

**ESTUDIO TECNICO Y FINANCIERO PARA LA ADQUISICIÓN DE
VARIADORES DE FRECUENCIA CON APLICACIÓN EN UNIDADES DE
BOMBEO MECÁNICO EN LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES LA
CIRA INFANTAS DE ECOPETROL S.A.**

MARILUZ ESPINOSA SANDOVAL

LADY MARITZA SUAREZ AMAYA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2014

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

**ESTUDIO TECNICO Y FINANCIERO PARA LA ADQUISICIÓN DE
VARIADORES DE FRECUENCIA CON APLICACIÓN EN UNIDADES DE
BOMBEO MECÁNICO EN LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES LA
CIRA INFANTAS DE ECOPETROL S.A.**

**MARILUZ ESPINOSA SANDOVAL
LADY MARITZA SUAREZ AMAYA**

**Monografía presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos**

**Director:
CARLOS EDUARDO DÍAZ BOHÓRQUEZ
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A Dios, porque es nuestro Padre celestial y en los tiempos difíciles siempre está presente y nos brinda la posibilidad de prepararnos para grandes oportunidades si ponemos nuestra confianza en él.

A mis padres, por su amor y apoyo incondicional que siempre me han brindado en el transcurso de mi vida. A mis hermanos, porque sé que ellos se alegran de mis triunfos.

A mis compañeros de trabajo que me apoyaron y brindaron sus conocimientos para hacer posible este logro.

Lady

A mi hija María Fernanda con todo mi amor.

Mary

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Julio Melo y el Ing. Carlos Mercado Líderes del área de mantenimiento eléctrico de Ecopetrol S.A por brindarnos su apoyo incondicional y conocimientos en el desarrollo de la monografía.

A los compañeros de trabajo: Ing. Carlos Suarez, Ing. Jaime Gutierrez, Ing. Elkin Lara, Gabriel Acelas y Tomas Rojas por su colaboración y disposición para atender nuestras dudas y brindarnos su apoyo.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS) y todo el cuerpo docente que estuvo presente en el transcurso de la especialización porque con sus conocimientos construyen en nosotros personas profesionalmente integra.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
OBJETIVOS	20
OBJETIVO GENERAL.....	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1 ALCANCE.....	22
2 LOCALIZACIÓN.....	23
3 DETALLE DEL PROCESO	25
4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	31
5 SELECCIÓN DE MARCAS	33
6 ANÁLISIS TÉCNICO.....	35
6.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	35
6.2 LITERATURA TÉCNICA	36
6.2.1 Variador de Frecuencia ABB ASC800-11.....	38
6.2.2 Variador de Frecuencia UNICO® modelo 1100.	39
6.2.3 Variador de Frecuencia YASKAWA A1000.	40
6.2.4 Variador de Frecuencia DANFOSS FC302.	40
6.3 ESTUDIO DETALLADO	43
6.3.1 Costos del riesgo base	43
6.3.2 Costos del riesgo con proyecto	46
6.4 PRESUPUESTO	48
6.5 CRONOGRAMA DE HITOS	49
6.6 RIESGOS DEL PROYECTO	50

6.7 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.....	53
7 EVALUACIÓN FINANCIERA	54
7.1 FACTOR J.....	54
7.2 CONSIDERACIONES GENERALES.....	55
7.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	56
7.3.1 Presentación de resultados	56
7.3.2 Interpretación de resultados	67
CONCLUSIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica campo La Cira Infantas	23
Figura 2. Unidad de Bombeo Mecánico	25
Figura 3. Tipos de Controles eléctricos	26
Figura 4. Sistema de extracción por UBM	27
Figura 5. Pozo inyector de agua.....	28
Figura 6.Cambio de velocidad mecánico.....	29
Figura 7. Polea tipo C.....	29
Figura 8. Cambio de velocidad con VFD	30
Figura 9.Esquema general del VFD	37
Figura 10. Variador ABB ACS800-11	38
Figura 11. Variador UNICO® 1100.....	39
Figura 12. Variador YASKAWA A1000.....	40
Figura 13. Variador DANFOSS FC302.....	41
Figura 14. Matriz de valoración de riesgos de Ecopetrol.....	51
Figura 15. Análisis incremental	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Evaluación cuantitativa de las marcas.....	33
Tabla 2. Pozos Seleccionados Campo la Cira - Infantas.....	35
Tabla 3. Resumen de las características de los variadores de frecuencia	42
Tabla 4. Costos de mano de obra por cambio de velocidad mecánico	44
Tabla 5. Costo de materiales por cambio de velocidad mecánico.....	44
Tabla 6. Costo de producción diferida por ejecución.....	45
Tabla 7. Mantenimiento	45
Tabla 8. Consumo de energía	46
Tabla 9. Costos de adquisición e instalación.....	46
Tabla 10. Costo de mantenimiento.....	47
Tabla 11. Consumo de energía con VFD	47
Tabla 12. Ganancia de producción.....	48
Tabla 13. Presupuesto	49
Tabla 14. Cronograma de hitos	50
Tabla 15. Riesgos del proyecto	52
Tabla 16. Interpretación resultado Factor J.....	54
Tabla 17. Flujo de caja del Riesgo base.....	57
Tabla 18. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD ABB ACS800-11).....	59
Tabla 19. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD UNICO® 1100)	61
Tabla 20. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD YASKAWA A1000)	63
Tabla 21. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD DANFOSS FC302)	65
Tabla 22. Comparación resultados Factor J.....	67
Tabla 23. Resultados del análisis incremental	67

GLOSARIO

AC: Corriente alterna

ACCIDENTE: Incidente con consecuencias reales.

AIU: Administración, Imprevistos y Utilidades.

ARENAMIENTO: Condición que sucede cuando el crudo extraído contiene arena. Esto produce una restricción súbita y significativa para el flujo de fluidos que ocasiona un rápido incremento de la presión de bombeo.

ARMÓNICO: Señal que modifica la red eléctrica y es causada por el variador de frecuencia.

AS: Arrancador Suave.

BPPD: Barriles de Producción por Día.

CDC: Control directo Convencional

CONTACTOR DE BYPASS: Contactador que enclava en el instante que el Arrancador Suave termina la rampa de arranque, quedando energizado el motor directamente de la red.

CONTINGENCIA: Es una cantidad de dinero o tiempo que la experiencia ó un análisis de riesgos demuestra que debe ser adicionada al estimado de costos ó cronograma.

CONTROL VECTORIAL: Es una estrategia usada para dirigir un variador de frecuencia y lograr control desacoplado de par motor y flujo magnético en motores eléctricos.

COP: Pesos colombianos.

DC: Corriente directa o corriente continúa.

DIFERIDA: Es el volumen de crudo que por diversas razones no se produce de acuerdo al potencial esperado en un determinado momento.

ELLIPSE: Software Mincom Ellipse, programa utilizado por Ecopetrol S.A. para Gestionar en tiempo real el mantenimiento de activos.

ESCALACIÓN: Cambios en niveles de precios bases de estimación inducidos por las condiciones económicas.

ESP: Bombas Electro Sumergibles.

ESPCP: Bombeo Electro Sumergible por Cavidades Progresivas.

FACTOR J: Es la metodología que utiliza ECOPETROL S.A para los proyectos de Inversión y su función es establecer una comparación relativa de los beneficios marginales de un proyecto, generados por una inversión de capital.

FRENTE ACTIVO REGENERATIVO: Tecnología que asume la energía generado por el motor devolviéndola a la red eléctrica.

GRMM: Gerencia Regional Magdalena Medio

HORAS HOMBRE (HH): Corresponde al tiempo utilizado por un ejecutor para realizar las actividades requeridas para atender completamente una orden de trabajo.

HSE: Seguridad, salud ocupacional y ambiente (Health, Safety, Environment)

ICO: Inversión de Continuidad Operativa.

IGBT's: Transistores bipolares de puerta aislada (Insulated Gate Bipolar Transistor)

INCIDENTE: Circunstancia o suceso que sucede de manera inesperada.

INTERFERENCIA DE GAS: Fenómeno que se produce cuando el gas ingresa a la bomba de varilla de succión del subsuelo.

KUSD: Miles de dólares.

KW: Kilovatio (KiloWatt)

KW-h: Kilovatio-hora

LCI: La Cira Infantas.

MANTENIMIENTO MEJORATIVO: Rediseño, consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Su propósito es prever las fallas manteniendo los procesos, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

PCP: Bombas de Cavidad Progresiva.

POLEA CONDUCTIDA: Está unida al eje conducido (UBM).

POLEA CONDUCTORA: Está unida al eje conductor (motor eléctrico).

POTENCIAL DEL POZO: Es el máximo caudal de Producción de un pozo.

PRECIOS CONSTANTES: Es el valor de las operaciones a un precio que es elegido como base y por lo tanto no tiene efecto inflacionario.

PWM: Modulación por Ancho de pulso (Pulse Width Modulation).

RAM: Matriz de valoración de riesgos de Ecopetrol S.A. (Risk Assessment Matrix)

RESISTENCIA DE FRENO: Módulo compuesto por un transistor y una resistencia, su función es quemar la energía producto de la regeneración en el motor, esta opción es activada en las Unidades de Bombeo Mecánico.

SCI: Superintendencia de Operaciones La Cira Infantas.

TMRR: Tasa Mínima de Rentabilidad Requerida.

TRM: Tasa Representativa del Mercado.

UBM: Unidad de Bombeo Mecánico.

VFD: Variador de frecuencia (Variable Frequency Drive).

VOLTAJE (TENSIÓN): Es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica.

RESUMEN

TITULO: “ESTUDIO TECNICO Y FINANCIERO PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIADORES DE FRECUENCIA CON APLICACIÓN EN UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO EN LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES LA CIRA INFANTAS DE ECOPETROL S.A..”*

AUTORES: MARILUZ ESPINOSA SANDOVAL. Ingeniera Industrial.**
LADY MARITZA SUAREZ AMAYA. Ingeniera de Producción.

PALABRAS CLAVES: Unidad de Bombeo Mecánico, Adquisición, Variador de Frecuencia, Producción Diferida, Cambio de Velocidad, Análisis Técnico, Análisis Financiero.

