212	209192	14802.9
8/4/2012	339	137	105	580	24.2	870	212	203661	14825.5
8/5/2012	272	107	83	462	19.2	672	212	203990	11807.7
8/6/2012	327	128	105	560	23.4	825	212	204194	14683
8/7/2012	348	135	99	582	24.3	909	212	205532	14508.6
8/8/2012	339	145	105	589	24.5	899	212	211752	14600.9
8/9/2012	322	133	106	561	23.4	1009	212	212588	13806
8/10/2012	345	154	114	613	25.5	1004	212	213001	15000.8
8/11/2012	353	157	116	626	26.1	1021	187	212650	15153
8/12/2012	339	155	114	608	25.3	997	187	212641	15280
8/13/2012	334	147	111	593	24.7	961	187	213463	15238
8/14/2012	343	144	114	600	25.0	915	187	212316	15267
8/15/2012	339	142	100	581	24.2	920	187	214569	15231
8/16/2012	335	144	109	587	24.5	897	183	214887	15210
8/17/2012	336	143	101	580	24.2	886	182	212657	15236
8/18/2012	345	144	103	592	24.7	898	185	214998	15324
8/19/2012	340	143	102	585	24.4	932	185	215311	15315
8/20/2012	336	142	84	561	23.4	859	185	214852	15297
8/21/2012	357	147	122	626	26.1	965	186	215481	15328
8/22/2012	359	147	116	622	25.9	957	185	215236	15727
8/23/2012	361	147	111	618	25.8	949	186	215237	15420
8/24/2012	363	146	113	621	25.9	980	185	215416	15308
8/25/2012	362	146	111	618	25.7	975	184	215722	15359
8/26/2012	363	146	105	614	25.6	952	185	215204	15254
8/27/2012	358	145	99	602	25.1	994	185	215424	15357
8/28/2012	358	144	96	599	25.0	933	185	215890	15306
8/29/2012	361	146	99	606	25.2	918	184	215406	15328
8/30/2012	358	144	98	600	25.0	956	187	215448	15302
8/31/2012	363	147	100	610	25.4	965	189	215462	15340

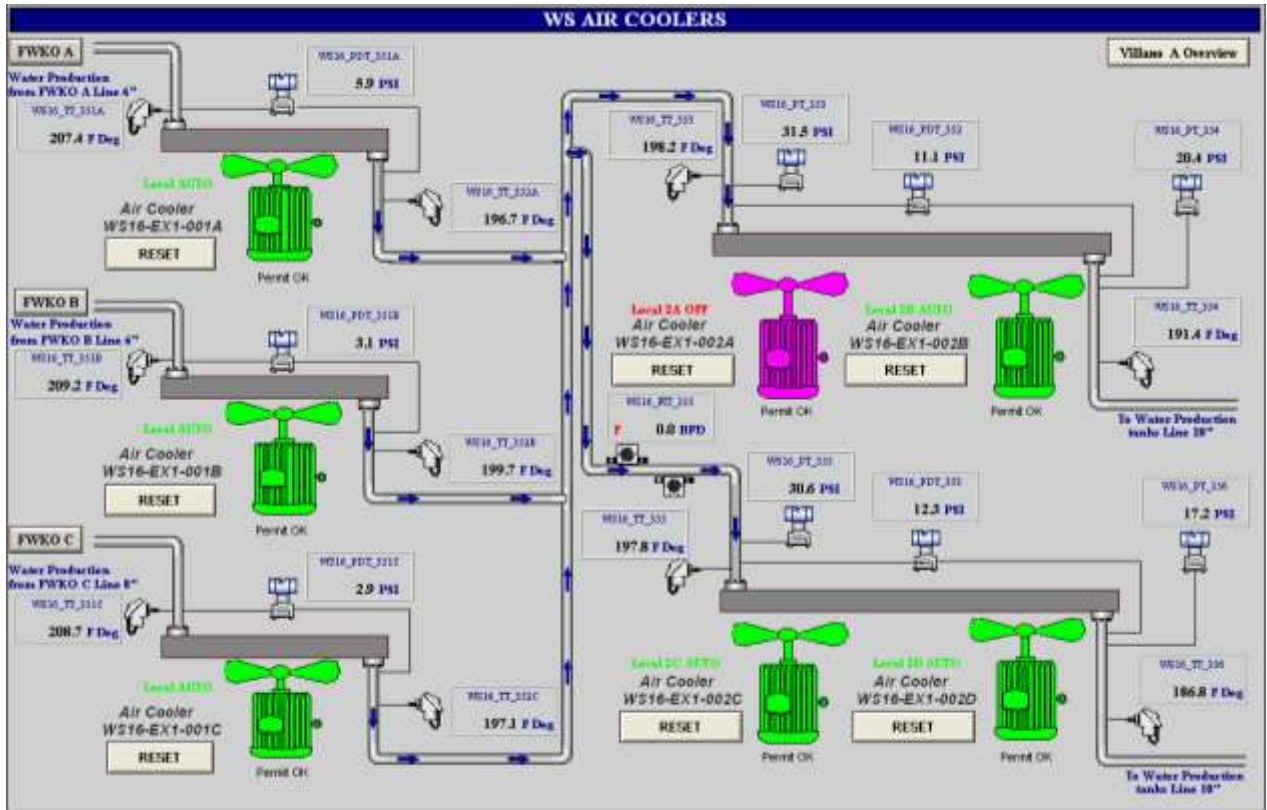
Anexo # 2 Datos de Energía Consumida 2013.

