

**ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO DE ALTERNATIVAS PARA LA
REPOSICIÓN DEL ENLACE ELÉCTRICO ENTRE LAS UNIDADES DE
GENERACIÓN DE CENTRAL DEL NORTE U-2400 Y LA SUBESTACIÓN ET-
004 EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

JAIR ALEXANDER HERNÁNDEZ GIRALDO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESPECIALIZACIÓN EN EVALUACIÓN Y GERENCIA DE PROYECTOS
BUCARAMANGA
2010
ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD**

**ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO DE ALTERNATIVAS PARA LA
REPOSICIÓN DEL ENLACE ELÉCTRICO ENTRE LAS UNIDADES DE
GENERACIÓN DE CENTRAL DEL NORTE U-2400 Y LA SUBESTACIÓN ET-
004 EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA**

JAIR ALEXANDER HERNÁNDEZ GIRALDO

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

Director

MBA. GUILLERMO BUSTAMANTE ÁLZATE

Ingeniero Civil

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

2010

Con el hombre esto es posible...

Con DIOS TODO es posible.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GENERAL.	3
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.	3
3	LOCALIZACIÓN.....	4
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
5	ANTECEDENTES	10
6	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	12
6.1	CONDICIONES GENERALES	12
6.2	PANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	13
6.2.1	Alternativa No 1: Línea Base.....	13
6.2.2	Alternativa No 2.....	14
6.2.3	Alternativa No 3: Condición Óptima.....	15
6.3	ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS ALTERNATIVAS.....	16
7	EVALUACIÓN FINANCIERA.....	18
7.1	CONDICIONES GENERALES	18
7.2	ALTERNATIVA 1: LÍNEA BASE	19
7.3	ALTERNATIVA 2.....	21
7.4	ALTERNATIVA 3: CONDICIÓN IDEAL	25
8	TENDIDO E INSTALACIÓN DE LOS CABLES	29
8.1	CONDICIONES GENERALES	29
8.2	ALCANCE DE LOS TRABAJOS	29
8.3	DESINSTALACIÓN DE CABLES	30
8.4	INSTALACIÓN DE CABLES ELÉCTRICOS.....	32

8.5	PRUEBAS DE LOS CABLES ELÉCTRICOS DE MEDIA TENSIÓN.....	38
8.6	ASPECTOS DE SEGURIDAD.....	39
8.7	LISTA DE ENTREGABLES.....	40
8.7.1	Procedimiento de Trabajo	40
8.7.2	Ruta de Cableado	40
8.7.3	Informe Final de Mantenimiento	40
8.7.4	Criterios de Aceptación de Cables Instalados	41
9	REQUISITOS A TENER EN CUENTA DURANTE LA INSTALACIÓN DEL CONDUCTOR SUBTERRÁNEO.....	43
9.1	TENSIÓN EN EL CONDUCTOR.....	43
9.2	CARGA DE PARED LATERAL	44
9.3	ATASCAMIENTO.....	44
10	ASEO EN LAS CAJAS DE INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LOS DUCTOS.....	45
10.1	TRASLADO DE CARRETES.....	46
10.2	INSTALACIÓN DEL CABLE MT EN EL DUCTO.....	47
11	ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS.....	49
12	CRONOGRAMA.....	51
13	CONCLUSIONES	53
14	RECOMENDACIONES	54
15	BIBLIOGRAFÍA	55
16	CIBERGRAFÍA.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución Geográfica de los Oleoductos Colombianos	5
Figura 2.	Diagrama Unifilar General Sistema Eléctrico GRB	7
Figura 3.	Reparación Cable del Enlace AL004/U2400	10
Figura 4.	Celdas de Entrada y Salida de los Enlaces entre la ET-004 y la U-2400	12
Figura 5.	Conexión de Pantalla de Cables en Transformadores de Corriente Toroidales	38
Figura 6.	Verificación Ductos	45
Figura 7.	Limpieza con Mandril	46
Figura 8.	Traslado de los Carretes	46
Figura 9.	Caja de inspección de Entrada del Cable	47
Figura 10.	Caja de inspección de Salida del Cable	48
Figura 11.	Instalación de Cables entre Cajas de Inspección	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis Técnico de las Alternativas	17
Tabla 2. Formato Costo de Ciclo de Vida del Proyecto (Riesgo Base)	19
Tabla 3. Formato Costo de Ciclo de Vida del Proyecto (Riesgo con Proyecto Alternativa 2)	22
Tabla 4. Formato Costo de Ciclo de Vida del proyecto (Riesgo con Proyecto Alternativa 3)	26
Tabla 5. Lista de Involucrados	50

GLOSARIO

Aislamiento (Eléctrico) se produce cuando se cubre un elemento de una instalación eléctrica con un material que no es conductor de la electricidad, es decir, que resiste el paso de la corriente a través del elemento que recubre y lo mantiene en su trayectoria a lo largo del conductor.

Apantallamiento (Pantalla): El apantallamiento es un elemento metálico no magnético que se coloca sobre el blindaje del aislamiento con el fin de complementar las funciones de este último y permitir el proceso de puesta a tierra.

Aterrizado: Conexión, intencional o accidental, en la que un circuito o equipo eléctrico es conectado a tierra, o a algún elemento conductivo de extensión relativamente larga que realiza las funciones de la tierra.

Blindaje del aislamiento: Este blindaje es una capa de material que recubre al aislamiento, y está hecha de Polietileno semiconductor. Su objetivo es permitir el confinamiento homogéneo de las líneas del campo eléctrico al interior del aislamiento; esta es una función complementaria a la de la primera capa semiconductor que recubre al conductor.

Chaqueta: La chaqueta es el elemento que recubre el cable y que quedará finalmente expuesto al medio, por tal motivo, el material de la chaqueta debe cumplir con los siguientes aspectos: comportamiento frente a la llama, resistencia a los rayos UV, resistencia al impacto y abrasión, resistencia a los hidrocarburos.

Circuito: Un conductor o sistema de conductores a través de los cuales puede fluir corriente eléctrica

Conductor: Cable de uno o varios hilos unidos entre sí, sin estar aislados los unos de los otros, apropiado para conducir corriente eléctrica. El cableado de un

conductor consiste en el número de hilos que este debe poseer, según el calibre y los parámetros mecánicos como la flexibilidad

Conduit: Estructura que contiene uno o más ductos, los *conduit* pueden estar diseñados como tubos de acero, asbesto cemento, etc.

Confiabilidad: en su concepto básico, confiabilidad se define como la capacidad probada de los equipos, el proceso y las personas de una organización de producción para cumplir con las expectativas establecidas en las áreas claves de desempeño a unas condiciones dadas en intervalo dado.

Disponibilidad: es la habilidad de un componente o de una planta para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante de tiempo dado sobre un intervalo de tiempo asumiendo que se tienen los recursos externos requeridos.

Ducto: Canalización tubular encerrada para cables o conductores.

Mantenimiento: es la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas, encaminadas a mantener un componente, o a restaurarlo a un estado en el cual puede realizar la función requerida.

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD
ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO DE ALTERNATIVAS PARA LA REPOSICIÓN DEL ENLACE ELÉCTRICO ENTRE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE CENTRAL DEL NORTE U-2400 Y LA SUBESTACIÓN ET-004 EN LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA*

AUTOR

JAIR ALEXANDER HERNÁNDEZ GIRALDO

Ingeniero Electricista**

PALABRAS CLAVES

Enlace eléctrico, Conductor, Media Tensión, Caja de inspección, Aislamiento, Nivel de Tensión, Mantenibilidad, Confiabilidad, Disponibilidad

DESCRIPCIÓN

En este estudio se selecciona la mejor de tres alternativas planteadas para la reposición del enlace eléctrico entre las unidades de generación de Central del Norte U-2400 y la subestación eléctrica ET-004 de la refinería de Barrancabermeja Santander, con el fin de disminuir el riesgo de falla generado por el bajo nivel de aislamiento de los cables de media tensión de los enlaces, que después de veintinueve años de servicio empieza a evidenciar un alto grado de deterioro.

La alternativa número uno o caso base consiste en convivir con el riesgo y prepararse para una falla inminente en el sistema eléctrico de la GRB, considerando las pérdidas económicas que este acarrearía, además del impacto negativo que se generaría sobre las personas e imagen de la compañía. Por otro lado, se propone una segunda alternativa para el reemplazo de los enlaces disminuyendo el riesgo de falla por pérdida del aislamiento, pero manteniendo las limitantes del sistema actual; y finalmente la tercera alternativa plantea además del reemplazo de los enlaces independizar las rutas de cada uno de ellos incrementando las condiciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del suministro de energía eléctrica entre ambas subestaciones.

Para seleccionar la alternativa más conveniente para Ecopetrol, quien es el propietario de la refinería de Barrancabermeja, se realiza una evaluación de los aspectos técnicos y financieros que cada una de ellas implica, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas.- Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.- Especialización en Evaluación y Gerencia de Proyectos.- Director: MBA, Guillermo Bustamante Álzate.- Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE:

PRE-FEASIBILITY STUDY
TECHNICAL AND FINANCIAL ANALYSIS OF ALTERNATIVES FOR THE REPLACEMENT OF
THE ELECTRICAL INTERCONNECTION BETWEEN GENERATING UNITS OF CENTRAL DEL
NORTE AND SUBSTATION ET-004 IN THE REFINERY OF BARRANCABERMEJA*

AUTHOR

JAIR HERNANDEZ ALEXANDER GIRALDO

Electrical Engineer**

KEYWORDS

Electrical connection, Conductor, Medium Voltage, Manhole, Isolation, Voltage level, Maintainability, Reliability, Availability

DESCRIPTION

In this study is selected the best of three options put forward for the replacement of the electric interconnection between the generation units of the Central del Norte U-2400 and the electric substation ET-004, of Santander Barrancabermeja refinery, in order to reduce the risk fault generated by the low level of insulation of medium voltage cable interconnection, which after twenty-nine years of service begins to show a high deterioration degree.

The alternative number one or the basis case is to live with the risk and prepare for an imminent failure in the electrical system of the GRB, considering the involved economic losses, in addition to the negative impact that would be generated on the people and company image. On the other hand, is proposed a second alternative for replacing the cables by reducing the risk of failure due to isolation loss, while maintaining the constraints of the current system, and finally the third alternative replaces the cables but also weans the routes of each of them increasing the terms of reliability, maintainability and availability of electric power between the two substations.

To select the most suitable alternative for Ecopetrol, who is the owner of the refinery in Barrancabermeja, is performed an evaluation of the technical and financial aspects that each of them involves taking into account its advantages and disadvantages.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physical Mechanical.-School of Industrial and Management Studies.- Specialization in Evaluation and Project Management.- Director MBA, Guillermo Bustamante Álzate .- Civil Engineer

1 INTRODUCCIÓN

La Empresa Colombiana de Petróleos, hoy conocida como Ecopetrol es la encargada de administrar el recurso hidrocarburífero Colombiano, actualmente está concebida como una empresa global de energía con énfasis en petróleo, gas y combustibles alternativos.

Dentro de los activos de Ecopetrol, se encuentra la GRB “*Gerencia Refinería de Barrancabermeja*”, siendo esta la principal refinería de Colombia, con una producción total de 250.000 barriles de combustible día, equivalente al 98 por ciento del mercado interno de combustibles de nuestro país y más de 12 productos derivados del petróleo.