DESCRIPCIÓN:

La Superintendencia de Operaciones la Cira Infantas (SCI) es un campo que se encuentra en recuperación, cuenta con 909 pozos de los cuales 710 son Unidad de Bombeo Mecánico (UBM); una de las metas previstas para el 2015 es llegar a los 50 mil barriles motivo por el cual se debe garantizar la producción de crudo. Por el dinamismo del campo se genera constantemente solicitudes que requieren de aumento y disminución de velocidad en las UBM para mantener los niveles de crudo en los pozos, esta es una actividad que puede requerir demoras en tiempo de ejecución si no se cuenta con un variador de frecuencia.

Teniendo en cuenta la problemática mencionada anteriormente en esta monografía se plantea un estudio técnico y financiero para la adquisición de variadores de frecuencia ya que el 82% de las UBM requieren parar el pozo para el cambio de polea generando así producción diferida, costos en mano de obra y equipo ya que no cuenta con el variador de frecuencia para realizar la actividad de forma rápida y segura.

Para la definición del estudio técnico se seleccionan diferentes referencias de variadores de frecuencia que cumplan con las características técnicas para cubrir la necesidad del campo. Los resultados de este estudio se contemplan en la evaluación financiera que finalmente permitirá conocer la viabilidad de la adquisición del variador de frecuencia para la UBM.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. - Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. - Especialización en Evaluación y Gerencia de Proyectos. - Director: Carlos Eduardo Díaz Bohórquez. - Ingeniero Industrial.

ABSTRACT

TITLE: “TECHNICAL AND FINANCIAL STUDY FOR THE ACQUISITION OF VARIABLE FREQUENCY DRIVE WITH APPLICATION IN MECHANICAL PUMP UNITS IN OPERATIONS SUPERINTENDENT OF THE CIRA INFANTAS OF ECOPETROL S.A.”*

AUTHORS: MARILUZ ESPINOSA SANDOVAL. Industrial Engineer.**
LADY MARITZA SUAREZ AMAYA. Production Engineer.

KEY WORDS: Mechanical Pump Unit, Acquisition, Variable Frequency Drive, Deferred Production, Speed Change, Technical analysis, Financial Analysis.

DESCRIPCIÓN:

Operations Superintendent of the Cira Infantas (SCI) is a field that is in recovery, has 909 wells of which 710 are Pumping Unit Mechanic (PUM) , one of the goals set for 2015 is to reach 50 thousand barrels reason why should ensure oil production. Through the dynamism of the field requests requiring field increase and decrease speed on UBM to maintain levels of oil wells is constantly generated, this is an activity that may require delays at runtime if it does not count on a variable frequency .

Taking into account the problematic discussed above, in this paper we propose a technical and financial study for the acquisition of frequency arises because 82 % of (PUM) require the well to stop the speed change generating deferred production , labor costs and team work due that there is not with the inverter for the activity quickly and safely.

For the definition of the technical study we selected different references inverters comply with the technical specifications to satisfy the need of the field is selected. The results of this study are contemplated in the financial evaluation which ultimately will reveal the feasibility of acquiring the inverter to the PUM.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physical Mechanical. School of Industrial and Management Studies. Specialization in Evaluation and Project Management. Director: Carlos Eduardo Diaz Bohorquez. Industrial Engineer.

INTRODUCCIÓN

En Ecopetrol S.A el Mantenimiento es un área fundamental para la confiabilidad de los equipos y por ende garantiza la competitividad de la empresa; es un pilar estratégico por lo tanto requiere de una inversión que en corto, mediano o largo plazo implicará una rentabilidad financiera mayor al optimizar la condición de los activos.

Dentro de las actividades de mayor relevancia para la producción e integridad de los equipos de subsuelo se encuentra los cambios de velocidad en las unidades de bombeo, los cuales se realizan mecánicamente por cambio de polea en el motor o eléctricamente por instalación de variador. El cambio de polea implica detener el pozo cada vez que se requiera cambiar velocidad y esto genera producción diferida afectando indicadores de desempeño y mayor tiempo de horas hombre en la actividad. Con el variador de frecuencia se tiene la facilidad para cambiar la velocidad de una forma rápida, flexible y generar un menor consumo de energía.

Dada las necesidades que tiene el campo, en esta monografía se quiere proponer un estudio de prefactibilidad para evaluar si es viable técnica y financieramente la adquisición de variadores para generar un aumento de la producción, bajar el índice de falla, un menor consumo de energía y disminuir los tiempos de parada de los equipos.

El desarrollo del estudio inicia con el análisis de la situación actual, la cantidad de pozos con UBM y su respectivo control eléctrico que actualmente existen en el campo La Cira Infantas según datos suministrados por Control de Producción, esto con el fin de ubicar al lector en el contexto de la monografía.

Para el estudio técnico se tienen en cuenta los aspectos técnicos requeridos por la operación y la experiencia del personal de campo para tener el conocimiento acerca de las especificaciones y seleccionar de manera más acertada el equipo que cumpla con las características requeridas en la operación.

Para la ejecución del estudio técnico, se realiza la selección de los pozos para la instalación del VFD consultando datos históricos y la selección de marcas según criterios de mantenimiento y producción siendo evaluadas por expertos del campo petrolero para elegir las 4 marcas con mayor puntuación para que luego sean evaluados sus costos con riesgo base y riesgo con proyecto.

Los resultados de este estudio se observan en la evaluación financiera utilizando el método del factor J que finalmente, permitirá conocer la viabilidad para adquirir los variadores que satisfagan las necesidades del campo y su respectivo orden de elegibilidad.

OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio técnico y financiero para reemplazar controles directos y arrancadores suaves por variadores de frecuencia en unidades de bombeo mecánico en el campo la Cira – Infantas

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar los pozos a los cuales sería conveniente instalar variador de frecuencia para realizar el cálculo de costos riesgo base y riesgo con proyecto.
- Identificar las diferentes referencias de variadores con aplicación en Unidad de Bombeo Mecánico con base en consulta de expertos y seleccionar las cuatro marcas con mayor aceptación.
- Identificar las especificaciones técnicas de cada referencia de variador seleccionado, revisando las páginas web y consultando a los distribuidores para determinar las ventajas y desventajas de cada referencia.
- Realizar los cálculos de costos del riesgo base para los pozos seleccionados teniendo en cuenta mano de obra, producción diferida, mantenimiento preventivo y consumo de energía.
- Realizar los cálculos de costos del riesgo con proyecto para los pozos seleccionados teniendo en cuenta la inversión inicial, mano de obra por

instalación, mantenimiento preventivo, consumo de energía y ganancia de producción.

- Realizar el estudio financiero utilizando como método de evaluación el factor J para determinar el orden de elegibilidad de la adquisición de los variadores de frecuencia.

1 ALCANCE

Este proyecto consiste en realizar un estudio de prefactibilidad técnico y financiero para adquirir 30 variadores de frecuencia para el campo La Cira Infantas de Ecopetrol S.A. con el propósito de disminuir producción diferida por cambios de velocidad, costos por mano de obra y consumo de energía eléctrica. Como resultado del proyecto se presentará un orden elegibilidad de las referencias de variadores de frecuencia que resulten aceptables según el método del factor J.

2 LOCALIZACIÓN

Los campos la Cira-Infantas están ubicados en el valle del Rio Magdalena en el corregimiento el Centro a 22 kilómetros al sur de Barrancabermeja y a unos 300 kilómetros del nororiente de Bogotá, cuenta con una extensión de 160 Km² y 909 pozos productores. (Ver Figura 1)

Figura 1. Ubicación geográfica campo La Cira Infantas



Fuente: Google Earth

A mediados del 2003, ya casi en la producción más baja de su historia, Ecopetrol decidió plantear en esos míticos escenarios un negocio de producción incremental y firmar una alianza para invertir en esa propuesta de recuperación y crecimiento.

El 6 de Septiembre del 2005 con la Agencia Nacional de Hidrocarburos se firma el Proyecto La Cira Infantas entre Ecopetrol y la OXY con el fin de recuperar así un gran porcentaje de las reservas que no han sido extraídas.

La producción promedio diaria del campo La Cira Infantas, paso de 5 mil barriles en 2005 a 35 mil barriles en el 2012. Se calcula que llegará a 50 mil barriles en el 2015, esta es la historia más reciente de la cadena de éxito del campo más antiguo de Ecopetrol.

El objeto de estudio se concentra en la Superintendencia la Cira Infantas (SCI) que pertenece a La Gerencia Regional Magdalena Medio (GRMM) y de la cual también hace parte la Superintendencia de Operaciones de Mares, y Superintendencia de Operaciones del Rio (SOR).

3 DETALLE DEL PROCESO

Para la extracción de crudo en el campo La Cira Infantas se utilizan cuatro (4) sistemas de levantamiento: Unidad de Bombeo Mecánico (UBM), Bombas de Cavidad Progresiva (PCP), Bombas Electro Sumergibles (ESP) y Bombeo Electro Sumergible por Cavidades Progresivas (ESPCP)

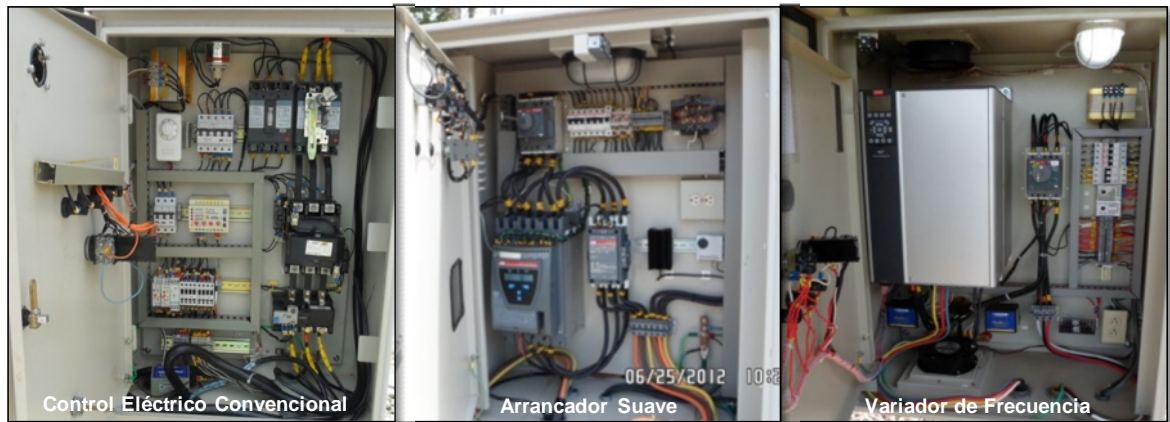
Figura 2. Unidad de Bombeo Mecánico



Fuente: Equipos propiedad de Ecopetrol S.A.– SCI

Para el presente trabajo el objeto de estudio es el sistema de extracción por medio de la Unidad de Bombeo Mecánico (Figura 2) y su respectivo control eléctrico (Figura 3). Actualmente existen tres (3) tipos de controles eléctricos que son: Control Directo Convencional (CDC), Arrancador Suave (AS) y Variador de Frecuencia (VFD, por sus siglas en inglés Variable Frequency Drive).