ENERGY CONSUMPTION (MWH)									
FECHA	CABLE VILLANO 250 MCM	CABLE VILLANO 350 MCM	CPF	TOTAL AMP	ENERGIA MW/H	CONSUMO DE CRUDO BLS	T °F	GROSS BFPD	PRODUCION DIARIA
11/1/2013	330	146	113	589	24.5	868	191	217054	12572
11/2/2013	330	145	113	588	24.5	866	190	216924	12559
11/3/2013	330	147	114	591	24.6	886	189	216148	12504
11/4/2013	333	149	114	596	24.8	893	190	216492	12524
11/5/2013	334	148	114	596	24.8	880	191	216757	12530
11/6/2013	333	149	114	596	24.8	891	191	216675	12541
11/7/2013	318	154	113	585	24.4	868	192	216802	12563
11/8/2013	322	156	115	593	24.7	873	192	216831	12574
11/9/2013	317	155	109	581	24.2	861	192	216865	12571
11/10/2013	321	156	114	590	24.6	877	192	216965	12572
11/11/2013	315	155	107	577	24.1	862	191	216902	12565
11/12/2013	314	155	110	579	24.1	855	190	217048	12561
11/13/2013	313	153	113	580	24.2	867	188	216787	12558
11/14/2013	314	155	109	577	24.1	853	189	216893	12568
11/15/2013	324	151	108	583	24.3	865	190	216829	12587
11/16/2013	326	156	105	586	24.4	866	191	217525	12583
11/17/2013	322	156	115	592	24.7	882	191	217499	12578
11/18/2013	321	156	98	575	24.0	851	191	217614	12581
11/19/2013	322	155	114	590	24.6	883	190	217438	12564
11/20/2013	319	155	109	582	24.3	877	188	217440	12574
11/21/2013	320	155	105	579	24.1	866	189	217240	12569
11/22/2013	320	155	114	589	24.5	886	189	217437	12513
11/23/2013	321	154	104	579	24.1	863	191	217529	12482
11/24/2013	321	154	107	582	24.3	869	191	217741	12467
11/25/2013	321	154	102	577	24.0	862	191	217909	12493
11/26/2013	323	155	115	593	24.7	890	190	217968	12467
11/27/2013	324	157	102	582	24.3	862	190	218561	12500
11/28/2013	332	156	117	605	25.2	895	191	218612	12484
11/29/2013	324	155	105	584	24.3	884	193	218810	12490
11/30/2013	329	156	112	597	24.9	908	191	219318	12524
12/1/2013	334	154	105	593	24.7	892	189	219737	12,539
12/2/2013	333	155	117	605	25.2	912	189	220018	12,548
12/3/2013	332	155	105	592	24.7	888	190	220020	12,513
12/4/2013	329	156	111	596	24.8	894	189	220253	12,491
12/5/2013	328	154	107	589	24.5	883	190	220310	12,496
12/6/2013	329	156	113	598	24.9	883	191	220280	12,503
12/7/2013	330	156	108	594	24.7	883	191	220243	12,494
12/8/2013	328	155	108	591	24.6	874	191	220248	12,507
12/9/2013	345	144	108	597	24.9	890	189	220001	12,489
12/10/2013	334	157	109	600	25.0	894	191	220213	12,506
12/11/2013	331	158	102	591	24.6	884	191	220494	12,513
12/12/2013	329	160	104	592	24.7	881	185	220330	12,509
12/13/2013	328	156	106	590	24.6	874	181	220309	12,506
12/14/2013	325	157	99	581	24.2	857	187	220607	12,458
12/15/2013	321	156	111	587	24.5	869	185	220647	12,521
12/16/2013	326	155	100	581	24.2	867	182	220702	12,525
12/17/2013	327	157	104	588	24.5	871	181	222216	12,558
12/18/2013	336	177	113	625	26.0	920	181	230082	12,981
12/19/2013	340	167	107	613	25.6	919	179	229791	13,052
12/20/2013	342	166	104	612	25.5	919	179	230109	13,135
12/21/2013	342	166	112	620	25.8	918	179	230385	13,144
12/22/2013	343	167	110	619	25.8	920	180	230826	13,208
12/23/2013	342	166	112	621	25.9	924	180	231103	13,212
12/24/2013	338	166	110	613	25.5	908	182	231115	13,211
12/25/2013	337	165	107	610	25.4	906	182	231040	13,185
12/26/2013	341	167	108	616	25.7	903	181	231109	13,177
12/27/2013	337	164	112	612	25.5	905	182	231262	13,151
12/28/2013	335	165	108	608	25.3	906	183	231420	13,115
12/29/2013	335	166	114	615	25.6	908	183	231408	13,070
12/30/2013	336	166	105	607	25.3	903	183	231427	13,006
12/31/2013	339	166	111	615	25.6	908	184	231564	12,992