Las áreas de servicios industriales tanto en la refinería como en cualquier industria son las encargadas de suministrar la energía en las formas requeridas para que los elementos involucrados en cada uno de sus procesos puedan desarrollarse.

En este caso las áreas de Servicios Industriales Refinería (SIREF) y Servicios Industriales Balance (SIBA) son las encargadas de suministrar agua, vapor y energía eléctrica a cada una de las plantas de producción de la refinería, sin estos servicios ninguno de los procesos que se llevan a cabo dentro de la refinería podría realizarse.

La Unidad de Generación Eléctrica U-2400, y la Subestación Eléctrica ET-004 pertenecen al área de Servicios Industriales Refinería (SIREF), desde estas dos subestaciones se alimentan eléctricamente siete de las nueve áreas de proceso. Es por esto que la pérdida del suministro de energía eléctrica en una de estas dos subestaciones ocasionaría la apagada de dichas plantas o en el peor de los casos una apagada general de la refinería, la cual normalmente cuesta más de quinientos mil dólares por día.

Actualmente, ante la ausencia de unidades de generación de energía en el área sur de la refinería, la energía eléctrica se está llevando desde la U-2400 hasta la ET-004 a través de los enlaces AL004/U2400, y AL004/U2400A, los cuales han superado el tiempo de vida útil definido según los estándares de la GRB. Sin embargo, es necesario aclarar que la reposición de estos cables implica una alta inversión económica por el costo de los cables de media tensión, y el recurso requerido para su instalación, además se requieren procesos complejos de planeación, que involucran largos periodos de tiempo que van desde la demorada fabricación de los cables, hasta la instalación de los mismos, y que incluyen la programación de apagada de equipos y plantas.

Teniendo en cuenta lo mencionado previamente, y que una falla en cualesquiera de estos dos enlaces podría apagar la ET-004 generando la salida de las plantas asociadas a esta subestación, o muy seguramente una apagada general de la refinería, se ha decidido realizar un estudio de pre factibilidad para evaluar si es viable técnica y financieramente reemplazar el enlace eléctrico entre la Central de Generación del Norte U-2400 y la Subestación Eléctrica ET-004

En este estudio se plantean tres diferentes alternativas para el reemplazo de los enlaces eléctricos, la primera de ellas o caso base es el de convivir con el riesgo y prepararse para una falla en el sistema eléctrico de la GRB.

Por otro lado, se plantea una segunda alternativa para el reemplazo de los enlaces disminuyendo el riesgo de falla por pérdida del aislamiento, pero manteniendo las limitantes del sistema actual.

Finalmente, la tercera alternativa además del reemplazo de los enlaces plantea independizar las rutas de cada uno de ellos incrementando las condiciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del suministro de energía eléctrica entre ambas subestaciones.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la viabilidad técnica y financiera para Ecopetrol de reemplazar el enlace eléctrico entre la Central de Generación del Norte U-2400 y la Subestación Eléctrica ET-004 de la Refinería de Barrancabermeja.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Disminuir el riesgo de ocurrencia de fallas eléctricas, incendios y/o explosiones generados por el deterioro del aislamiento del enlace de media tensión entre las subestaciones U2400 y la ET-004 (AL004/U2400) y los impactos colaterales que estos pueden causar en las personas, el proceso y los equipos en la GRB.

Incrementar la confiabilidad en el suministro energía eléctrica a las plantas de proceso y equipos eléctricos alimentados desde las subestaciones de la U2400 y la ET-004.

Garantizar el cumplimiento de las normas y reglamentos aplicables, incluidos los estándares de ingeniería de la GRB, respecto a la vida útil de los cables de media tensión.

3 LOCALIZACIÓN

Ecopetrol S.A. (BVC: ECOPETROL NYSE EC), la empresa petrolera de Colombia, es en la actualidad una sociedad de economía mixta dedicada a explorar, producir, transportar, refinar y comercializar hidrocarburos. Es la empresa más grande de Colombia y la cuarta petrolera más grande de América latina. Su estructura empresarial es la sociedad anónima en donde el estado cuenta con el 89.9% de las acciones y el restante 10.1% está repartido en más de 480.000 accionistas donde se destacan importantes fondos de pensiones.

Ecopetrol opera cerca de 100 áreas de producción de petróleo y gas de manera directa y otras 120 en asocio con 35 compañías. Cuenta con una red propia de 5.559 kilómetros de oleoductos y poliductos para el transporte de hidrocarburos desde los centros de producción a las refinerías, los puertos de exportación y los centros de consumo. El total de redes del país suma 8.445 kilómetros. En la Figura 1, se muestran los principales oleoductos colombianos a cargo de Ecopetrol y su distribución a lo largo del país.

En 1961 Ecopetrol asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja, siendo esta hoy día uno de sus principales activos. Dentro de la estructura interna de la compañía, la Refinería de Barrancabermeja se encuentra en La Vicepresidencia de Refinación y Petroquímica.

La estructura organizacional de la Refinería de Barrancabermeja o GRB como es denominada al interior de Ecopetrol, está liderada por la gerencia general, la cual cuenta con el apoyo de dos gerencias la técnica y la de producción.

La gerencia de producción está dividida en once (11) áreas de proceso, nueve (9) de producción y dos áreas de servicios industriales (agua, vapor, y energía eléctrica), la gerencia técnica es la encargada de dar soporte a cada una de las áreas a través de los ingenieros de confiabilidad, dentro de la gerencia técnica

también se encuentra la coordinación de control y distribución, que direcciona el Centro de Control de Potencia de la GRB, las coordinaciones de confiabilidad de equipo eléctrico y de distribución y control son las encargadas de gestionar el sistema eléctrico de la refinera.



Figura 1. Distribución Geográfica de los Oleoductos Colombianos

La Unidad de Generación Eléctrica U-2400, y la Subestación Eléctrica ET-004 pertenecen al área de Servicios Industriales Refinería (SIREF), y son las encargadas de alimentar eléctricamente el área norte y sur de la refinería respectivamente. En el área norte se encuentran las plantas de producción UOPII, Polietileno I y II, Etileno, Aromáticos, Turboexpander, PTAR, Casabombas 4 y 7, Blending, Alkilación, y GLP y en el área sur Modelo IV, Orthoflow, U150 y U130 de CDU, Parafinas, Fenol, Soda, U200 y Viscorreductora, U250, U2000, U2100, Casabombas 1,2 y 3, y Acido; las demás plantas de producción se alimentan de las unidades Servicios Industriales Balance. Cada una de estas plantas es de vital importancia para el proceso de refinación de crudo que se realiza dentro de la refinería

En la figura 2 se muestra el diagrama unifilar general del sistema eléctrico de la refinería de Barrancabermeja. Allí se puede apreciar que la U2400, o Central de generación del lado Norte de la refinería cuenta con tres unidades de generación 2401, 2402, y 2403, y que la ET-004 cuenta con dos unidades de generación 901, y 903. Estas subestaciones están unidas eléctricamente a través de los enlaces AL004/U2400 y AL004/U2400A.

El área de Servicios Industriales Balance cuenta a su vez con tres unidades de generación 2951, 2952 y 2953 conectadas a la U-2950 Planta eléctrica Balance.

Finalmente, todo el sistema eléctrico de la refinería se encuentra interconectado a través del anillo de interconexión de 34,5kV para distribuir la energía eléctrica producida dentro de la refinería o suministrada por fuentes externas según las necesidades de producción y la capacidad de las unidades de generación.

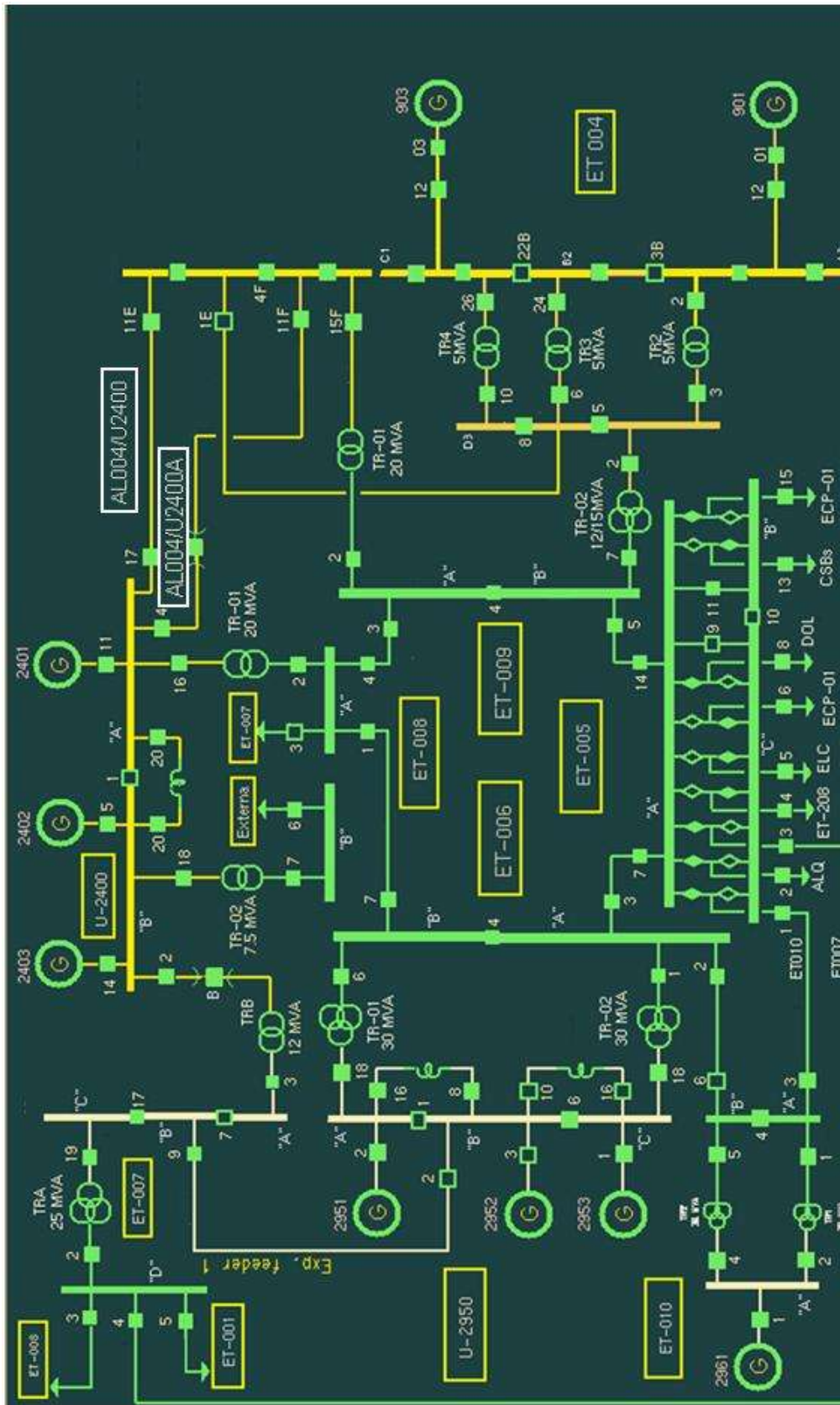


Figura 2. Diagrama Unifilar General Sistema Eléctrico GRB

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gerencia técnica a través de la coordinación de confiabilidad de equipo eléctrico, con el apoyo de la coordinación de control y distribución, y bajo la dirección del comité técnico eléctrico de la GRB, ha desarrollado diferentes análisis basados en las características técnicas, y las condiciones a las que se encuentran expuestos los cables de media tensión instalados en la GRB, estándares nacionales e internacionales, las experiencias desarrolladas a través de los años, y diferentes análisis de confiabilidad ha establecido que el tiempo de vida útil de los cables de media tensión hasta 15kV es de 18 años, y el de los de 34,5kV es de 25 años.