Figura 3. Tipos de Controles eléctricos



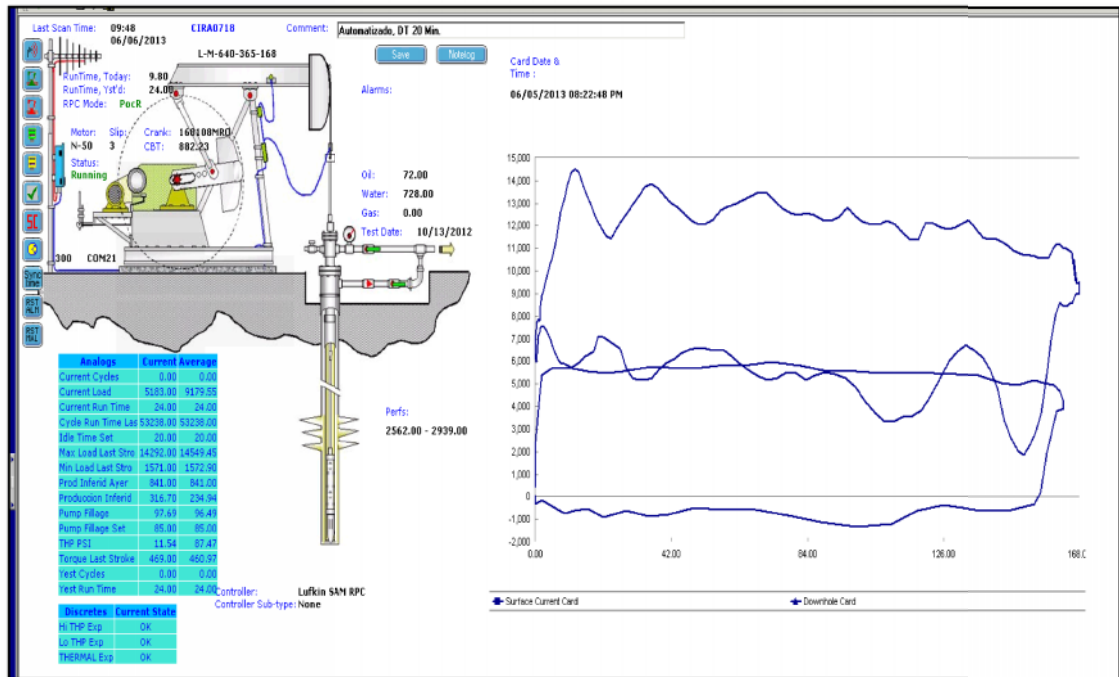
Fuente: Equipos propiedad de Ecopetrol S.A. – SCI

La función del control eléctrico es energizar o des-energizar el motor eléctrico de la unidad de bombeo y proteger el motor de las diferentes fallas eléctricas y mecánicas. El Control Directo Convencional da la energía al motor de manera directa por medio de un contactor y algunas protecciones electromecánicas básicas. El arrancador suave brinda además como función principal la reducción de corriente en el arranque y la protección electrónica del motor. Los variadores de frecuencia, adicional a las ventajas de los arrancadores suaves, tienen la función del control de velocidad del motor eléctrico, protege al motor y monitorea las diferentes variables eléctricas y mecánicas con mayor precisión que los otros dos tipos de controles eléctricos.

El equipo de trabajo encargado del control de la producción solicita continuamente cambios de velocidad para aumentar o disminuir la velocidad de operación de la UBM ocasionado generalmente por algunos de los siguientes factores:

- Parada prolongada del pozo por un cambio de potencia en el sistema de extracción (ver figura 4): esta actividad genera una disminución de velocidad al momento del arranque y un aumento cuando el pozo se encuentre en condiciones normales de producción.

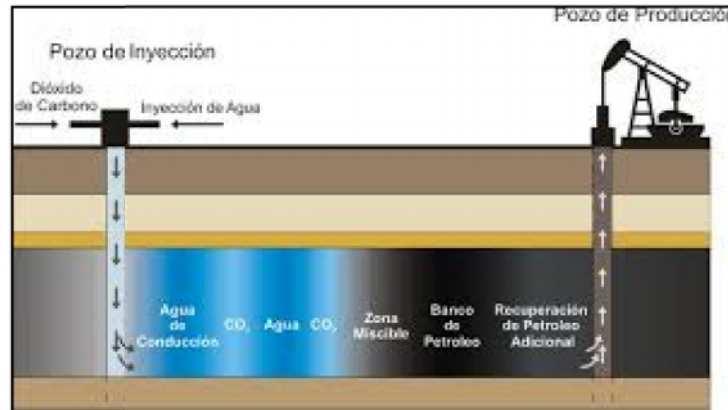
Figura 4. Sistema de extracción por UBM



Fuente: Ecopetrol S.A.

- Disminución del nivel de crudo en el yacimiento: el campo La Cira Infantas es un campo en recuperación por lo cual se requiere de pozos inyectoros de agua para llevar el crudo hacia el pozo de producción (ver figura 5). Una falla en el pozo inyector ocasiona una disminución del nivel de crudo, posibles problemas de arenamiento, ineficiencia en el llenado de la bomba por interferencia de gas o daños en la bomba de subsuelo requiriendo una disminución de velocidad de manera inmediata.

Figura 5. Pozo inyector de agua



FUENTE: http://laotraopinion.net/recursos-naturales/futuro-del-petroleo/petroleo_recuperacion/

- Aumento del nivel de crudo en el yacimiento: se requiere una aumento de velocidad.

El cambio de velocidad en una UBM depende de la velocidad del giro del motor, del diámetro de la polea conducida, ubicada en la caja reductora y el diámetro de la polea conductora, ubicada en el eje del motor. Cuando el control del motor es realizado a través de un arrancador suave o control directo, no se puede manipular la velocidad de giro del motor, por lo que en este caso solo queda variar los diámetros de las poleas para modificar la velocidad lo más cercana a la solicitada. Por la dificultad que requiere el cambio de la polea conducida, además que es propia de cada modelo de UBM, es preciso solo cambiar el diámetro de la polea conductora en el momento que se requiera aumentar o disminuir la velocidad de extracción de crudo. Es importante tener en cuenta que al ser la polea conducida constante en su diámetro, la velocidad de giro queda directamente proporcional al diámetro de la polea conductora, es decir, para aumentar velocidad se instala una polea de mayor diámetro y para disminuir una polea de menor diámetro.

Para el cambio de polea en el motor eléctrico se debe disponer de horas hombre, un camión con brazo articulado para retirar el guarda correas de la UBM y la polea específica para ajustar la velocidad solicitada. La actividad dura en promedio dos (2) horas con una parada del equipo de una (1) hora la cual se contabiliza como producción diferida.

Figura 6. Cambio de velocidad mecánico



Fuente: Ecopetrol S.A. – SCI

El material utilizado para realizar el aumento de velocidad son poleas fabricadas en hierro fundido tipo C y bujes cónicos tipo QD cuyo diámetro interno debe coincidir con el eje del motor eléctrico.

Figura 7. Polea tipo C



Fuente: Catalogo Maska

Para el caso del variador de frecuencia el ajuste de velocidad se realiza de manera instantánea ajustando la frecuencia de referencia y por seguridad mecánica y eléctrica el límite máximo y mínimo de la ventana de operación de frecuencia dependiendo de las características del motor y la UBM. La descripción del variador de frecuencia se realiza de manera detallada en la sección 6.2.

Figura 8. Cambio de velocidad con VFD



Fuente: Ecopetrol S.A. – SCI

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Superintendencia de Operaciones La Cira Infantas (SCI) se realizan proyectos de Inversión de Continuidad Operativa (ICO) para las diferentes áreas de mantenimiento. Los proyectos realizados anteriormente para compra de variadores de frecuencia solo consideraban costos de diferida por cambio de polea y ahorro de energía para una referencia específica de variador de frecuencia, dejando a un lado los beneficios que estos equipos aportan al departamento de producción.

Otro factor relevante es el número de pozos que actualmente son susceptibles de cambio de polea. A Septiembre de 2013, 710 pozos cuentan con un sistema de levantamiento por UBM, de los cuales solo 125 cuentan con VFD los 585 pozos restantes tienen instalado un control directo o un arrancador suave siendo necesario el cambio de polea mecánico. Control de producción solicita continuamente a mantenimiento eléctrico aumentos o disminución de velocidad de operación de la UBM con el fin de evitar daños en el equipo de subsuelo; si la actividad se realiza de forma mecánica se incurre en costos por mano de obra, alquiler de camión grúa y producción diferida por tiempos de parada de la UBM mientras que el VFD permite de manera instantánea realizar esta actividad.

Adicional a lo anterior, con el cambio de polea mecánico los trabajadores están expuestos a incidentes o accidentes ya sea por contacto con equipos energizados contacto con la carga izada, machucones o atrapamientos de sus extremidades cada vez que ejecutan la actividad, mientras que con la instalación de variador solo están expuestos a estos riesgos durante la instalación. Estas lesiones traen como consecuencia afectación a la familia, al trabajador y una disminución de

calificación para la empresa contratista que ejecuta la actividad al igual que la afectación de la imagen corporativa de Ecopetrol S.A..