Anexo # 3 Bombas de Inyección.



Anexo # 4 Aeroenfriadores.



Anexo # 5 Hoja de Cálculo de Eficiencia de Bombas de Inyección.

r %	Q m3/h	H m	N kW	NPSHr	v (m/s)	Re	Landa	R (s2/m5)	H (m)	Rs (m)	Hs (m)	NPSHd (m)	NPSHd (m)	NPSHd (m)
0	0	2450	22	0	0.00	0.00	#iDIV/0!	0.00	1988.46	0.00	0.00	103.14	105.57	107.29
66	160	2050	33	4	2.39	367570.15	0.01	2465.02	1993.33	833.44	1.65	101.49	103.93	105.65
62.5	350	1250	39	16	5.22	804059.71	0.01	1180.48	1999.62	815.99	7.71	95.42	97.86	99.58
												t=90	t=80	t=70

		t °C	Pv (kPa)	Dens (kg/m3)	Hv (m)
Dens (kg/m3)	999.8	90	70.1	965	7.40
Visc (Pa*s)	0.001	80	47.34	971.8	4.97
Coef loc	7	70	31.16	977.8	3.25
Dt (m)	0.154	60	19.92	983.2	2.07
Lt (m)	117				
dZ (m)	0				
Ls (m)	8				
Coef loc s	5				
dH s (m)	100.54				
Hatm (m)	10				
PDP (m)	1988.46				

Anexo # 6 Presión en la Cabeza de los Pozos Inyectores.