Los enlaces AL004/U2400 y AL004/U2400A fueron instalados hace ya más de 29 años, y obviamente ya cumplieron con el periodo establecido, pero todavía se encuentran en funcionamiento. Estos enlaces hoy día son obsoletos y ya empieza a evidenciarse su alto grado de deterioro.

Actualmente las unidades de generación 901 y 903 de la ET-004 se encuentran fuera de servicio. Debido a esto la energía eléctrica requerida para operar las plantas de producción alimentadas desde la ET-004, está siendo generada en las Unidades U-2400 y U-2950, y desde allí son llevadas a la ET-004 a través del anillo de interconexión y los enlaces AL004/U2400 y AL004/U2400A.

Teniendo en cuenta lo mencionado previamente, una falla en cualesquiera de estos dos enlaces, podría apagar la ET-004 generando la salida de las plantas asociadas a esta subestación, y muy seguramente una apagada general de la refinería.

Las fallas en los cables de media tensión como los de los enlaces, además de generar emergencias por paradas no programadas de las plantas, generan otro tipo de pérdidas cuantificables como daños en los equipos, consecución de

repuestos y materiales. Adicionalmente, la planeación de mantenimiento se ve afectada por la desviación del recurso humano para atención de las emergencias por periodos prolongados de tiempo.

Por otro lado, existen una serie de pérdidas que aunque no son cuantificables, son inclusive más importantes que las anteriores, como lo son los riesgos a los que se ven expuestas las personas, la imagen de la empresa al interior y por fuera de esta.

El problema consiste en definir si la refinería continua operando con los enlaces como se encuentran actualmente, y asume el riesgo inminente de una falla de estos y sus consecuencias, o por el contrario realiza la inversión necesaria para la reposición de ambos enlaces eliminando prácticamente el riesgo de ocurrencia de una falla de origen eléctrico en este punto del sistema.

5 ANTECEDENTES

Durante la instalación de la ET-004 en el año 2007, los enlaces AL004/U2400 y AL004/U2400A, fueron trasladados desde las Unidades U900 y U950 a esta subestación. En las intervenciones realizadas sobre los cables se encontraron arborescencias en el aislamiento del cable, las arborescencias ¹ son generadas por el ingreso de humedad al interior del aislamiento del cable. Al producirse las arborescencias también se producen caminos entre el conductor y la pantalla de puesta a tierra que finalmente se convierten en fallas monofásicas a tierra generando altas corrientes de cortocircuito.



Figura 3. Reparación Cable del Enlace AL004/U2400

Adicionalmente, En noviembre de 2008, durante una de las rondas de termografía que se realiza periódicamente a los cables críticos de media tensión de la GRB, se encontró en mal estado un tramo de cable de una de las ternas del Enlace AL004/U2400A.

¹ El fenómeno de las arborescencias consiste en la formación de caminos al interior del aislamiento, por los cuales aparece circulación de cargas desde el conductor hacia el apantallamiento; este fenómeno se da comúnmente por presencia de humedad y ante altos campos eléctricos que hacen que el polímero se comience a degradar. Boletín Técnico Cables y Tecnología, Centelsa, Abril 2008

El cable fue reparado y puesto en servicio posteriormente como se muestra en la Figura 3, aunque los valores de aislamiento medidos después de la reparación superaban los resultados obtenidos justo después de desenergizar el alimentador, estos eran considerablemente bajos incluso comparados con los cables de las demás ternas.

6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

6.1 CONDICIONES GENERALES

Los enlaces eléctricos entre las subestaciones de la U-2400 y la ET-004, se hacen a través de cuatro ternas de cable 1000 kCMIL XLPE (Polietileno reticulado), 15 kV de aislamiento al 133%, agrupadas en dos enlaces independientes cada uno de dos ternas, los cuales tienen 29 años en continua operación y ya cumplieron el límite de las condiciones de aislamiento del cable.

El Enlace No 1, va desde la casilla 17A de la Central del Norte hasta la casilla 11E en la subestación ET-004 y el Enlace No 2, va desde la casilla 17A de la Central del Norte (U-2400) hasta la casilla 11E de la subestación ET-004, y al ir por la misma ruta, ambos tienen una longitud aproximada de 1200 metros. En la Figura 4, se puede apreciar claramente la distribución eléctrica.

Una falla del cable dejará aislada eléctricamente el área norte (U2400) donde se encuentran ubicadas las unidades de generación, del área sur de la refinería (ET-004), afectando las cargas alimentadas desde esta última, con la consecuencia de parada de plantas, lucro cesante y gastos por reparaciones en el enlace y en equipos.

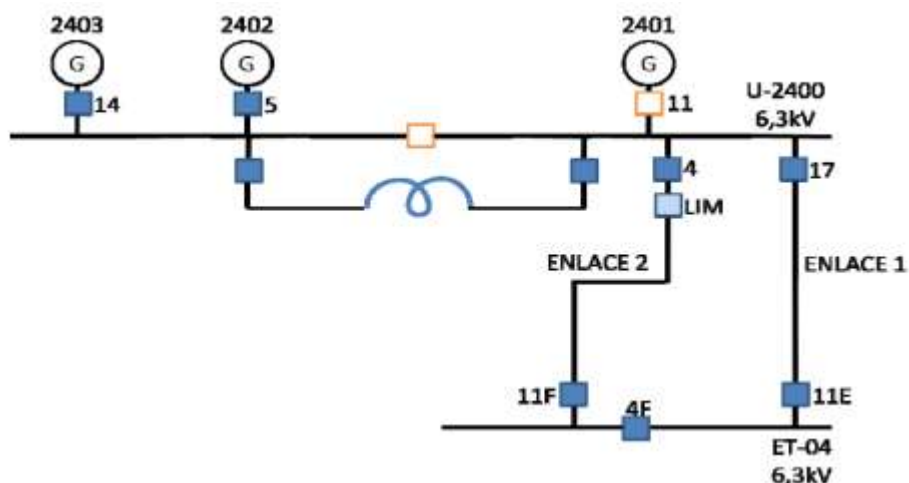


Figura 4. Celdas de Entrada y Salida de los Enlaces entre la ET-004 y la U-2400

El deterioro presentado en el nivel de aislamiento de los cables lo han ocasionado la manipulación, y las condiciones físicas, ambientales, de operación, y eléctricas a las que ha estado expuesto el cable durante los veintinueve años de operación.

El deterioro del aislamiento por envejecimiento, aunado a elementos externos como la presencia de agua en las cajas de inspección y aún la condensación en los ductos de la humedad del medio ambiente por los cambios de temperatura, influyen los sobrevoltajes generados por maniobras eléctricas del sistema ó por causa atmosférica.

El bajo aislamiento fue detectado durante las rondas de chequeo con termografía y reparación de los empalmes. Allí, se encontraron valores críticos de aislamiento en los cables del Enlace 2 mientras que los cables del Enlace 1 presentaron valores mayores aceptables respecto a los valores normalizados.

6.2 PANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta las condiciones actuales del sistema, se podrían plantear tres diferentes alternativas para la reposición del enlace eléctrico entre la unidad de generación de la central del norte U-2400 y la subestación eléctrica ET-004.

6.2.1 Alternativa No 1: Línea Base

La Alternativa No 1, consiste en no realizar ninguna acción de mejora y convivir con el riesgo realizando mantenimiento y revisiones periódicas de los sistemas, y asumiendo el riesgo sobre las personas, los procesos y las instalaciones, afectando la continuidad de suministro de energía eléctrica a las plantas de proceso.

Lo anterior implica contar con reserva suficiente de cable de iguales características y empalmes apropiados para estar cambiando los tramos que resulten dañados, situación que cada día se hará más crítica, ya que no siempre

la falla del cable va a ocurrir en los empalmes y, cuando se presente al interior de los ductos, se hará más compleja su localización, y una vez ubicada será necesario cambiar el tramo de cable entre cajas de inspección (como mínimo 300 m en falla entre dos cajas de inspección y de una sola terna), e incrementar el número de empalmes de los circuitos.

6.2.2 Alternativa No 2

La Alternativa No 2 sería el reemplazo del cable de los enlaces, por otro de mejores características (XLPE-TR: TREE RETARDANT CROSS LINKED POLYETHYLENE) de acuerdo con las especificaciones vigentes para la GRB con un tiempo de operación confiable de 18 años usando los ductos y cajas de inspección o de halado existentes, y haciendo cambio de las dos ternas de cable de cada enlace una a continuación de la otra. En este caso los dos enlaces seguirían compartiendo la misma ruta de cajas de inspección durante todo el trayecto.

El llevar a cabo esta alternativa implica que uno de los enlaces durante el cambio de los cables estará fuera de operación. Teniendo en cuenta, que cada enlace está transportando una carga promedio de cinco megavatios (5 MW), equivalente al 100% de su capacidad de diseño, la cual se deberá suplir con otra fuente, dejando el sistema en una condición crítica de operación, y limitando la maniobrabilidad del mismo.

Con esta alternativa el enlace estará fuera de servicio durante la desconexión del cable existente, el descableado del cable existente, la instalación y conexión del nuevo cable, ya que se usarán los ductos del cable existente. Estos trabajos dan un tiempo estimado de 60 días calendario, durante los cuales habrá restricción en la transferencia de carga desde la U2400 hasta la ET004.

Adicionalmente para esta alternativa, el limitador de corriente que se encuentra instalado en el Enlace 2 (Ver Figura 4) se puede dar de baja teniendo en cuenta que ya existe en operación un sistema de protección por relés diferenciales y actualmente presenta limitaciones en la consecución de los repuestos, por la discontinuidad en la fabricación de los fusibles de protección.

6.2.3 Alternativa No 3: Condición Óptima

Esta alternativa consiste en el reemplazo del cable de los enlaces, por otro de mejores características (XLPE-TR: TREE RETARDANT CROSS LINKED POLYETHYLENE) de acuerdo con las especificaciones vigentes para la GRB con un tiempo de operación confiable de 18 años usando dos rutas diferentes.

La ruta para el primer enlace, sería la existente entre las subestaciones ET007 y ET003, subestaciones contiguas a la U-2400 y la ET-004 respectivamente, más dos nuevos bancos de ductos de aproximadamente veinte metros (20 m) cada uno para ir desde la ET-007 a la U-2400 y de la ET-003 a la ET-004, y de esta manera se lograría interconectar las dos subestaciones. El segundo enlace se cablearía por la ruta actual utilizando los ductos que se liberaron al tender el cableado del primer enlace por la nueva ruta.

Durante la construcción y el cableado de la nueva ruta ambos enlaces continuarán operando en las mismas condiciones que lo vienen haciendo.