Otro beneficio del uso del VFD tienen que ver con el ahorro de energía, al variar la frecuencia del motor de acuerdo a la potencia requerida por la UBM, el consumo en kW-h disminuye con respecto al uso de CDC y AS reduciendo de manera significativa los costos de operación.

Una ventaja adicional con la instalación del VFD se relaciona con la automatización de los pozos para lo cual el variador controlaría de manera automática por medio de una tarjeta electrónica los cambios velocidad de acuerdo al nivel del crudo en el yacimiento.

5 SELECCIÓN DE MARCAS

En el mercado se puede encontrar una gran variedad de marcas de variadores de frecuencia siendo unos más eficientes que otros en algunos campos. Entre las marcas más reconocidas para la industria del petróleo se encuentran SIEMENS, ABB, TOSHIBA, UNICO, BALDOR, YASKAWA y DANFOSS.

Para el presente trabajo se realiza una calificación cuantitativa con base en las consideraciones de expertos. La escala de valoración es (1) Deficiente, (2) Aceptable, (3) Bueno y (4) Excelente. Los criterios se establecen con base a los requisitos o necesidades del área de mantenimiento y producción dar continuación para seleccionar las cuatro marcas con mayor puntuación y al desarrollo del estudio técnico.

Tabla 1. Evaluación cuantitativa de las marcas

CRITERIO	SIEMENS	ABB	TOSHIBA	UNICO®	BALDOR	YASKAWA	DANFOSS
Facilidad para la automatización de los pozos para la extracción de crudo.	1,50	4,00	2,00	3,50	1,50	3,00	2,50
Confiabilidad del equipo dada su experiencia en otros campos de extracción de crudo.	1,50	3,75	2,00	3,50	2,00	4,00	3,00
Eficiencia en ahorro energético.	3,00	3,75	2,00	3,25	2,50	3,50	2,50
Garantía y servicio técnico.	1,00	2,00	1,50	3,25	1,00	2,25	4,00
Facilidad para la adquisición de repuestos.	2,00	2,75	1,50	3,00	1,00	2,25	4,00

Tabla 1. (Continuación)

CRITERIO	SIEMENS	ABB	TOSHIBA	UNICO®	BALDOR	YASKAWA	DANFOSS
Facilidad interacción equipo-operador.	1,50	3,50	1,50	3,00	1,50	2,25	4,00
Facilidad para su adaptación a diferentes aplicaciones.	3,00	3,75	1,50	3,00	2,50	2,50	3,00
TOTAL	1,93	3,36	1,71	3,21	1,71	2,82	3,29

FUENTE: Evaluación de expertos

En la tabla 1 se presenta el consolidado promedio de las calificaciones realizadas por cada uno de los integrantes del grupo de expertos. Según los datos obtenidos, se seleccionan las marcas ABB, UNICO®, YASKAWA y DANFOSS por tener las puntuaciones más altas.

6 ANÁLISIS TÉCNICO

6.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

A Septiembre de 2013 la Cira Infantas cuenta con 909 pozos productores en el campo entre los diversos sistemas de levantamiento con una producción de 46.996 BPPD¹. Como ya se había mencionado anteriormente en el campo existen 710 Unidades de Bombeo Mecánico que corresponden aproximadamente al 78% de los pozos productores. Para el escenario propuesto se seleccionaron 30 pozos teniendo en cuenta tres (3) criterios: el presupuesto anual para proyectos de inversión, el número de cambios de polea registrados en Ellipse² en los años 2011, 2012 y lo registrado a Septiembre de 2013 y los barriles de producción por día de cada pozo. En la tabla 1 se encuentran los pozos seleccionados para realizar el estudio técnico y financiero del proyecto.

Tabla 2. Pozos Seleccionados Campo la Cira - Infantas

POZOS	TIPO CONTROL ELÉCTRICO	POTENCIA MOTOR (kW)
POZO 1	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 2	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 3	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 4	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 5	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 6	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 7	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 8	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 9	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 10	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 11	ARRANCADOR SUAVE	75

¹ Archivo Potenciales 2013 SCI Septiembre

² Software para la gestión de mantenimiento de Ecopetrol S.A.

Tabla 2. (Continuación)

POZOS	TIPO CONTROL ELÉCTRICO	POTENCIA MOTOR (kW)
POZO 12	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 13	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 14	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 15	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 16	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 17	ARRANCADOR SUAVE	75
POZO 18	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 19	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 20	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 21	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 22	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 23	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 24	CONTROL DIRECTO	37
POZO 25	CONTROL DIRECTO	37
POZO 26	CONTROL DIRECTO	37
POZO 27	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 28	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 29	ARRANCADOR SUAVE	37
POZO 30	CONTROL DIRECTO	37

Fuente: Módulo MSQ 620 Sistema Ellipse.

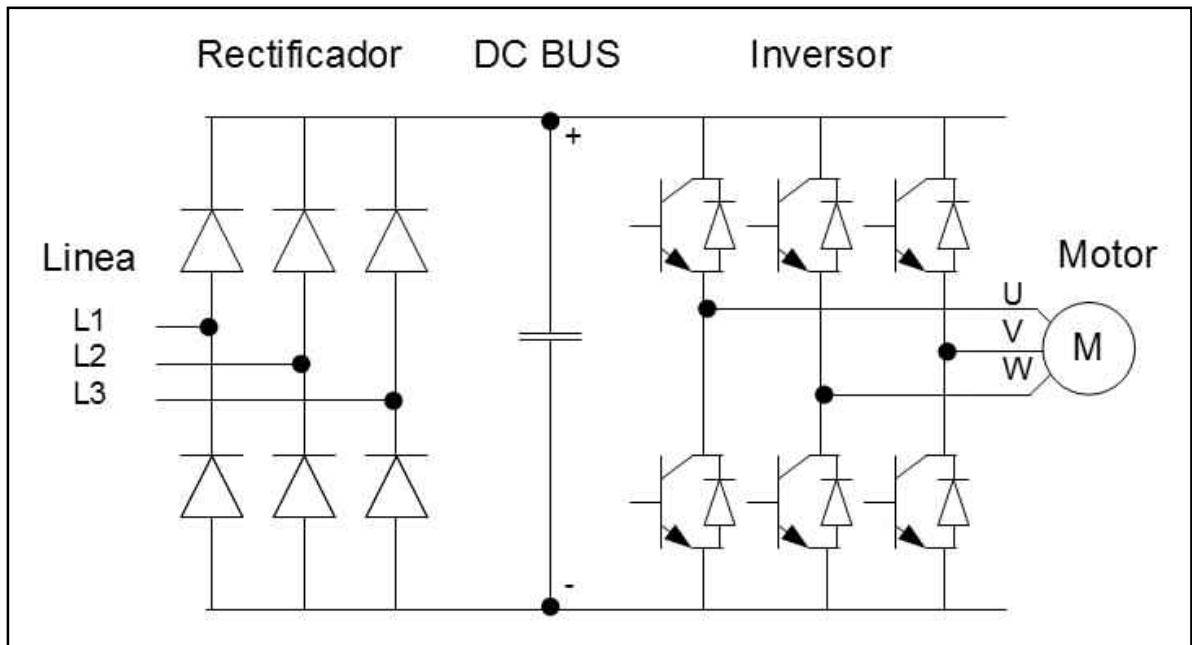
De la revisión de facilidades eléctricas realizada en los 30 pozos seleccionados 17 requieren VFD de 75 kW y 13 VFD de 37 Kw.

6.2 LITERATURA TÉCNICA

En la actualidad el uso del variador de frecuencia ha tenido gran auge en el sector industrial porque permite proteger, medir y monitorear los equipos, controlar el

voltaje, corriente y frecuencia que se suministra al motor eléctrico contribuyendo al ahorro de energía. La tecnología utilizada por la mayoría de los VFD es la Modulación por Ancho de pulso (PWM, Pulse Width Modulation) que al trabajar con base en transistores bipolares de puerta aislada (IGBT's, Insulated Gate Bipolar Transistor) se convierte en la mejor tecnología a nivel mundial.

Figura 9. Esquema general del VFD



Fuente: <http://www.infoplcn.net/blog4/2010/02/16/el-convertidor-de-frecuencia/>

El variador de frecuencia consta de tres partes: El circuito rectificador, el Bus de tensión continua (Bus DC) y el circuito inversor (Ver figura 9).

- **Circuito rectificador:** toma la tensión de la red eléctrica por las fases L1, L2 y L3 y cambia la tensión trifásica a continua.
- **Bus DC:** se puede entender como el depósito de energía del variador almacenando la tensión en DC.
- **Circuito inversor:** toma la tensión continua almacenada en el bus DC, la convierte en tensión alterna con diferente frecuencia y voltaje.

6.2.1 Variador de Frecuencia ABB ASC800-11.

La referencia de variadores utilizada para el trabajo con motores eléctricos en UBM es el ACS800–11 para un rango de voltaje de 380 a 500 V en motores de 5,5 a 110 kW. El variador posee software especializado para UBM; presenta un accionamiento regenerativo lo que lo exime de tener que utilizar equipos externos como resistencia de freno, por esta misma condición no necesita un filtro de armónicos externo. Al ser un equipo compacto facilita su instalación o retiro reduciendo costos en este proceso. Además, el accionamiento regenerativo contribuye al ahorro energético en mayor proporción que los variadores de frecuencia que utilizan resistencias de frenado ya que la energía que los VFD con resistencia de frenado disipan, el VFD ABB la devuelve a la red evitando sobretemperaturas por calentamiento de las resistencias.

Figura 10. Variador ABB ACS800-11



Fuente: Catálogo variadores ABB

ABB utiliza el algoritmo de control DTC (Control de Torque Directo) que permite generar la mayor cantidad de torque con la menor cantidad de corriente y por lo tanto bajar la potencia consumida por el motor. Adicionalmente, el algoritmo

permite controlar con mayor precisión la velocidad del pozo, ya que puede hacer ajustes de torque con mayor rapidez y eficiencia.

6.2.2 Variador de Frecuencia UNICO® modelo 1100.

Es un variador de frecuencia que utiliza tecnología de tipo control vectorial con software especializado para UBM que permite controlar las variables, generar y descargar reportes de producción de los pozos.

Figura 11. Variador UNICO® 1100.