Fecha	I - 2	I - 5	I - 9	I - 12	I - 21	Fecha	I - 9	I - 12	I - 21
7/1/2012	3323		3438	3309	3585	11/1/2013	2992	3148	3265
7/2/2012	3327		3444	3314	3610	11/2/2013	2999	3150	3270
7/3/2012	3316		3419	3300	3616	11/3/2013	3038	3154	3291
7/4/2012	3283		2954	3271	3618	11/4/2013	3049	3160	3308
7/5/2012	3281		3384	3269	3612	11/5/2013	3027	3123	3276
7/6/2012	3287		3378	3261	3633	11/6/2013	3025	3132	3285
7/7/2012	3296		3408	3285	3629	11/7/2013	3071	3159	3326
7/8/2012	3321		3431	3307	3626	11/8/2013	3091	3206	3333
7/9/2012	3324		3434	3309	3624	11/9/2013	3080	3180	3323
7/10/2012	3321		3433	3309	3615	11/10/2013	3093	3189	3324
7/11/2012	3334		3409	3322	3653	11/11/2013	3051	3153	3313
7/12/2012	3344		3393	3341	3708	11/12/2013	3047	3121	3307
7/13/2012	3342		3385	3337	3704	11/13/2013	3017	3111	3293
7/14/2012	3333		3371	3325	3705	11/14/2013	3000	3110	3286
7/15/2012	3331		3366	3321	3719	11/15/2013	3070	3164	3295
7/16/2012	3335		3366	3316	3719	11/16/2013	3090	3228	3296
7/17/2012	3362		3317	3271	3723	11/17/2013	3082	3188	3303
7/18/2012	3365		3327	3278	3721	11/18/2013	3078	3197	3299
7/19/2012	3362		3324	3277	3721	11/19/2013	3059	3180	3292
7/20/2012	3360		3354	3303	3722	11/20/2013	3070	3177	3304
7/21/2012	3361		3348	3297	3718	11/21/2013	3064	3188	3300
7/22/2012	3367		3397	3292	3721	11/22/2013	3049	3209	3290
7/23/2012	3349		3338	3297	3721	11/23/2013	3055	3207	3321
7/24/2012	3340		3350	3299	3722	11/24/2013	3057	3209	3338
7/25/2012	3352		3380	3333	3726	11/25/2013	3073	3217	3335
7/26/2012	3356		3377	3328	3724	11/26/2013	3098	3225	3351
7/27/2012	3361		3378	3330	3727	11/27/2013	3101	3216	3353
7/28/2012	3372		3375	3328	3730	11/28/2013	3116	3205	3348
7/29/2012	3370		3380	3333	3728	11/29/2013	3129	3210	3360
7/30/2012	3333		3384	3334	3730	11/30/2013	3152	3235	3376
7/31/2012	3337		3378	3328	3714	12/1/2013	3084	3207	3373
8/1/2012	3366		3274	3239	3736	12/2/2013	3100	3220	3365
8/2/2012	3314		3270	3231	3725	12/3/2013	3149	3239	3372
8/3/2012	3265		3310	3225	3698	12/4/2013	3100	3216	3334
8/4/2012	3302		3253	3216	3698	12/5/2013	3081	3174	3320
8/5/2012	3320		3219	3181	3707	12/6/2013	3106	3180	3326
8/6/2012	3252		3144	2992	3644	12/7/2013	3130	3198	3338
8/7/2012	3200		3194	3045	3718	12/8/2013	3117	3192	3290
8/8/2012	3103		3198	3047	3726	12/9/2013	3141	3221	3253
8/9/2012	3137		3285	3132	3611	12/10/2013	3140	3221	3289
8/10/2012	3190		3332	3181	3719	12/11/2013	3142	3217	3290
8/11/2012	3244		3279	3123	3641	12/12/2013	3120	3238	3310
8/12/2012	3038		3057	2885	3494	12/13/2013	3069	3160	3266
8/13/2012	2896		2987	2810	3363	12/14/2013	3042	3164	3269
8/14/2012	2936		3001	2816	3287	12/15/2013	2986	3173	3285
8/15/2012	2913		2961	2768	3240	12/16/2013	3008	3144	3265
8/16/2012	2892		2908	2722	3242	12/17/2013	2948	3136	3271
8/17/2012	2853		2889	2685	3163	12/18/2013	2932	3108	3390
8/18/2012	2734		2923	2713	3135	12/19/2013	2955	3116	3199
8/19/2012	2662		2901	2690	3128	12/20/2013	2920	3115	3145
8/20/2012	2661		2858	2681	3120	12/21/2013	2908	3094	3139
8/21/2012	2792		3106	2866	3220	12/22/2013	2908	3090	3127
8/22/2012	0		3196	2944	3211	12/23/2013	2847	3081	3089
8/23/2012			3191	2936	3201	12/24/2013	2782	3030	3072
8/24/2012			3196	2947	3240	12/25/2013	2772	3031	3089
8/25/2012			3188	2938	3217	12/26/2013	2827	3047	3115
8/26/2012			3204	2947	3189	12/27/2013	2717	3034	3071
8/27/2012			3220	2962	3196	12/28/2013	2734	3027	3067
8/28/2012			3209	2950	3188	12/29/2013	2748	3030	3057
8/29/2012			3190	2930	3146	12/30/2013	2728	3035	3050
8/30/2012			3174	2915	3150	12/31/2013	2723	3056	3063
8/31/2012			3192	2937	3181				