Aunque la instalación y conexión del nuevo cable para cada uno de los enlaces dura aproximadamente treinta (30) días calendario, contando con una programación de recursos y una constructibilidad óptimas y usando equipos de halado de cables (equipo eléctrico de halado con velocidad y tensión controlables). Los enlaces solo estarán fuera de servicio durante la desconexión del cable existente y el conexión del nuevo cable, labores que se pueden

realizar en un solo día disminuyendo considerablemente el tiempo en el que habría restricción en la transferencia de carga desde la U-2400 hasta la ET-004.

Adicionalmente, en caso de presentarse una falla en uno de los enlaces, o uno de los demás cables con los que comparten cajas de inspección, la falla solo afectaría un enlace a la vez, aunque habrían algunas limitaciones de flujo y de estabilidad de potencia se podría seguir llevando la energía necesaria para alimentar las pantas del lado sur de la refinería desde la Central del Norte, mientras se realiza la corrección de la falla.

De igual manera que en la alternativa anterior, el limitador de corriente que se encuentra instalado en el Enlace 2 (Ver Figura 4) se puede dar de baja.

6.3 ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS ALTERNATIVAS

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es un proceso estructurado y multidisciplinario que soporta la decisión para determinar costo efectivamente los requerimientos del mantenimiento óptimo de un activo físico en su contexto operativo. Permite establecer las estrategias de mantenimiento óptimas, ya sea de carácter preventivo, por condición, y a ruptura, mediante la estructuración de un paquete de requerimientos de mantenimiento optimizados en cuanto al costo o en términos de frecuencia e intervalo de ejecución.

En este caso, el análisis técnico de las alternativas se realiza con base en los principales criterios de operación de un sistema eléctrico según la metodología RCM, Confiabilidad, Mantenimiento, y Disponibilidad. En la Tabla No 1, se muestra la evaluación técnica de cada de cada una de las alternativas comparándolas con las demás, con base en los criterios mencionados.

Criterios	Alternativas		
	1	2	3
Confiabilidad	Incrementa el riesgo de apagada general de la refinería.	Disminuye el riesgo de falla en los enlaces por pérdida de aislamiento.	Disminuye el riesgo de falla en los enlaces por pérdida de aislamiento.
	Afecta la imagen del sistema y sus custodios dentro y fuera de la compañía.	Una falla en uno de los cables de los enlaces o los cables con los que comparten manholes afectaría ambos enlaces.	Una falla en uno de los cables de los enlaces o los cables con los que comparten manholes afectaría solo un enlace aumentando el nivel de confiabilidad del sistema.
	Disminuye la confiabilidad general del sistema eléctrico de la GRB.		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Mantenimiento	Pone en riesgo la vida de los operadores, y trabajadores de la GRB, y afecta negativamente la seguridad de los equipos e instalaciones de la refinería.	Disminuye las tareas de mantenimiento, se pueden incrementar los periodos entre monitoreos y supervisión.	Disminuye las tareas de mantenimiento, se pueden incrementar los periodos entre monitoreos y supervisión.
	Eleva el número de acciones por mantenimiento correctivo.	Disminuye el riesgo de explosión y/o incendio ne los manholes, por falla eléctrica de los cables.	Disminuye el riesgo de explosión y/o incendio ne los manholes, por falla eléctrica de los cables.
	Incrementa las tareas de mantenimiento, requiere mayor monitoreo y supervisión.	Cuando se requiera sacar uno de los enlaces por mantenimiento, la estabilidad del sistema se debilita	Permite realizar mantenimiento periódico, y desenergización de uno de los enlaces a la vez cuando se requiera
	BAJA	MEDIA	ALTA
Disponibilidad	Limita las maniobras de operación.	Al usar los ductos existentes, cada uno de los enlaces estaría fuera de servicio mínimo 30 días.	Al usar los una nueva ruta, los enlaces solo estarían fuera de servicio por un día.
	Elimina la posibilidad de alimentar toda la carga con un solo alimentador cuando se requiera.	Aún con los cables nuevos no se podría alimentar toda la carga por un solo alimentador.	En condiciones especiales, se podría alimentar toda la carga con un solo enlace.
	Requiere inventario de cables, empalmes y accesorios para reparar las fallas.		
	BAJA	BAJA	ALTA

Tabla 1. Análisis Técnico de las Alternativas

Con base en el anterior análisis cualitativo se observa que la alternativa técnicamente más recomendable es la alternativa número tres (3).

7 EVALUACIÓN FINANCIERA

7.1 CONDICIONES GENERALES

En este caso el análisis financiero tiene en cuenta las siguientes variables:

- El modelo financiero establecido por Ecopetrol considera una Tasa Mínima de Rendimiento T.M.R del 10%, en el caso de los proyectos de reposición.
- Las pérdidas por disponibilidad y confiabilidad (lucro cesante, etc.), equivalen a las pérdidas que se tendrían por la salida de las plantas del área sur de la refinería, sin considerar una apagada general, en dólares constantes.
- Los porcentajes de máxima probabilidad de ocurrencia son tomados con base en los valores históricos de falla de los alimentadores de media tensión de la GRB.
- En este caso no se consideran pérdidas por energía (combustible), ni pérdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc.), dado que el origen de la falla sería la pérdida del suministro eléctrico.
- No se tienen en cuenta las multas, primas o seguros, puesto que no se considera una apagada general de la refinería.
- Las Pérdidas Brutas (por equipo y falla) corresponden al total de pérdidas generadas multiplicadas por la máxima probabilidad de ocurrencia, en este caso
- Los Costos de mantenimiento equivalen, a los costos en que se incurrirían para reparar una falla en los enlaces.

7.2 ALTERNATIVA 1: LÍNEA BASE

RIESGO BASE	Beneficios Financieros en KUSD Constantes (por equipo y falla)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Areas de Resultado	1	0,9090909	0,8264463	0,751315	0,683013	0,6209213	0,564474	0,513158	0,466507	0,4240976
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad(lucro cesante, etc)	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170
Maxima probabilidad de ocurrencia	60%	60%	70%	70%	80%	80%	90%	90%	99%	99%
Perdidas por energía (combustible)										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc)										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Multas, primas o seguros										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas Brutas (por equipo y falla)	-\$ 702	-\$ 702	-\$ 819	-\$ 819	-\$ 936	-\$ 936	-\$ 1.053	-\$ 1.053	-\$ 1.158	-\$ 1.158
Costos de mantenimiento	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70
Costos de operación										
Costos de disposición										
FLUJO DE CAJA	-\$ 772	-\$ 772	-\$ 889	-\$ 889	-\$ 1.006	-\$ 1.006	-\$ 1.123	-\$ 1.123	-\$ 1.228	-\$ 1.228
Valor Presente FC	-\$ 772	-\$ 702	-\$ 735	-\$ 668	-\$ 687	-\$ 625	-\$ 634	-\$ 576	-\$ 573	-\$ 521

Areas de Resultado	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	0,385543	0,350494	0,318631	0,2896644	0,263331	0,239392	0,21762914	0,19784467	0,17985879	0,16350799
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad(lucro cesante, etc)	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170
Maxima probabilidad de ocurrencia	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	100%	100%
Perdidas por energía (combustible)										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc)										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Multas, primas o seguros										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas Brutas (por equipo y falla)	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.158	-\$ 1.170	-\$ 1.170
Costos de mantenimiento	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70	-\$ 70
Costos de operación										
Costos de disposición										
FLUJO DE CAJA	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.228	-\$ 1.240	-\$ 1.240
Valor Presente FC	-\$ 474	-\$ 431	-\$ 391	-\$ 356	-\$ 323	-\$ 294	-\$ 267	-\$ 243	-\$ 223	-\$ 203

VPN Total Riesgo base	-\$ 6.492
VPN	-\$ 6.492

Tabla 2. Formato Costo de Ciclo de Vida del Proyecto (Riesgo Base)

En la Tabla 2, se realiza al análisis financiero de las alternativas para el riesgo base o sin proyecto, el cual se considera como alternativa 1

En el análisis los valores están dados en miles de dólares constantes, la tasa que toma Ecopetrol es de un 10% E.A., la evaluación se realiza para un periodo de 18 años + 1 año, estos 18 años corresponden al tiempo de vida útil estimado para los cables de media tensión.

Las pérdidas por disponibilidad y confiabilidad, se estimaron con base en las siguientes apreciaciones:

Una falla en los enlaces dejaría por fuera durante tres días las plantas U-2000, U-2100, LADO FRIO UOPII, CRACKING IV.

El lucro cesante diario en dólares constantes para la refinería teniendo estas plantas fuera de servicio sería de 390 KUS\$/DÍA

La reparación de la falla y arranque de las plantas se realizaría en un periodo de 3 días trabajando en dos turnos dado que se perderían ambos enlaces al mismo tiempo.

Se estima un costo de mantenimiento de 70 mil dólares para reparar una falla en los enlaces.

Con base en la experiencia, la máxima probabilidad de ocurrencia de una falla de este tipo, en uno de los cables asociados a los enlaces, es del 60% hasta el próximo año, un 70% hasta el 2013, un 80% desde 2014 hasta 2015, y de allí en adelante sería del 99%.

No se consideraron pérdidas por energía, por consumo de servicios, y/o primas multas o seguros.

El Valor Presente Neto del Flujo de Caja Sin Proyecto es de \$-6.492.000 USD.

7.3 ALTERNATIVA 2

RIESGO CON PROYECTO	Inversiones en KUSD Constantes (por equipo)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Descripción de la Inversión	1	0,9090909	0,8264463	0,751315	0,683013	0,6209213	0,564474	0,513158	0,466507	0,4240976
Ingeniería y Diseño (Consultoría)	-\$ 10									
Compras (Global para la actividad)	-\$ 2.050									
Montaje (Global para la actividad)	-\$ 110									
Pruebas, precommissioning y commissioning	-\$ 5									
Interventoría	-\$ 23									
Inversión total (Global para el proyecto)	-\$ 2.198									
Costos de mantenimiento	\$ 0									
Costos de operación	\$ 0									
Costos de disposición	\$ 0									
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170
Maxima probabilidad del ocurrencia	10%	10%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Perdidas por energía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc)	\$ 0									
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Multas, primas o seguros	\$ 0									
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas Brutas (por equipo y falla)	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59
FLUJO DE CAJA	-\$ 2.315	-\$ 117	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59
Valor Presente FC	-\$ 2.315	-\$ 106	-\$ 48	-\$ 44	-\$ 40	-\$ 36	-\$ 33	-\$ 30	-\$ 27	-\$ 25

RIESGO CON PROYECTO

Descripción de la Inversión	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	0,385543	0,350494	0,318631	0,2896644	0,263331	0,239392	0,21762914	0,19784467	0,17985879	0,16350799
Ingeniería y Diseño (Consultoría)										
Compras (Global para la actividad)										
Montaje (Global para la actividad)										
Pruebas, precomisioning y commisioning										
Interventoría										
Inversión total (Global para el proyecto)										
Costos de mantenimiento										
Costos de operación										
Costos de disposición										
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170	-\$ 1.170
Maxima probabilidad del ocurrencia	5%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	20%
Perdidas por energía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc)										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Multas, primas o seguros										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas Brutas (por equipo y falla)	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 234
FLUJO DE CAJA	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 59	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 117	-\$ 234

VPN del Riesgo con proyecto	-\$ 2.705
VPN	-\$ 2.705

Riesgo Base (KUSD)	-6.492
Riesgo con proyecto (KUSD)	-2.705
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	-2.198

Relación Beneficio/Costo	1,72
---------------------------------	-------------

Tabla 3. Formato Costo de Ciclo de Vida del Proyecto (Riesgo con Proyecto Alternativa 2)

En la Tabla 3 se realiza el análisis financiero de la Alternativa No 2, en el análisis los valores están dados en miles de dólares, la tasa que toma Ecopetrol es de un 10% E.A., la evaluación se realiza para un periodo de 18 años + 1 año, estos 18 años corresponden al tiempo de vida útil estimado para los cables de media tensión.