Fuente: Catálogo variadores UNICO

También utiliza IGBT's, modulación por ancho de pulso y procesador de señales digitales con el fin de obtener un buen desempeño del motor, operación amigable y programación adecuada. En cuanto ahorro de energía, este VFD utiliza resistencia de frenado para disipar la energía lo que lo expone a elevar las temperaturas de trabajo, adicionalmente utiliza un filtro de armónicos externo al VFD.

6.2.3 Variador de Frecuencia YASKAWA A1000.

El variador de frecuencia modelo A1000 es un convertidor de uso general, de alto rendimiento, trabaja con motores de inducción y en sistemas que requieran control de velocidad, el rango de voltaje es de 200 a 600 V para motores eléctricos entre 0,5a 745 kW. Utiliza tecnología de control vectorial que permite un alto grado de rendimiento en el motor y ahorro de energía. Este equipo tiene la facilidad de instalar resistencia de freno para disipar la energía devuelta a la red eléctrica ó un módulo regenerativo externo que se encarga de devolver la energía a la red eléctrica. Adicionalmente, requiere de la instalación de filtro de armónicos.

Figura 12. Variador YASKAWA A1000



Fuente:Catálogo variadores YASKAWA

6.2.4 Variador de Frecuencia DANFOSS FC302.

El variador de frecuencia FC302 trabaja para un rango de voltaje de 380 a 500 V en motores de 18,5 a 75 kW. Es un variador adaptable y fácil de programar, de alto desempeño y flexibilidad en el manejo de diferentes aplicaciones. Utiliza como tecnología resistencias de freno para disipar o quemar la energía

regenerativa del motor y filtros para la reducción de armónicos. Posee un software estándar, es decir, no es específico para aplicaciones en UBM.

Figura 13. Variador DANFOSS FC302



Fuente: Catálogo variadores Danfoss

Para cada referencia de variador existe una gran cantidad de ventajas, desventajas y partes que lo componen que no corresponde al desarrollo de la monografía. A continuación se mencionan las características que son vital importancia para los interesados del proyecto y que se han observado en los variadores instalados en los campos de producción de Ecopetrol S.A.. Estas apreciaciones se toman teniendo en cuenta la experiencia de personal que labora en campo y las estadísticas de mantenimientos preventivos y correctivos reportados en Ellipse Módulo MSQ620.

Tabla 3. Resumen de las características de los variadores de frecuencia

REFERENCIA	TECNOLOGÍA	COMPOSICIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ABB ACS800	Frente activo-regenerativo	Rectificador: IGBT's	Posee software para UBM. Tiene frente activo que controla la regeneración. Ahorro de energía y eficiencia. Minimiza problemas de temperatura. Ocupa menos espacio. Mantiene la velocidad constante ante cambios inesperados.	Requiere de un software que permita medir un mayor número de variables. Presenta fallas en la tarjeta de interfaz por el sistema de refrigeración utilizado. Requiere de mantenimiento preventivo con mayor frecuencia.
		Bus DC: Bus DC		
		Inversor: IGBT's		
UNICO 1100	Control vectorial	Rectificador: Diodos	Posee software para UBM. Ahorro de energía. Controla variables y genera reportes de producción.	Presenta problemas de temperatura. Requiere de sistema de refrigeración. Alto costo de repuestos. Falla en la tarjeta gate drive y DSP.
		Bus DC: Bus DC y resistencia de freno		
		Inversor: IGBT's		
YASKAWA A1000	Control vectorial	Rectificador: Diodos	Uso en UBM. Ahorro de energía. No posee problemas de temperatura.	No posee software para UBM. Ocupa gran espacio por el sistema de refrigeración.
		Bus DC: Condensadores		
		Inversor: IGBT's		
DANFOSS FC302	Resistencias de freno	Rectificador: Tiristores	Configuración amigable. Actúa dentro del rango parametrizable. Uso en UBM. Ahorro de energía.	No posee software para UBM. Presenta problemas de temperatura. Requiere de sistema de refrigeración.
		Bus DC: Condensadores más resistencia de freno		
		Inversor: IGBT's		

Fuente: Consulta de expertos

6.3 ESTUDIO DETALLADO

Las actividades realizadas para el aumento y disminución de velocidad son mantenimientos mejorativos y se ejecutan de acuerdo a las solicitudes realizadas por Control de Producción, la información se extrae del aplicativo Ellipse y se promedia tres (3) cambios de velocidad al año para cada Pozo, adicional a lo anterior es necesario realizar una rutina preventiva establecida por Ecopetrol para el sistema eléctrico de cada pozo. En este estudio se especifican los costos sin proyecto (año base) y los costos con proyecto para los cambios de velocidad, producción diferida, mantenimientos preventivos, consumo de energía y ganancia de producción.

6.3.1 Costos del riesgo base

Para la realización de los cálculos se tiene en cuenta todos los impactos en costos sin el proyecto como costos por ejecución de la actividad (mano de obra, materiales y pérdida potencial de producción), mantenimiento y consumo de energía.

- **Cambio de velocidad mecánico**

La información de los costos del cambio de polea para aumentar y disminuir velocidad en los pozos se realiza tomando como base la tarifa que actualmente cobra una empresa contratista que para el 2013 corresponde a \$ 133.252,12³ y la duración de la actividad se toma teniendo en cuenta las Horas Hombre (HH) registradas en Ellipse módulo MSO854 con un promedio de dos (2) horas.

³ Fuente: Información extraída de la tabla de Salarios Convencionales de Ecopetrol

Tabla 4. Costos de mano de obra por cambio de velocidad mecánico

# DE POZOS	CAMBIOS POR POZO AL AÑO	DURACIÓN ACTIVIDAD (H)	COSTO HH CUADRILLA CAMIÓN GRÚA (\$)	COSTO TOTAL (\$)
30	3	2	\$ 133.252,12	\$ 23.985.381,25

Fuente: Módulo MSQ 854 Sistema Ellipse y tabla de salarios Convencionales

La polea requerida para ejecutar el cambio de velocidad varía entre el rango de 11" a 7" dependiendo de la velocidad que estime el equipo de control de producción se debe dejar trabajando la UBM. Para los cálculos se toma un valor promedio de la polea y el buje por \$ 414.235 para los cambios a realizar en motores de 35 kW y \$ 547.605 para motores de 75 kW.

Tabla 5. Costo de materiales por cambio de velocidad mecánico

POTENCIA MOTOR (HP)	EQUIPOS A ADQUIRIR	CAMBIOS AL AÑO	COSTO MATERIALES (\$)	TOTAL (\$)
50	13	39	\$ 414.235,00	\$ 16.155.165,00
100	17	51	\$ 547.607,00	\$ 27.927.957,00
TOTAL				\$ 44.083.122,00

Fuente: Módulo MSO 178 Sistema Ellipse.

La producción diferida por cambios de polea se calcula teniendo en cuenta el potencial de cada pozo y el tiempo de parada. Según estadísticas extraídas de Ellipse módulo MSQ620 el tiempo promedio de parada corresponde a una hora por pozo. En total la producción diferida de los 30 pozos equivale a 109 BPPD que se dejan de extraer si solo se realizara una (1) intervención en el año, la diferida se multiplica por las tres (3) paradas estimadas al año, por el precio de campo de crudo WTI de 59,9 USD/BARRIL y utilizando una TRM para la

conversión a COP equivalente a 1780 \$/USD que corresponde a la TRM oficial del Portafolio de Inversiones 2010 – 2020 de Ecopetrol S.A..

Tabla 6. Costo de producción diferida por ejecución

# DE POZOS	CAMBIOS AL AÑO	PRODUCCIÓN DIFERIDA (BPPD)	COSTO DIFERIDA (\$)
30	3	109	\$ 34.865.394,00

Fuente: Archivo de Potenciales Ecopetrol S.A. – SCI.

- **Mantenimiento preventivo**

Según políticas de Ecopetrol se recomienda realizar mantenimiento preventivo cada 180 días lo que equivale a ejecutar dos (2) mantenimientos al año con una duración promedio de una (1) hora por equipo según Ellipse módulo MSQ620. Por fallas de elementos en los equipos se recomienda tener un inventario anual mínimo de materiales por un valor de \$ 1.044.228,26 para los 30 pozos, este valor se calcula teniendo en cuenta los elementos que más fallan a causa de eventos eléctricos y el porcentaje de falla por año que equivale a 7,32% tomado de Ellipse del módulo MSQ620 para el año 2012.

Tabla 7. Mantenimiento

# POZOS	MTTO POR AÑO	COSTO HH (\$)	COSTO ANUAL MATERIALES (\$)	COSTO MANO DE OBRA ANUAL (\$)	COSTO TOTAL MTTO ANUAL (\$)
30	2	\$ 86.927,74	\$ 1.044.228,26	\$ 5.215.664,58	\$ 6.259.892,84

Fuente: Módulo MSQ 620 Sistema Ellipse.

- **Consumo de energía**

Para el cálculo de consumo de energía se toma un valor unitario de 138 \$/kWh, tarifa estimada para Ecopetrol año 2013 y el consumo de los 30 pozos seleccionados trabajando las 24 horas del día y 365 días al año.

Tabla 8. Consumo de energía

# DE POZOS	CONSUMO kW-h/AÑO	COSTO kW-h (\$)	COSTO TOTAL AÑO (\$)
30	15.382.560,00	\$ 138,00	\$ 2.122.793.280,00

Fuente: Mantenimiento eléctrico Ecopetrol S.A. – SCI

6.3.2 Costos del riesgo con proyecto

Para la realización de los cálculos se tiene en cuenta todos los impactos en costos con el proyecto como costos por inversión inicial (adquisición de equipos, mano de obra y pérdida potencial de producción), mantenimiento, consumo de energía y ganancia de producción.

- **Costo de adquisición e instalación**

Para la inversión inicial se considera el costo de la adquisición de los equipos para las cuatro (4) referencias seleccionadas y el costo de instalación. El costo de los VFD se tomó de cotizaciones suministradas por los respectivos distribuidores y el costo de instalación teniendo en cuenta cinco (5) horas de mano de obra, dos (2) horas de uso del camión grúa con la tarifa que cobra una empresa contratista y cinco horas de producción diferida por parada del pozo.

Tabla 9. Costos de adquisición e instalación

EQUIPOS A ADQUIRIR	POTENCIA MOTOR (kW)	COSTO VFD ABB (\$)	COSTO VFD UNICO (\$)	COSTO VFD YASKAWA (\$)	COSTO VFD DANFOSS (\$)
13	37	\$29.055.969,00	\$ 27.986.000,00	\$ 26.150.000,00	\$24.791.000,00
17	75	\$37.924.762,00	\$ 39.957.000,00	\$ 36.234.000,00	\$ 34.795.000,00
Costo de adquisición (\$)		\$1.022.448.551,00	\$ 1.043.087.000,00	\$ 955.928.000,00	\$ 913.798.000,00
Costo de instalación (\$)		\$ 17.036.725,00	\$ 17.036.725,00	\$ 17.036.725,00	\$17.036.725,00
Diferida por instalación (\$)		\$58.108.990,00	\$ 58.108.990,00	\$ 58.108.990,00	\$ 58.108.990,00
COSTO TOTAL (\$)		\$1.097.594.266,00	\$1.118.232.715,00	\$1.031.073.715,00	\$ 988.943.715,00

Fuente: Cotizaciones empresas distribuidoras de VFD y tarifas de Ecopetrol S.A. para empresas contratistas

- **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento se realiza de igual manera sin y con proyecto como ya se explico en el cálculo de costos sin proyecto, la diferencia se encuentra en el costo de repuestos ya que varía incluso para las diferentes referencias de VFD.

Tabla 10. Costo de mantenimiento

REF. VFD	# POZOS	MTTO POR AÑO	COSTO HH (\$)	COSTO DE MATERIALES AL AÑO (\$)	COSTO MANO DE OBRA AL AÑO (\$)	COSTO TOTAL MTTO AL AÑO (\$)
ABB	30	2	\$ 86.927,74	\$10.183.819,08	\$5.215.664,58	\$15.399.483,67
UNICO	30	2	\$ 86.927,74	\$11.835.453,70	\$5.215.664,58	\$17.051.118,28
YASKAWA	30	2	\$ 86.927,74	\$ 4.933.371,68	\$5.215.664,58	\$10.149.036,27
DANFOSS	30	2	\$ 86.927,74	\$ 4.517.187,63	\$5.215.664,58	\$ 9.732.852,22

Fuente: Modulo MSQ 620 Sistema Ellipse

- **Consumo de energía**

Según las referencias de variadores de frecuencia ya instalados en la GRMM el porcentaje de ahorro de energía para las diferentes marcas de variadores es ABB 15,23%, UNICO 11,56%, YASKAWA 13,87%, y DANFOSS 10,45%, este porcentaje se utiliza para estimar el consumo de energía con la instalación de los 30 variadores de frecuencia en el campo LCI.

Tabla 11. Consumo de energía con VFD

REFERENCIA VFD	# DE POZOS	CONSUMO kW-h/AÑO	COSTO kW-h (\$)	COSTO TOTAL AÑO (\$)
ABB	30	13.039.796,11	\$ 138,00	\$ 1.799.491.863,46
UNICO	30	13.604.336,06	\$ 138,00	\$ 1.877.398.376,83
YASKAWA	30	13.248.998,93	\$ 138,00	\$ 1.828.361.852,06
DANFOSS	30	13.775.082,48	\$ 138,00	\$ 1.900.961.382,24

Fuente: Mantenimiento eléctrico Ecopetrol S.A. – SCI.

- **Eficiencia en el llenado de la bomba**

La eficiencia en el llenado de la bomba o ganancia de producción se calcula teniendo en cuenta el tiempo de respuesta para el cambio de velocidad, una vez instalado el variador, el cual en promedio es de dos (2) días y con cambio de velocidad mecánico, el cual corresponde a siete (7) días. Del total de cambios de velocidad desde el año 2011 a Septiembre de 2013 en promedio el 50,87% corresponde a aumentos de velocidad y el 49,13% a disminuciones de velocidad. La eficiencia en el llenado de la bomba según estadísticas de producción es del 0,62% el cual se aplica a 2605 BPPD que corresponde a la producción por día de los 30 pozos seleccionados dando como resultado una ganancia de producción de 16,14 BPPD por pozo.

Tabla 12. Ganancia de producción

DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE RESPUESTA (DÍAS)	AUMENTOS DE VELOCIDAD (AÑO)	GANANCIA DE PRODUCCIÓN (BPPD)	PERDIDA DE PRODUCCIÓN (\$)
Atención con cambio de velocidad mecánico	7	46	16,14	\$ 554.123.063,76
Atención con cambio de velocidad automático	2	46	16,14	\$ 158.320.875,36
TOTAL GANANCIA DE PRODUCCIÓN				\$ 395.802.188,40

Fuente: Mantenimiento eléctrico Ecopetrol S.A. – SCI.

6.4 PRESUPUESTO

Para el cálculo del presupuesto se tiene en cuenta las cotizaciones de los distribuidores de las marcas ABB, UNICO®, YASKAWA Y DANFOSS con el IVA del 16% incluido, costo de instalación, costos por gerenciamiento del proyecto, contingencias y escalación. Para este proyecto no se considera AIU porque es un ICO de compra de equipos y los costos instalación y gerenciamiento al ser

ejecutados por una empresa contratista ya tienen contemplado este valor en la tarifa.

Tabla 13. Presupuesto

ITEM	DESCRIPCIÓN	ABB	UNICO®	YASKAWA	DANFOSS
1	COMPRA E INSTALACIÓN				
1.1	Adquisición VFD	\$1.186.040.319,16	\$1.209.980.920,00	\$1.108.876.480,00	\$1.060.005.680,00
1.2	Instalación VFD	\$ 17.036.725,00	\$ 17.036.725,00	\$ 17.036.725,00	\$ 17.036.725,00
	TOTAL COMPRA E INSTALACIÓN	\$1.203.077.044,16	\$1.227.017.645,00	\$1.125.913.205,00	\$1.077.042.405,00
2	GERENCIA DEL PROYECTO				
2.1	Gestión del proyecto (2,43%)	\$ 29.211.146,78	\$ 29.792.433,24	\$ 27.337.580,79	\$ 26.150.980,05
2.2	Servicios especializados (1,41%)	\$ 16.955.486,60	\$ 17.292.891,87	\$ 15.867.983,14	\$ 15.179.225,76
2.3	Contratación y compras (0,90%)	\$ 10.799.671,62	\$ 11.014.579,41	\$ 10.106.994,35	\$ 9.668.295,43
2.4	Otros gastos gerenciales (0,17%)	\$ 2.051.938,33	\$ 2.092.770,82	\$ 1.920.329,60	\$ 1.836.976,78
	TOTAL GERENCIA DEL PROYECTO	\$ 59.018.243,32	\$ 60.192.675,34	\$ 55.232.887,88	\$ 52.835.478,02
3	CONTINGENCIAS (4,90%)	\$ 61.842.669,09	\$ 63.073.305,70	\$ 57.876.158,55	\$ 55.364.016,27
4	ESCALACIÓN (0,37%)	\$ 4.962.892,00	\$ 5.061.650,95	\$ 4.644.578,39	\$ 4.442.978,25
	TOTAL PRESUPUESTO	\$1.328.900.848,57	\$1.355.345.276,98	\$1.243.666.829,82	\$1.189.684.877,53

Fuente: Cotizaciones empresas distribuidoras de VFD y tarifas de Ecopetrol S.A. para empresas contratistas

6.5 CRONOGRAMA DE HITOS

A continuación se relacionan los hitos más importantes del desarrollo del proyecto iniciando el tres (3) de Marzo de 2104 con la aprobación de la propuesta y finalizando el 31 de Octubre de 2014 con la instalación de los 30 variadores de frecuencia.

Tabla 14. Cronograma de hitos

HITOS IMPORTANTES DEL PROYECTO	FECHA PLANEADA
Inicio proceso de maduración	03/03/2014
Maduración Fase 3	07/04/2014
Puesta orden de compra VFD para UBM	02/06/2014
Finalización compra de VFD para UBM	05/08/2014
Finalización instalación VFD	31/10/2014

6.6 RIESGOS DEL PROYECTO

En esta sección se identifican los riesgos del proyecto, causas, posibles consecuencias, valoración de riesgo, tipo de respuesta y el plan para la gestión del riesgo. La evaluación se realiza de manera cualitativa tomando como herramienta la matriz de valoración de riesgos de Ecopetrol S.A. (RAM, por sus siglas en inglés Risk Assessment Matrix). Esta matriz contempla las consecuencias en las personas, la economía, el medio ambiente, los clientes y la imagen de la empresa analizando “qué ocurrió” o “qué pudo o podría ocurrir” y en la probabilidad basada en hechos históricos

La identificación y valoración de los riesgos del proyecto se realizó con la colaboración del Coordinador HSE e Ingeniero Residente de la empresa contratista de mantenimiento eléctrico y Líderes de mantenimiento eléctrico de Ecopetrol S.A, personal experto en la valoración de riesgos.

Figura 14. Matriz de valoración de riesgos de Ecopetrol

		DIRECCIÓN DE HSE Y GESTIÓN SOCIAL				ECP-DHS-F-018				
		MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM				VERSION: 3		1/1		
						23 de Julio de 2008				
Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRI-I-007										
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Economica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades Nota 1	Catastrófica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: Sistema de Gestión Integral de Ecopetrol

Todas las actividades que se realicen en Ecopetrol S.A. en las que se manipule equipos eléctricos energizados o desenergizados están catalogados como riesgo ALTO (H, High) por la gravedad de los accidentes. Para el proyecto este riesgo se cede a la empresa contratista de mantenimiento eléctrico de campo quienes cuentan con el personal calificado y equipo idóneo para la ejecución de la actividad.