La inversión total para el proyecto considera:

La ingeniería y el diseño para el montaje, debe especificar las características de los cables, referenciando su calibre, nivel de aislamiento, longitud, y los planos de trazado de la ruta de los enlaces, que indiquen las cajas de inspección, distancias, ductos libres y ocupados.

El cable requerido para la reposición es un cable de cobre calibre 1000kcmil, XLPE-TR, 15kV 133%, con pantalla en cinta de cobre y bloqueos contra humedad en el conductor y las pantallas. Según los acuerdos de precios vigentes entre Ecopetrol y Centelsa (principal fabricante de conductores eléctricos del país), un metro de este cable cuesta 140 U\$D, es por esto que los 14400 m de cable requeridos para el proyecto alcanzan un costo total de 2016 kU\$D, el valor restante equivale a la compra de materiales consumibles requeridos para la instalación de los cables como son cintas, terminales, y empalmes premoldeados entre otros.

En el caso de las compras, el mayor valor es generado por la compra del cable, inicialmente Ecopetrol deberá comprar este aprovechando los acuerdos en precios que tiene con proveedores como Centelsa y Procables, y subcontratar su instalación, para evitar incurrir en los costos adicionales que se generan cuando un tercero compra los insumos.

En el montaje se tienen en cuenta, la desconexión, y retiro de los cables existentes, y el tendido, instalación y conexión del nuevo cable, además se incluye el desmontaje del limitador de corriente.

En este caso, para la valoración de la falla se considera que una falla en los enlaces dejaría por fuera durante tres días las plantas U-2000, U-2100, LADO FRIO UOPII, CRACKING IV. El lucro cesante diario para la refinería teniendo estas plantas fuera de servicio sería de 390 KUS\$/DÍA. La reparación de la falla y arranque de las plantas se realizaría en un periodo de tres días trabajando en dos turnos, dado que se perderían ambos enlaces al mismo tiempo,

Al reemplazar el cable se disminuye el riesgo de falla de los enlaces. Sin embargo, existe una posibilidad de falla que es superior al principio y final del periodo teniendo en cuenta las características del sistema. La máxima probabilidad de ocurrencia de una falla de este tipo, en uno de los cables asociados a los enlaces, es del 10% los dos primeros años, un 5% hasta el 2023, un 10% desde 2023 hasta 2028, y en el 2029 del 20%.

No se consideraron pérdidas por energía, por consumo de servicios, y/o primas multas o seguros, ni costos de mantenimiento

El Valor Presente Neto del Flujo de Caja Sin Proyecto es de \$-2.705.000 USD, aunque es negativo, es inferior al VPN sin proyecto. Por lo que se obtiene una relación beneficio costo de 1,72.

7.4 ALTERNATIVA 3: CONDICIÓN IDEAL

RIESGO CON PROYECTO	Inversiones en KUSD Constantes (por equipo)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Descripción de la Inversión	1	0,9090909	0,8264463	0,751315	0,683013	0,6209213	0,564474	0,513158	0,466507	0,4240976
Ingeniería y Diseño (Consultoría)	-\$ 15									
Compras (Global para la actividad)	-\$ 2.130									
Montaje (Global para la actividad)	-\$ 130									
Pruebas, precommissioning y commissioning	-\$ 5									
Interventoría	-\$ 23									
Inversión total (Global para el proyecto)	-\$ 2.303									
Costos de mantenimiento	\$ 0									
Costos de operación	\$ 0									
Costos de disposición	\$ 0									
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390
Maxima probabilidad del ocurrencia	10%	10%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Perdidas por energía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc)	\$ 0									
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Multas, primas o seguros	\$ 0									
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas Brutas (por equipo y falla)	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20
FLUJO DE CAJA	-\$ 2.342	-\$ 39	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20
Valor Presente FC	-\$ 2.342	-\$ 35	-\$ 16	-\$ 15	-\$ 13	-\$ 12	-\$ 11	-\$ 10	-\$ 9	-\$ 8

RIESGO CON PROYECTO

Descripción de la Inversión	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	0,385543	0,350494	0,318631	0,2896644	0,263331	0,239392	0,21762914	0,19784467	0,17985879	0,16350799
Ingeniería y Diseño (Consultoría)										
Compras (Global para la actividad)										
Montaje (Global para la actividad)										
Pruebas, precomisioning y commisioning										
Interventoría										
Inversión total (Global para el proyecto)										
Costos de mantenimiento										
Costos de operación										
Costos de disposición										
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390	-\$ 390
Maxima probabilidad del ocurrencia	5%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	20%
Perdidas por energía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas por consumo de servicios (vapor, agua, aire, etc)										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Multas, primas o seguros										
Maxima probabilidad del ocurrencia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Perdidas Brutas (por equipo y falla)	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 78
FLUJO DE CAJA	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 20	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 39	-\$ 78
Valor Presente FC	-\$ 8	-\$ 7	-\$ 6	-\$ 6	-\$ 10	-\$ 9	-\$ 8	-\$ 8	-\$ 7	-\$ 13

VPN del Riesgo con proyecto	-\$ 2.472
VPN	-\$ 2.472

Riesgo Base (KUSD)	-6.606
Riesgo con proyecto (KUSD)	-2.472
VPN Inversión Alternativa (KUSD)	-2.303

Relación Beneficio/Costo	1,79
---------------------------------	-------------

Tabla 4. Formato Costo de Ciclo de Vida del proyecto (Riesgo con Proyecto Alternativa 3)

En la Tabla 4 se realiza el análisis financiero de la Alternativa No 3, en el análisis los valores están dados en miles de dólares, la tasa que toma Ecopetrol es de un 10% E.A., la evaluación se realiza para un periodo de 18 años + 1 año, estos 18 años corresponden al tiempo de vida útil estimado para los cables de media tensión.

La ingeniería y el diseño para el montaje, debe especificar las características de los cables, referenciando su calibre, nivel de aislamiento, longitud, y los planos de trazado de la ruta de los enlaces, que indiquen las cajas de inspección, distancias, ductos libres y ocupados.

En la ingeniería también se contempla el diseño de los nuevos bancos de ductos así como, las cajas de inspección asociadas a estos.

Al igual que en la alternativa 2, el costo de mayor impacto es el generado por la compra del cable, por ende, también se recomienda comprar este aprovechando los acuerdos en precios que tiene con proveedores como Centelsa y Procables, y subcontratar su instalación, para evitar incurrir en los costos adicionales que se generan cuando un tercero compra los insumos.

En esta alternativa además de los 2050 kUSD requeridos para la compra del cable, se necesitan 80 kUSD para comprar la tubería y demás materiales requeridos en los bancos de ductos. De igual manera la instalación de la tubería incrementa en 20 kUSD los costos de montaje de la alternativa tres respecto a la alternativa número dos. Es claro que aunque el costo de la tubería conduit y los materiales necesarios para la elaboración del banco de ductos son mínimos comparados con el costo del cable, estos también se deben tener en cuenta dentro de las compras requeridas para el proyecto.

En el montaje se tienen en cuenta, la desconexión, y retiro de los cables existentes, y el tendido, instalación y conexión del nuevo cable, además se incluye el desmontaje del limitador de corriente.

Las pérdidas por disponibilidad y confiabilidad, se estimaron con base en las siguientes apreciaciones, una falla en los enlaces dejaría por fuera durante tres días las plantas U-2000, U-2100, LADO FRIO UOPII, CRACKING IV. El lucro cesante diario para la refinería teniendo estas plantas fuera de servicio sería de 390 KUS\$/DÍA. La duración de la apagada sería de un solo día ya que la falla solo afectaría un enlace, y tendríamos disponibilidad inmediata de energía por el otro enlace.

Al reemplazar el cable se disminuye el riesgo de falla de los enlaces. Sin embargo, existe una posibilidad de falla que es superior al principio y final del periodo teniendo en cuenta las características del sistema. La máxima probabilidad de ocurrencia de una falla de este tipo, en uno de los cables asociados a los enlaces, es del 10% los dos primeros años, un 5% hasta el 2023, un 10% desde 2023 hasta 2028, y en el 2029 del 20%.

No se consideraron pérdidas por energía, por consumo de servicios, y/o primas multas o seguros, ni costos de mantenimiento.

El Valor Presente Neto del Flujo de Caja Sin Proyecto es de \$-2.472.000 USD, aunque la inversión inicial es superior que la de las Alternativas 1 y 2, por la construcción de los bancos de ductos, el VPN y la relación Beneficio costo de esta alternativa son mejores.

8 TENDIDO E INSTALACIÓN DE LOS CABLES

8.1 CONDICIONES GENERALES

Todas las herramientas y equipos eléctricos (como extensiones, lámparas, transformadores, cables, ventiladores, extractores, etc.), a utilizar en el montaje, deben estar diseñados para ser utilizados en el área clasificada en donde se ejecuten los trabajos y deben estar en perfecto estado.

Se tendrá en cuenta para la elaboración de cada procedimiento de trabajo las recomendaciones emitidas por el ingeniero electricista responsable del área.

Este procedimiento no exime a los ejecutores, de la realización del análisis de trabajo seguro, ni del trámite del respectivo permiso de trabajo para cada una de las áreas en donde se va a llevar a cabo.

Todo el personal, sin excepción utilizará los elementos básicos de seguridad para la especialidad y/o especiales de acuerdo con el riesgo de exposición, identificado en el panorama de riesgos de la actividad a ejecutar.

Es responsabilidad del ejecutor aislar, descargar, verificar ausencia de tensión y aterrizar los equipos eléctricos que van a ser intervenidos.

8.2 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Para el inicio de las actividades es indispensable presentar un plan de trabajo, en el cual se afecte el menor tiempo a los usuarios. Así mismo se deben seguir las directrices del manual de seguridad eléctrica de la GRB en cada una de las actividades a realizar.

Antes de iniciar los trabajos se debe contar con la ruta definida del enlace a intervenir.

8.3 DESINSTALACIÓN DE CABLES

La ejecución de estos trabajos incluye las siguientes actividades:

Identificar el circuito a desenergizar, verificando la ruta del cableado.

Identificar cada línea mediante pruebas de continuidad, marcar tanto en la fuente como en la carga antes de desconectar los cables, con el fin de evitar cambio de secuencia de fases en el circuito.

Desconectar líneas de potencia en la fuente y en llegada del enlace

Destapar las cajas de inspección por las que pasa la ruta del circuito intervenido retirando completamente la tapa. Las tapas se deberán retirar sin deteriorarlas. En el caso de cajas de inspección con tapa de concreto, estas deben ser sujetadas con estrobos de acero y levantadas con grúa de extensión, para ubicarlas cerca de la respectiva caja de inspección.