Tabla 15. Riesgos del proyecto

RIESGO	CAUSAS	POSIBLES CONSECUENCIAS	VALORACIÓN DEL RIESGO	TIPO DE RESPUESTA	PLAN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO
Retrasos en la Adquisición de los equipos por abastecimientos.	Sistema centralizado de abastecimientos en Ecopetrol.	Retraso en el cronograma del proyecto y sobrecosto.	BAJO	MITIGAR	Considerar en el cronograma las demoras en abastecimientos y realizar seguimiento mensual a la solicitud de compra.
Accidentalidad en la instalación de los VFD por contacto directo o indirecto con líneas energizadas, contacto con cargas izadas, machucones, atrapamientos o golpes.	Omitir procedimientos, personal no calificado para realizar la actividad, indisposición en el grupo de trabajo y falta de comunicación.	Trabajadores accidentados.	ALTO	CEDER	Asignar la instalación de los VFD a la empresa contratista de mantenimiento eléctrico.
Cese de actividades.	Exigencias de los trabajadores, Juntas de acción comunal y la Unión Sindical Obrera (USO).	Demora en la ejecución de los trabajos.	BAJO	ACEPTAR	Negociar con los trabajadores, Juntas de Acción comunal y la USO.
Daños Imprevistos en los equipos.	Fallas eléctricas, mecánicas ó Actos vandálicos.	Mantenimiento correctivo que implica sobrecostos y producción diferida por paradas prologadas de los pozos productores.	BAJO	MITIGAR	Realizar mantenimiento Preventivo y Predictivo a los Equipos y mantener un stock mínimo de repuestos.

6.7 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO

De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio técnico se concluye que las cuatro (4) referencias de variadores seleccionadas son viables para continuar con el estudio financiero por las siguientes razones:

- Cumplen con la función principal que corresponde a variar la velocidad del motor y por ende la velocidad de operación de la Unidad de Bombeo Mecánico sin necesidad de incurrir en producción diferida.
- Los costos de adquisición y mantenimiento preventivo varían dependiendo la referencia de variador de frecuencia y son más elevados que el costo de mantenimiento de un control directo o arrancador suave. Sin embargo, se tienen ventajas en el número de paradas por cambio de velocidad, ahorro de energía, ganancia de producción y disminución de la probabilidad de ocurrencia de accidentes.
- Las cuatro referencias contribuyen al ahorro de energía aunque no en la misma proporción.
- La ganancia de producción con cualquier referencia de variador de frecuencia es considerable respecto al tiempo de respuesta de las solicitudes del grupo de Control de Producción de Ecopetrol S.A..

7 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para la evaluación financiera se toma como base los resultados obtenidos en el estudio técnico en cuanto a mantenimiento de actividades mejorativas y preventivas, diferidas de producción, ahorro de energía y ganancia de producción para las cuatro (4) referencias de variadores de frecuencia viables técnicamente con el método del Factor J. Al final de la evaluación financiera se recomendará al patrocinador un orden de elegibilidad de acuerdo a los resultados obtenidos.

7.1 FACTOR J

El Factor J⁴, calcula una eficiencia de la inversión medida como la generación de beneficios marginales por cada peso invertido para dos Escenarios: El caso de riesgo base y el caso de riesgo con proyecto. El criterio de decisión utilizado en ECOPETROL S.A. para la valoración de proyectos medidos con este indicador se relaciona a continuación:

Tabla 16. Interpretación resultado Factor J

Factor J > 1	Proyecto viable financieramente (beneficios generados mayores a la inversión realizada)
Factor J = 1	Proyecto no viable financieramente (inversión igual a los beneficios generados)
Factor J < 1	Proyecto no viable financieramente (inversión mayor a los beneficios generados)
$Factor J = \frac{(VPN \text{ Riesgo Base} - VPN \text{ con Proyecto})}{VPN \text{ Inversión}}$	

FUENTE: Guía de evaluación financiera de proyectos ECP-DPY-G-002

⁴Guía de evaluación financiera de proyectos ECP-DPY-G-002, Pag. 18

El VPN riesgo base asocia los costos y las posibles pérdidas en las que incurriría la Empresa en su situación actual. El VPN con proyecto asocia las inversiones requeridas y los mismos elementos del riesgo base en caso que la Empresa desarrolle el proyecto.

Para el uso del Factor J se requiere considerar los siguientes aspectos:

- Pérdidas potenciales por la no realización del Proyecto.
- Mitigación de riesgos de pérdidas potenciales.
- Costos de Mantenimiento, operación sin proyecto.
- Costos de Mantenimiento, operación con proyecto.
- Vida útil del proyecto.
- Tasa de descuento (Costo de oportunidad ECOPETROL S.A).

Para realizar la evaluación financiera con el Factor J se requieren datos de las bases del portafolio de Ecopetrol que se mencionan a continuación:

- TRM (Tasa Representativa del Mercado).
- Tasa Mínima de Rentabilidad Requerida (TMRR).
- Precios de los productos crudos y refinados (Bases de precios de portafolio).

7.2 CONSIDERACIONES GENERALES

El modelo financiero utilizado por ECOPETROL S.A. para realizar la evaluación financiera en Proyectos de Inversión de Continuidad Operativa (ICO) es la metodología del Factor J, el cual establece una comparación de los beneficios marginales de un proyecto, generados por una inversión de capital. Los beneficios deben ser descontados a una tasa apropiada ajustada por riesgo o costo de oportunidad.

Para la adquisición de los variadores se supone un flujo de caja a 15 años que corresponde al tiempo de vida útil de los variadores de frecuencia, es decir, se evaluará una situación para el caso de riesgo base (sin proyecto) y una situación para el caso de riesgo con proyecto en el periodo de tiempo señalado.

La tasa de descuento utilizada es de 11,1% E.A., que corresponde el WACC actual de Ecopetrol. Ésta es la tasa utilizada actualmente en la empresa para evaluar financieramente los proyectos de inversión de continuidad operativa.

El precio de campo de crudo WTI para la SCI es de 59,9 USD/BARRIL y la TRM para la conversión a COP equivalente a 1780 \$/USD que corresponde a la TRM oficial del Portafolio de Inversiones 2010 – 2020 de Ecopetrol S.A. El análisis de la evaluación financiera se realiza en dólares constantes, por lo tanto no se debe incorporar el efecto de inflación en los flujos de caja.

7.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación se presentan los resultados de las cuatro marcas seleccionadas y el análisis de los datos obtenidos. Primero se presentarán los cálculos según el método del Factor J para el riesgo base, el cual es común para todas las alternativas, seguidamente los resultados riesgo con proyecto para cada una de ellas y para finalizar el análisis de los resultados obtenidos.

7.3.1 Presentación de resultados

En esta sección se presentan las tablas con los resultados del riesgo base y del riesgo con proyecto.

Tabla 17. Flujo de caja del Riesgo base

RIESGO BASE	BENEFICIOS EN KUSD							
Áreas de Resultado	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	0	1	2	3	4	5	6	7
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83
Máxima probabilidad de ocurrencia	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Máxima Probabilidad de Incidencia								
Total Perdidas con Probabilidad	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83
Costos de Mantenimiento	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76
consumo costo de energía	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17
Flujo de caja con declinación	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17
Declinación Anual de producción (porcentaje)	0%							

Tabla 17. (Continuación)

RIESGO BASE	BENEFICIOS EN KUSD							
Áreas de Resultado	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	8	9	10	11	12	13	14	15
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83
Máxima probabilidad de ocurrencia	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Máxima Probabilidad de Incidencia								
Total Perdidas con Probabilidad	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83	\$ 330,83
Costos de Mantenimiento	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76	\$ 41,76
consumo costo de energía	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58	\$ 1.192,58
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de caja	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17
Flujo de caja con declinación	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17	\$ 1.565,17
Declinación Anual de producción (porcentaje)	0%							

VPN Total Riesgo base sin declinación (KUSD)	\$ 12.758,21
VPN Total riesgo base con Declinación (KUSD)	\$ 12.758,21
VPN Riesgo base (KUSD)	\$ 12.758,21

Tabla 18. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD ABB ACS800-11)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
Descripción de la Inversión	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	0	1	2	3	4	5	6	7
Presupuesto	\$ 746,57	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ 746,57	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)	\$ 746,57							
Costos de Mantenimiento	\$ 36,24	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65
consumo costo de energía	\$ 1.162,31	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ 32,64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 2.528,74	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

Tabla 18. (Continuación)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)								
Costos de Mantenimiento	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65	\$ 8,65
consumo costo de energía	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95	\$ 1.010,95
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15	\$ 1.115,15
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

VPN Riesgo Base (KUSD)	\$ 12.758,21
VPN Riesgo Alternativa (KUSD)	\$ 10.503,54
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	\$ 746,57

Relación Beneficio/Costo	3,02	
Análisis de Sensibilidad +	2,63	15%
Análisis de Sensibilidad -	3,55	-15%
Análisis de Sensibilidad crítico	1,00	202%

Tabla 19. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD UNICO® 1100)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	0	1	2	3	4	5	6	7
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ 761,43	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ 761,43	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)	\$ 761,43							
Costos de Mantenimiento	\$ 36,39	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58
consumo costo de energía	\$ 1.169,60	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ 32,64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 2.551,05	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

Tabla 19. (Continuación)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)								
Costos de Mantenimiento	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58	\$ 9,58
consumo costo de energía	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72	\$ 1.054,72
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84	\$ 1.159,84
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

VPN Riesgo Base (KUSD)	\$ 12.758,21
VPN Riesgo Alternativa (KUSD)	\$ 10.845,48
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	\$ 761,43

Relación Beneficio/Costo	2,51	
Análisis de Sensibilidad +	2,18	15%
Análisis de Sensibilidad -	2,96	-15%
Análisis de Sensibilidad crítico	1,00	150%

Tabla 20. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD YASKAWA A1000)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	0	1	2	3	4	5	6	7
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ 698,69	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ 698,69	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)	\$ 698,69							
Costos de Mantenimiento	\$ 35,75	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70
consumo costo de energía	\$ 1.165,01	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ 32,64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 2.483,07	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

Tabla 20. (Continuación)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)								
Costos de Mantenimiento	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70	\$ 5,70
consumo costo de energía	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17	\$ 1.027,17
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41	\$ 1.128,41
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

VPN Riesgo Base (KUSD)	\$ 12.758,21
VPN Riesgo Alternativa (KUSD)	\$ 10.552,76
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	\$ 698,69

Relación Beneficio/Costo	3,16	
Análisis de Sensibilidad +	2,74	15%
Análisis de Sensibilidad -	3,71	-15%
Análisis de Sensibilidad crítico	1,00	216%