Extraer el agua de todas las cajas de inspección pertenecientes a la ruta del circuito intervenido, señalizando adecuadamente el área donde se encuentra la caja de inspección que se requiere intervenir y tramitando los permisos de cierre de vía que sean requeridos. El agua que se extrae de las cajas de inspección debe extraerse con motobomba tipo diesel con manguera y boquilla plástica de diámetro suficiente para evacuar el agua (mínimo 4”) y disponerla en el sitio definido por el área operativa en el que no se vean afectadas ni seres vivos, ni equipos.

Verificar la ausencia de atmósfera explosiva y ausencia de gases tóxicos antes de ingresar en las cajas de inspección, además si se necesita ingresar al interior de la caja de inspección se deben colocar mantas dieléctricas sobre los cables. Durante la ejecución de los trabajos los ejecutores deben contar con por lo menos un detector de H₂S según lo establece la directriz No 21. En caso de lluvia se detendrán todas las actividades que se estén desarrollando dentro y fuera de la caja de inspección

En caso de ingreso a una caja de inspección, se debe tramitar el certificado de ingreso en áreas con atmósfera no peligrosa, y de altura, cumplir con los requerimientos necesarios, contar con arnés, línea de vida, trípode y plan de rescate.

Verificar identificación o en caso de no tenerla, identificar con pintura en las caras de cada caja de inspección y en los cárcamos o sótanos de las subestaciones de salida y/o llegada del circuito los ductos correspondientes al circuito a intervenir.

Descablear, mediante halado manual, los ductos pertenecientes al circuito intervenido, e introduciendo la sonda para halar el nuevo cable.

Recoger el conductor en buen estado envolviendo en los carretes cada 200 m., sin que sea maltratado en su halado que para este caso debe ser halado a mano o mediante un malacate de velocidad controlada.

Lavar y secar todo el recorrido de los ductos del circuito intervenido desde la fuente hasta la carga, con agua y sonda con disco de caucho o cilindro de madera para arrastre del agua, y bola de trapo integrada detrás del cilindro para el secado del ducto, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo “ASEO EN LAS CAJAS DE INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LOS DUCTOS”. La sonda a utilizar deberá ser de nylon de un espesor que resista la tensión mecánica de los conductores. No se

permitirá sonda metálica para evitar deterioro del ducto por fricción entre los dos metales.

En caso de requerirse la manipulación de cables que se encuentren instalados dentro de la caja de inspección, esta se debe realizar con guantes dieléctricos y con previa autorización del supervisor eléctrico del área.

Cuando se requiera ingresar en una caja de inspección que tenga cables empalmados, estos deben ser reubicados cerca de la pared de la caja de inspección con el fin de evitar el contacto directo con ellos.

Instalar tapones metálicos del mismo diámetro de cada uno de los ductos descableados con el fin de evitar el ingreso de agua a los mismos.

En el caso que se presente una falla de bajo aislamiento en uno de los cables de una terna, es necesario retirar todos los cables que comparten el ducto y reemplazarlos nuevamente. Debido a que la falla que se presentó, probablemente haya afectado los demás cables y aunque la falla no sea evidente inicialmente, a futuro se pueden presentar nuevas y más severas fallas que ocasionen nuevamente la salida del equipo y afectaciones colaterales a los equipos y personas que se encuentren en el área en el momento de la falla.

8.4 INSTALACIÓN DE CABLES ELÉCTRICOS

La ejecución de este trabajo incluye las siguientes actividades:

Identificar el circuito a cablear, verificando la ruta del cableado.

Instalar tubería Rigid Metal Conduit en los circuitos en que se encuentren deteriorados de acuerdo con la recomendación dada por el ingeniero electricista encargado del área, en caso de cambiar el cable o el tamaño del ducto se debe

cumplir con el porcentaje de ocupación que es del 40% para más de dos cables por un mismo ducto.

Solicitar al dueño del activo la desenergización, y aislamiento eléctrico del equipo a intervenir. El ejecutor deberá realizar la solicitud para los permisos de cierre de vía y señalizar el cierre de las vías que aplique, utilizando vallas, bases con pedestal y avisos luminosos intermitentes que se utilizarán como semáforos para una mayor visibilidad y precaución en horario nocturno. Este procedimiento se implementará de acuerdo con las condiciones y necesidades físicas, ergonómicas que se presente en los diferentes tramos donde se llevará a cabo el trabajo.

En caso de que las cajas de inspección pertenecientes a la ruta del circuito intervenido se encuentren tapadas se requerirá destaparla, retirando completamente la tapa. Al destapar las cajas de inspección por los que pasa la ruta del circuito intervenido, las tapas se deberán retirar sin deteriorarlas. En el caso de cajas de inspección con tapa de concreto, estas deben ser sujetadas con estobos de acero y levantadas con grúa de extensión, para ubicarlas cerca de la respectiva cámara de inspección.

Extraer el agua de todas las cajas de inspección pertenecientes a la ruta del circuito intervenido, señalizando adecuadamente el área donde se encuentra la caja de inspección que se requiere intervenir y tramitando los permisos de cierre de vía que sean requeridos. El agua que se extrae de las cajas de inspección debe extraerse con motobomba tipo diesel con manguera y boquilla plástica de diámetro suficiente para evacuar el agua (mínimo 4") y disponerla en el sitio definido por el área operativa en el que no se vean afectadas ni seres vivos, ni equipos.

Verificar la ausencia de atmósfera explosiva y ausencia de gases tóxicos antes de ingresar en las cajas de inspección, además si se necesita ingresar al interior de la caja de inspección se deben colocar mantas dieléctricas sobre los cables.

Durante la ejecución de los trabajos los ejecutores deben contar con por lo menos un detector de H₂S según lo establece la directriz No 21. En caso de lluvia se detendrán todas las actividades que se estén desarrollando dentro y fuera de la caja de inspección.

En caso de ingreso a una caja de inspección se debe tramitar el certificado de ingreso en áreas con atmosfera no peligrosa, y de altura, cumplir con los requerimientos necesarios, contar con arnés, línea de vida, trípode y plan de rescate.

Verificar identificación o en caso de no tenerla, identificar con pintura en las caras de cada caja de inspección y en los cárcamos o sótanos de las subestaciones de salida y/o llegada del circuito los ductos correspondientes al circuito a intervenir.

Siempre se deben limpiar los ductos pertenecientes a la ruta del circuito intervenido, desde la fuente hasta la carga.

Lavar y secar todo el recorrido de los ductos del circuito intervenido, con agua o aire (solo baja tensión) y sonda con disco de caucho o cilindro de madera para arrastre del agua, y bola de trapo integrada detrás del cilindro para el secado del ducto. La sonda a utilizar deberá ser de nylon de un espesor que resista la tensión mecánica de los conductores. No se permitirá sonda metálica para evitar deterioro del ducto por fricción entre los dos metales.

En caso de requerirse la manipulación de cables que se encuentren instalados dentro de la caja de inspección, esta se debe realizar con guantes dieléctricos y con previa autorización del supervisor eléctrico del área.

Cuando se requiera ingresar en una caja de inspección que tenga cables empalmados, estos deben ser reubicados cerca de la pared de la caja de inspección con el fin de evitar el contacto directo con ellos.

Realizar prueba de aislamiento al cable nuevo antes de cablear, con el fin de verificar su condición y tener como referencia para comparar con los resultados de las pruebas después de cableado

El transporte y la ubicación de los carretes de cable en las cajas de inspección se realizará izándolos con grúa y transportándolos en un vehículo adecuado (no se utilizará camión remolcador).

Para la instalación de cables en los ductos pertenecientes al circuito se deben tener en cuenta los siguientes requerimientos:

Con el fin de disminuir los esfuerzos a los que es sometido el cable durante el tendido, la instalación de los cables se debe realizar partiendo desde la caja de inspección más cercano al punto medio de la ruta, que cuente con el espacio requerido para iniciar el tendido de los cables hacia cada uno de los extremos.

Durante la introducción del cable se debe ir lubricando con abundante producto "Polywater" de 3M, producto "Yellow" de la marca "Ideal", o productos de características físico-químicas similares aprobados previamente por el ingeniero electricista del área.

Se debe halar a mano en lo posible la totalidad del recorrido, y se podrá utilizar malacates neumático, eléctrico o hidráulico pero que sean de velocidad controlada.

En ningún caso se permitirá el uso de vehículo alguno como herramienta de halado.

Durante la introducción del cable se debe ir transportando los carretes desocupados, retirándolos del sitio y entregarlos al área de la bodega de Obsoleto

de materiales Galán, situada frente a las bodegas de Polietileno, para no congestionar zonas de acceso.

En cada una de las cajas de inspección o cajas de halado se instalarán marquillas de identificación, metálicas, con el número del circuito troquelado, y adosadas al cable respectivo con un collarín metálico de tal modo que no se afecten la chaquetas de los cables

No se permitirá dejar líneas atravesadas en vías internas; al final de cada jornada se debe dejar enrollada en los carretes y con señales de seguridad tipo semáforo color rojo como prevención para el tráfico vehicular. En las cajas de inspección que estén cerca de las vías de circulación del tránsito interno se debe dejar señales ó vallas de seguridad.

Al terminar la jornada, diariamente se deben tapar las cajas de inspección intervenidos con tubos conduits atravesados y tapando la totalidad de las cajas de inspección con plástico resistente y asegurado contra el viento y peso del agua lluvia, además se debe demarcar el área de la caja de inspección, con postes y avisos luminosos para evitar cualquier tipo de accidente que se pudiese generar por falta de señalización y/o identificación.

Cuando el cable se corte y prepare para realizar pruebas debe además secarse las puntas e instalarse inmediatamente los terminales premoldeados.

Realizar las pruebas correspondientes de acuerdo con el nivel de aislamiento del cable (media o baja tensión), en ambos casos se utilizaran conectores de ojo electroplateados 3M, Burndy o similares correspondientes al calibre del cable, cuya (s) perforación (es) y área de contacto correspondan con los del punto de conexión. En el caso de media tensión donde se requieren además de los conectores, terminales premoldeados. Es necesario que antes de realizar las pruebas se instalen los terminales premoldeados que deben ser "3M Cold Shrink

QT-III Indoor tubular terminations” en caso de ser instalado al interior de una subestación y “3M Cold Shrink QT-III Outdoor tubular terminations” si es expuesto a la intemperie o similares.

En los casos en los que los circuitos tengan más de un conductor por fase, los ductos deben ser cableados de tal manera que a través de estos solo vayan ternas completas y que estas tengan cada una de las fases

En cada uno de los extremos de los cables deben instalarse marquillas de identificación doble flecha que indiquen el punto de origen y destino del circuito. Adicionalmente, cada uno de los cables debe identificarse con anillos de cinta cada uno de los extremos, y empalmes asociados y en el caso de tener más de un conductor por fase, deben instalarse el número de anillos según la terna correspondiente P.ej. El segundo conductor de la fase A, debe estar identificado con dos anillos de cinta amarilla en cada uno de sus extremos y si tiene empalmes estos también deben estar identificados con dos anillos de cinta amarilla a lado y lado del conductor empalmado.

Realizar la conexión de ambos extremos del cable, sellar los terminales y conexión con cinta autofundente #23 de 3M y una capa de cinta #33 de 3M, además en los cables de media tensión realizar la conexión de la pantalla a tierra, la cual debe hacerse según lo establecido en el procedimiento para conexión de pantalla de cables de media tensión de la GRB, que normalmente establece aterrizar el lado fuente, y si se cuenta con un transformador de corriente de tipo toroidal para protección de falla a tierra la pantalla debe retornarse a través del transformador de corriente, como se muestra en la Figura 5.