Tabla 21. Flujo de caja del Riesgo con proyecto (VFD DANFOSSFC302)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	0	1	2	3	4	5	6	7
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ 668,36	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ 668,36	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)	\$ 668,36							
Costos de Mantenimiento	\$ 35,71	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47
consumo costo de energía	\$ 1.171,81	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ 32,64	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 550,98	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 2.459,50	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

Tabla 21. (Continuación)

RIESGO CON PROYECTO	BENEFICIOS EN KUSD							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	8	9	10	11	12	13	14	15
Descripción de la Inversión								
Presupuesto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Suministro	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Contingencias	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Actividades Comunes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AIU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Bruto (Global para la actividad)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo inicial de compra (Inversión inicial)								
Costos de Mantenimiento	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47	\$ 5,47
consumo costo de energía	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96	\$ 1.067,96
Costos de Disposición	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Parada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Ambientales (Sanción Ambiental)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos de Energía	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Disponibilidad y Confiabilidad	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Perdidas por Fallas Eléctricas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Perdidas por Fallas de Equipos	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54	\$ 95,54
Flujo de Caja	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97	\$ 1.168,97
Probabilidad de Falla con Proyecto	2%							

VPN Riesgo Base (KUSD)	\$ 12.758,21
VPN Riesgo Alternativa (KUSD)	\$ 10.819,20
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	\$ 668,36

Relación Beneficio/Costo	2,90	
Análisis de Sensibilidad +	2,52	15%
Análisis de Sensibilidad -	3,41	-15%
Análisis de Sensibilidad crítico	1,00	190%

7.3.2 Interpretación de resultados

Según la teoría del método del Factor J todo proyecto es viable financieramente si su resultado es mayor que 1, para el proyecto de adquisición de variadores de frecuencia las cuatro opciones se encontraron viables y se plantea al patrocinador el orden de elegibilidad presentado en la tabla 22 siendo la mejor opción el variador de frecuencia YASKAWA A1000 con un valor de 3,16.

Tabla 22. Comparación resultados Factor J

ORDEN	DESCRIPCIÓN	FACTOR J
1	Relación Beneficio/Costo YASKAWA	3,16
2	Relación Beneficio/Costo ABB	3,02
3	Relación Beneficio/Costo DANFOSS	2,90
4	Relación Beneficio/Costo UNICO®	2,51

Respecto al análisis incremental los valores son aceptables para el proyecto en las cuatro referencias debido a que las pérdidas identificadas en todos los casos son mayores en el caso del riesgo base que para el caso del riesgo con proyecto(Ver tabla 23), razón por la cual al realizar la diferencia entre VPN con proyecto menos VPN sin proyecto el valor es negativo.

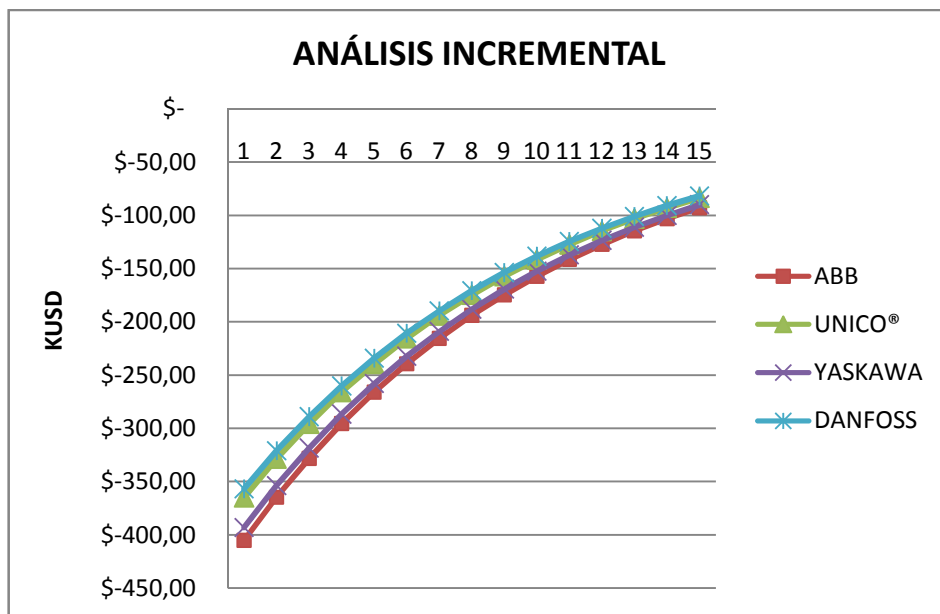
Tabla 23. Resultados del análisis incremental

ORDEN	DESCRIPCIÓN	VPN CON (KUSD)	VPN SIN (KUSD)	VPN ANÁLISIS INCREMENTAL (KUSD)
1	VPN VFD ABB	\$ 10.484,84	\$ 12.639,57	\$ -2.254,67
2	VPN VFD YASKAWA	\$ 10.534,06	\$ 12.639,57	\$ -2.205,45
3	VPN VFD DANFOSS	\$ 10.800,50	\$ 12.639,57	\$ -1.939,01
4	VPN VFD UNICO®	\$ 10.826,78	\$ 12.639,57	\$ -1.912,73

La referencia de variadores ABB ACS800-11 se presenta en el primer orden de elegibilidad con un valor incremental de KUSD \$ - 2.254,67 debido a la eficiencia en ahorro energético. En segundo lugar se encuentra la referencia YASKAWA A1000 con un valor incremental de KUSD \$ -2.205,45 debido a que es una de las referencias con menor costo por repuestos y la segunda en mayor eficiencia en ahorro energético.

A continuación se presenta la gráfica respectiva del análisis incremental a partir del periodo 1 que permite visualizar el orden de elegibilidad de las marcas de VFD.

Figura 15. Análisis incremental



Periodos	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ABB	\$ 963,58	\$ -405,06	\$ -364,59	\$ -328,16	\$ -295,38	\$ -265,87	\$ -239,30	\$ -215,39	\$ -193,87
UNICO®	\$ 985,88	\$ -364,83	\$ -328,38	\$ -295,57	\$ -266,04	\$ -239,46	\$ -215,54	\$ -194,00	\$ -174,62
YASKAWA	\$ 917,91	\$ -393,11	\$ -353,84	\$ -318,49	\$ -286,67	\$ -258,03	\$ -232,25	\$ -209,04	\$ -188,16
DANFOSS	\$ 894,34	\$ -356,61	\$ -320,98	\$ -288,92	\$ -260,05	\$ -234,07	\$ -210,68	\$ -189,63	\$ -170,69
Periodos	9	10	11	12	13	14	15	VPN INCREMENTAL	
ABB	\$ -174,50	\$ -157,07	\$ -141,38	\$ -127,25	\$ -114,54	\$ -103,09	\$ -92,79	\$ -2.254,67	
UNICO®	\$ -157,17	\$ -141,47	\$ -127,34	\$ -114,61	\$ -103,16	\$ -92,86	\$ -83,58	\$ -1.912,73	
YASKAWA	\$ -169,36	\$ -152,44	\$ -137,21	\$ -123,50	\$ -111,16	\$ -100,05	\$ -90,06	\$ -2.205,45	
DANFOSS	\$ -153,63	\$ -138,28	\$ -124,47	\$ -112,03	\$ -100,84	\$ -90,76	\$ -81,70	\$ -1.939,01	

CONCLUSIONES

- En el mercado existe una gran cantidad de variadores de frecuencia para diferentes aplicaciones de la industria. Sin embargo, son pocas las marcas que tienen aplicación y software especializado para trabajar en sistemas complejos y variables como lo es el sistema de extracción de crudo por medio de UBM.
- Del estudio técnico se concluye que las cuatro referencias de variadores analizadas incurren en mayores costos de mantenimiento pero no se compara con los beneficios que se obtienen por ahorro de energía y la ganancia de producción.
- El resultado del análisis financiero de acuerdo al método del factor J resulta aceptable para las cuatro referencias de variadores analizadas. Sin embargo, el Equipo YASKAWA A1000 presenta el mejor resultado con una relación beneficio/costo de 3,16 debido a que es uno de los equipos menos costosos con una inversión inicial de KUSD \$ 698,69 y una eficiencia en ahorro energético de 13,87%.
- Según el análisis incremental la referencia ABB ACS800 presenta el mayor VPN incremental de las cuatro referencias analizadas con un valor de KUSD\$ -2.254,67 debido al porcentaje de eficiencia en ahorro energético el cual corresponde a 15,3%.
- Para Ecopetrol S.A realizar la compra de los variadores es importante ya que permite una ganancia de producción que conlleva al cumplimiento de la meta establecida para el 2015 de 50 mil barriles.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASEA BROWN BOVERY ABB. Convertidores de frecuencia Industriales ABB ACS800. [Catálogo]. Barcelona España: ABB, Pag. 16-17
- [2] DANFOS. VLT® Automation drive [Guía de selección]. Madrid España, DD-SMCC, 2009.
- [3] ECOPETROL S.A.. Guía de evaluación financiera de proyectos. ECP-DPY-G-002. 2012. Pag. 18-22.
- [4] JARAMILLO, Julio A. Aplicación de VFD's para el ahorro de energía en AMTEX S.A. [Artículo]. U.P.B Medellín.
- [5] OROZCO, Gilberto. Bombeo Mecánico en Pozos con Gas-Fundamentos Técnicos y Posibles Soluciones.[Artículo]. Diadema Engine – Esexhi SRL.
- [6] UNICO®. Oil & Gas Automation. [Guía de selección]. Drivers y sistemas de control. USA. Pag. 9-12
- [7] YASKAWA. Variador AC YASKAWA - A1000. [MANUAL]. USA. TOSP C710616 41C. 2010.

CIBERGRAFÍA

- [1] ABB. www.abb.com.co
- [2] DANFOSS. www.danfoss.com

[3] NORMAS ICONTEC PARA TRABAJOS ESCRITOS.

<http://www.colconectada.com/normas-icontec/>. [11/01/2014].

[4] RECUPERACIÓN DE PETRÓLEO POR DESPLAZAMIENTO.

http://laotraopinion.net/recursos-naturales/futuro-del-Petroleo/petroleo_recuperacion/. [11/01/2014].

[5] UNICO. www.unicocol.com

[6] YASKAWA. www.yaskawa.com