En caso de estar conectando las líneas de un motor, realizar la prueba de sentido de giro para corroborar que no haya quedado invertida ninguna fase; en caso de conectar un tablero, un transformador o una carga de un alimentador, verificar la correcta secuencia de fases a través de las marcas sobre los cables retirados.

Instalación de chico y compuesto sellante en sellos cortafuego existentes en la acometida. De ser requerido se deberán instalar sellos cortafuego.

Aplicación de sellante de poliuretano mediante spray o instalación del sistema de sello de ductos Rayflate (RDSS) en los extremos de los ductos en cada caja de inspección con el fin de evitar el ingreso de agua. El ingeniero del área indicará que tipo de sello se utilizará con el aval del ingeniero responsable del área.

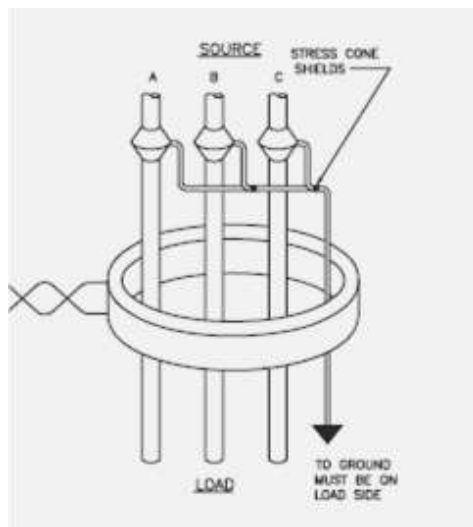


Figura 5. Conexión de Pantalla de Cables en Transformadores de Corriente Toroidales
Tomado de 750/760 Feeder Management Relay Instruction Manual; GE Multilin.

8.5 PRUEBAS DE LOS CABLES ELÉCTRICOS DE MEDIA TENSIÓN.

La ejecución de este trabajo debe realizarse en presencia del ingeniero de soporte e incluye las siguientes actividades:

Identificar el circuito a desenergizar, verificando la ruta del cableado, suministrada por Ecopetrol S.A.

Hacer prueba de aislamiento con Megger de 5000 VDC, o 10000 VDC con voltaje de salida ajustable según aplique, entre conductor y su pantalla de tierra y entre conductores en un mismo ducto, siguiendo el “PROTOCOLO DE RECIBO DE CABLES DE POTENCIA INSTALADOS O EN MANTENIMIENTO EN LA GRB”.

Realizar pruebas de Hi-Pot al cable de media tensión, según lo establecido en el “PROCEDIMIENTO PARA RECIBO DE CABLES DE POTENCIA INSTALADOS O EN MANTENIMIENTO EN LA GRB” y siguiendo el “PROTOCOLO DE RECIBO DE CABLES DE POTENCIA INSTALADOS O EN MANTENIMIENTO EN LA GRB”.

Esta prueba se debe realizar en horas del día y nunca después de las 5:00 PM debido al aumento de la humedad relativa en el ambiente, además si el área donde se encuentra algún extremo del cable hay presencia de rocío, humedad o niebla deberá asegurarse que el área circundante al cable se cubra con algún plástico, esto con el fin evitar que las lecturas resulten distorsionadas y no sean confiables.

Todo equipo de medida utilizado en alguna de las actividades mencionadas deberá contar con certificado de calibración con fecha de expedición no superior a un año.

8.6 ASPECTOS DE SEGURIDAD

Se deben considerar los aspectos de seguridad para la ejecución de trabajos indicados en los siguientes documentos aplicables:

GRB-ELEC-MA-001. Manual de seguridad eléctrica de la GRB.

VRM-M-001. Manual del Sistema de Permisos de Trabajo.

PSD-00-IN-005. Instructivo para evaluación y análisis de riesgos de trabajo.

GRB-00-M-008. Manual de aislamiento seguro de planta y equipos.

En caso de requerirse realizar trabajos en área confinada, siempre diligenciar los permisos respectivos, que incluya el de permiso para áreas confinadas y si aplica el de trabajo en altura. Utilizar ventilación en las cajas de inspección donde se considere necesario.

8.7 LISTA DE ENTREGABLES.

8.7.1 Procedimiento de Trabajo

El ejecutor, con base en el alcance de los trabajos deberá elaborar su procedimiento de trabajo aplicado al sitio o equipo específico, para aprobación del ingeniero de confiabilidad del área antes del inicio de las labores.

8.7.2 Ruta de Cableado

El ejecutor, deberá entregar antes de iniciar la instalación del nuevo cable la planimetría con la ruta que sigue el circuito, indicando las distancias, cajas de inspección, ductos y características del cable.

8.7.3 Informe Final de Mantenimiento

El ejecutor deberá entregar después del mantenimiento de cada circuito un informe final donde se incluyan los siguientes documentos:

Características nominales del circuito intervenido

Ruta de cada circuito intervenido (incluye datos de las cajas de inspección intervenidos)

Protocolos de pruebas GRB-ELEC-FT-009 debidamente diligenciados (ver anexo)

Registro fotográfico del estado final de cada caja de inspección o punto de inspección de la acometida.

Recomendaciones para puesta en servicio del equipo y/o recomendaciones de mejora.

8.7.4 Criterios de Aceptación de Cables Instalados

Teniendo en cuenta, que se requiere una experticia considerable para interpretar correctamente los resultados de las pruebas D.C., es el ingeniero responsable de cada área el encargado de definir si los resultados obtenidos durante las pruebas son o no satisfactorios y sí el cable se encuentra listo para ser energizado.

Uno de los factores más importantes que debe tenerse en cuenta en el momento de analizar los resultados es la forma de las curvas de corriente de fuga durante la prueba. En general, la corriente de fuga arrancará en un valor relativamente alto, el cual caerá rápidamente, hasta estabilizarse en un valor bajo. El hecho de que la corriente se mantenga constante es más importante que la magnitud real de esta corriente de fuga. Si la corriente no disminuye, o si después de disminuir, comienza a elevarse nuevamente, es una fuerte indicación de un problema evidente en el circuito. Es por esto que se dice que las pruebas de aislamiento deben considerarse relativamente y no asentarse en un valor absoluto.

Los valores de aceptación para las pruebas realizadas a cables dependiendo del nivel de tensión son los descritos a continuación:

Para la prueba de HI-POT la variable a monitorear será la Corriente de fuga y se aceptará el cable dependiendo de la tendencia de esta variable en el tiempo, este resultado debe ser avalado por el ingeniero de soporte de área y el interventor.

Resistencia de aislamiento mínima = $\frac{10 \times \text{kV}}{\text{km}} \text{ M}\Omega$ (distancia mínima 0.1 km).

Estos valores deben tenerse en cuenta para la entrega de los trabajos por parte del ejecutor los cuales no serán recibidos por Ecopetrol S.A. si no están dentro de los parámetros establecidos.

9 REQUISITOS A TENER EN CUENTA DURANTE LA INSTALACIÓN DEL CONDUCTOR SUBTERRÁNEO

De acuerdo con el diámetro, peso del conductor y longitud de la canalización se establece el atado directo de los conductores al elemento de tracción utilizando la capa interna y externa del conductor para su amarre.

Para halar el cable en trayectos medios se toma una lona gruesa y con esta se forra el cable y sobre este se trenza la manila de nylon para halar con los aparejos o con cabestrante en los casos que se requiera.

9.1 TENSIÓN EN EL CONDUCTOR

Cuando se hala directamente de los conductores metálicos de fase, la tensión máxima de halado se obtiene usando un Factor de Seguridad de 2.4 y la máxima resistencia a la tracción permitidas por las normas.

Carga de Rotura ASTM B262

Cobre blando (recocido) 2400 PSI máx.

Sin embargo la tensión máxima no excederá a:

5000 lb para un solo conductor ó

6000 lb para varios conductores

Esta será la tensión máxima permitida para el halado por acople directo de los conductores al elemento de tracción.

9.2 CARGA DE PARED LATERAL

La carga de pared lateral es la fuerza radial ejercida por los elementos del ducto o los aparejos de montaje sobre el cable al halarlo por las curvas de instalación. Al sobrepasarle la máxima permisible, el cable puede sufrir daños por aplastamiento.

Se estima que el radio mínimo de las curvas debería ser de 1.80 m para poder entonces maximizar la distancia horizontal sin exceder el límite de carga de pared lateral de 500 lb/ft (745 kg/m).

9.3 ATASCAMIENTO.

El atascamiento es el acuñamiento de los cables en un ducto al disponerse tres cables de igual diámetro en el mismo plano del ducto, por ejemplo al halar en curvas o cuando el cable se entorcha.

Para evaluar la posibilidad de atascamiento se puede calcular la relación entre el diámetro interno del ducto (D). Usaremos un factor de 1.05D para considerar el ovalamiento del ducto en las curvas y el diámetro externo de un solo conductor (d).

Si $1.05 D/d > 3$ No hay posibilidad de atascamiento

Si $1.05 D/d = 2.8$ y 3 Posiblemente hay atascamiento

En nuestro caso:

Ductos con 4" de F interior = 101.6 mm

Cable con 28.4 mm F exterior

$$1.05 \frac{(101.6)}{28.4} = 3.8$$

⇒

No hay posibilidad de atascamiento

10 ASEO EN LAS CAJAS DE INSPECCIÓN Y LIMPIEZA DE LOS DUCTOS.

Antes de iniciar los trabajos de instalación, se debe realizar una inspección de todas las cajas de inspección y ductos del tramo de canalización existente, verificando su estado general especialmente en cuanto hace relación con la presencia de agua, gases, combustibles y elementos dañinos durante la ejecución de los trabajos. Se debe utilizar motobomba para extraer el agua existente en las cajas de inspección, también se debe retirar residuos de construcción, encontrados en las cajas de inspección.

Para verificar la existencia de irregularidades en el interior de los ductos tales como residuos de construcción (pedazos de concreto), piedras u otros objetos que impidan el paso normal del cable a través del ducto; se debe pasar un mandril a través del ducto para hacer esta verificación en el ducto, como se muestra en la Figura 6. Para pasar la cuerda que sujetará el mandril; primero se pasa a través del ducto entre las cajas de inspección con los tubos de P.V.C. (trozos) con rosca en sus extremos permitiendo anexas varios de ellos hasta llegar a la otra caja de inspección.

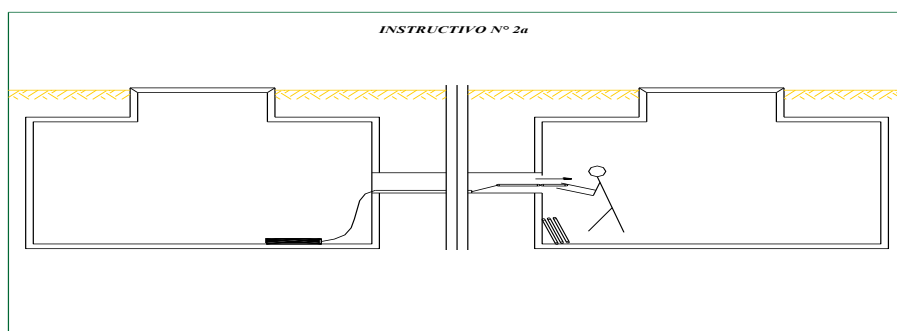


Figura 6. Verificación Ductos

El mandril es un cilindro de madera que podrá tener anexado una bola de trapo para ayudar a la limpieza del ducto y aplicar el lubricante al ducto antes de la instalación. Se aprovecha la misma cuerda que pasa el mandril para pasar la cuerda que servirá de halado del cable como se muestra en la Figura 7.

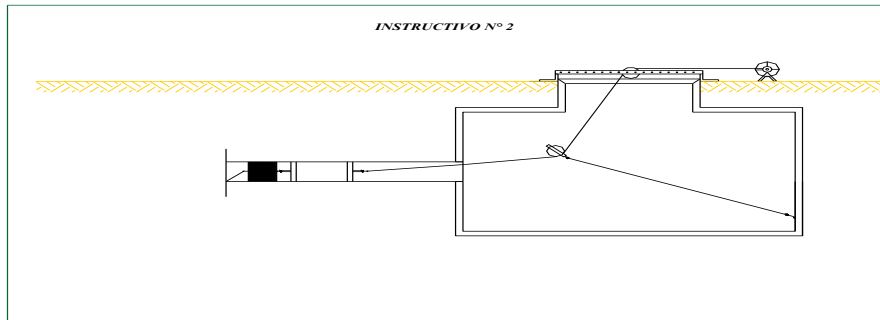


Figura 7. Limpieza con Mandril

10.1 TRASLADO DE CARRETES

Se debe tomar el carrete y a éste se le instala el eje y en sus extremos se coloca un estrobo para que la grúa (la debe suministrar el ejecutor) pueda izarlo (sin apretar las paredes del carrete) y trasladarlo en un camión de plataforma a las caja de inspección establecidos (o sitios asignados para esto) para el inicio de instalación; se deben dejar montados en los porta carretes o “burros” respectivos dispuestos para la instalación del cable, como se muestra en la figura 8.

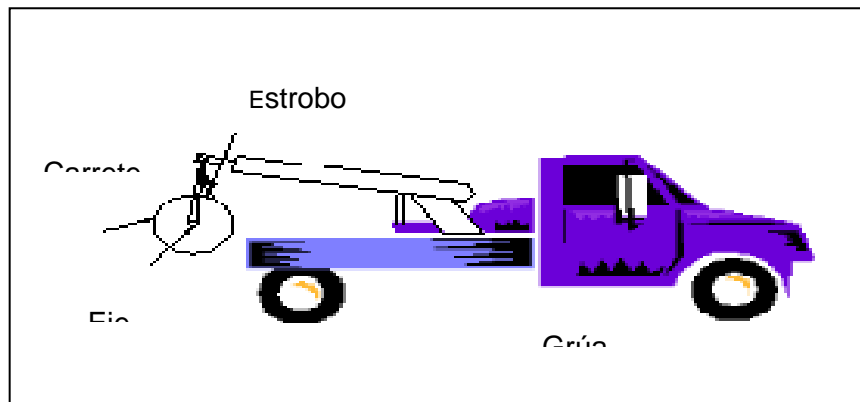


Figura 8. Traslado de los Carretes

10.2 INSTALACIÓN DEL CABLE MT EN EL DUCTO.

Colocados los carretes sobre los porta carretes ubicados en la caja de inspección de inicio de instalación; se debe disponer de personal para mover los tres carretes para sacar cable de ellos. También antes de la entrada a la caja de inspección debe haber personal ayudando a sacar cable de los carretes y organizándolos a la entrada del mismo, como se muestra en la figura 9.

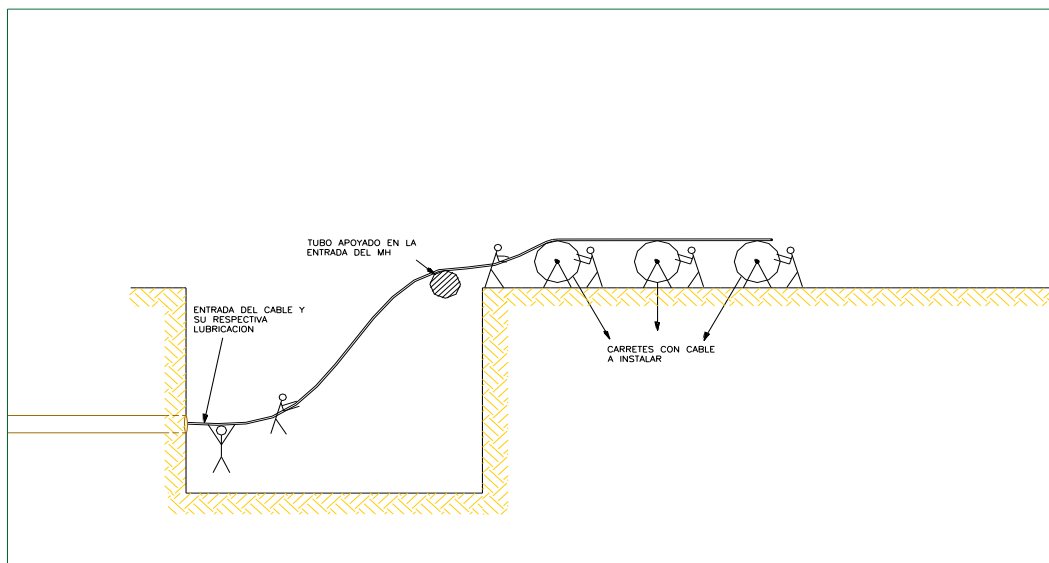


Figura 9. Caja de inspección de Entrada del Cable

En el fondo de la caja de inspección deberá estar una persona lubricando los conductores manualmente y guiándolos a la entrada del ducto; se debe instalar una boquilla en caucho suficientemente resistente para evitar daños por roce del cable a la entrada del ducto. El acople de los conductores a la manila de arrastre se debe hacer con el cobre de los mismos conductores.

En la caja de inspección de salida debe existir una estructura con dos (2) poleas, como se indica en la figura 10, la primera de ellas recibiendo la manila y los conductores que salen del ducto para cambiar de dirección hacia la salida de la caja de inspección, continuando hasta la parte superior de la caja de inspección con la segunda polea, la cual cambia nuevamente la dirección de los conductores hacia la parte de halado con el aparejo para continuar hasta donde se hará el

tendido del cable sobre las duelas (tablas de los carretes) haciendo “ochos” con el conductor que puede ser uno por cada fase o hacer un ocho con las tres (3) líneas simultáneamente y apilar allí todo el cable que se instalará en las próximas cajas de inspección.

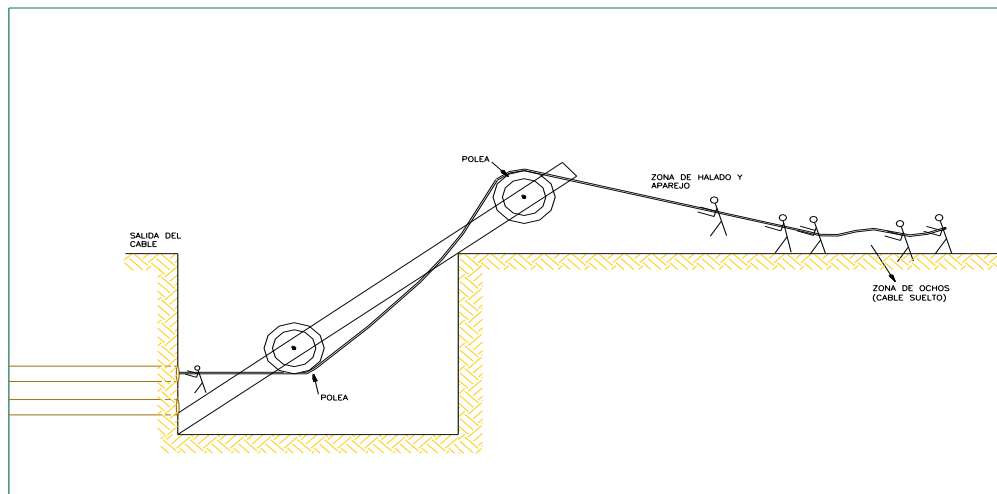


Figura 10. Caja de inspección de Salida del Cable

Instalado el cable de la caja de inspección uno a la caja de inspección dos se acumula cable en forma de “ocho” sobre soportes en madera en la caja de inspección dos, en longitud necesaria para instalar de la caja de inspección dos a la tres. Se realiza la instalación entre la caja de inspección dos y tres acumulando en figura de ocho en el número tres para continuar instalando de la caja tres a la caja de inspección siguiente y así sucesivamente, como se observa en la figura 11.

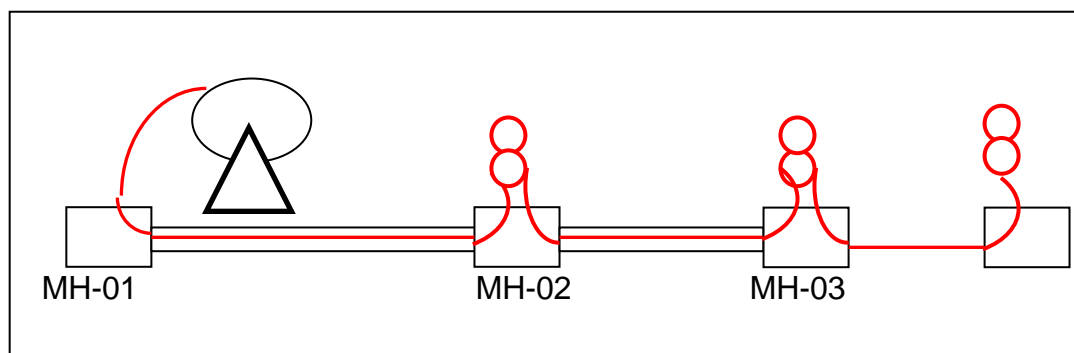


Figura 11. Instalación de Cables entre Cajas de Inspección

11 ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS

Los enlaces eléctricos AL004/U2400 y AL004/U2400A son activos de la Coordinación de Control y Distribución (CCD) de la GRB, es por esto que el coordinador de la CCD debe liderar la ejecución del proyecto.

Las Gerencias General, de Producción y Técnica, como líderes de la refinería están involucrados con cualquier proyecto que se desarrolle dentro de la GRB, en este caso son los encargados de aprobar tanto el presupuesto como la continuidad del proyecto.

La coordinación de confiabilidad de equipo eléctrico es la encargada de definir los estándares con los que se rigen los activos del sistema eléctrico de la GRB, y en este caso el ingeniero de confiabilidad de equipo eléctrico que da soporte a la CCD, será el encargado de elaborar las especificaciones técnicas para la ejecución del proyecto.

Las áreas de servicios industriales de la refinería, se verán afectadas indirectamente por la ejecución del proyecto ya que al realizar el cambio de los enlaces se aumentará la confiabilidad del servicio de energía eléctrica de la GRB.

La coordinación técnica de la GRB, es la encargada de validar que el proyecto haya sido revisado y aprobado por el ingeniero de confiabilidad, y su respectivo coordinador.

La división de abastecimiento, es la encargada de realizar y aprobar las compras y contrataciones de los proyectos de la GRB, y con la colaboración de los asesores de la vicepresidencia jurídica se encargan de emitir los pliegos y bases de los proceso de contratación.

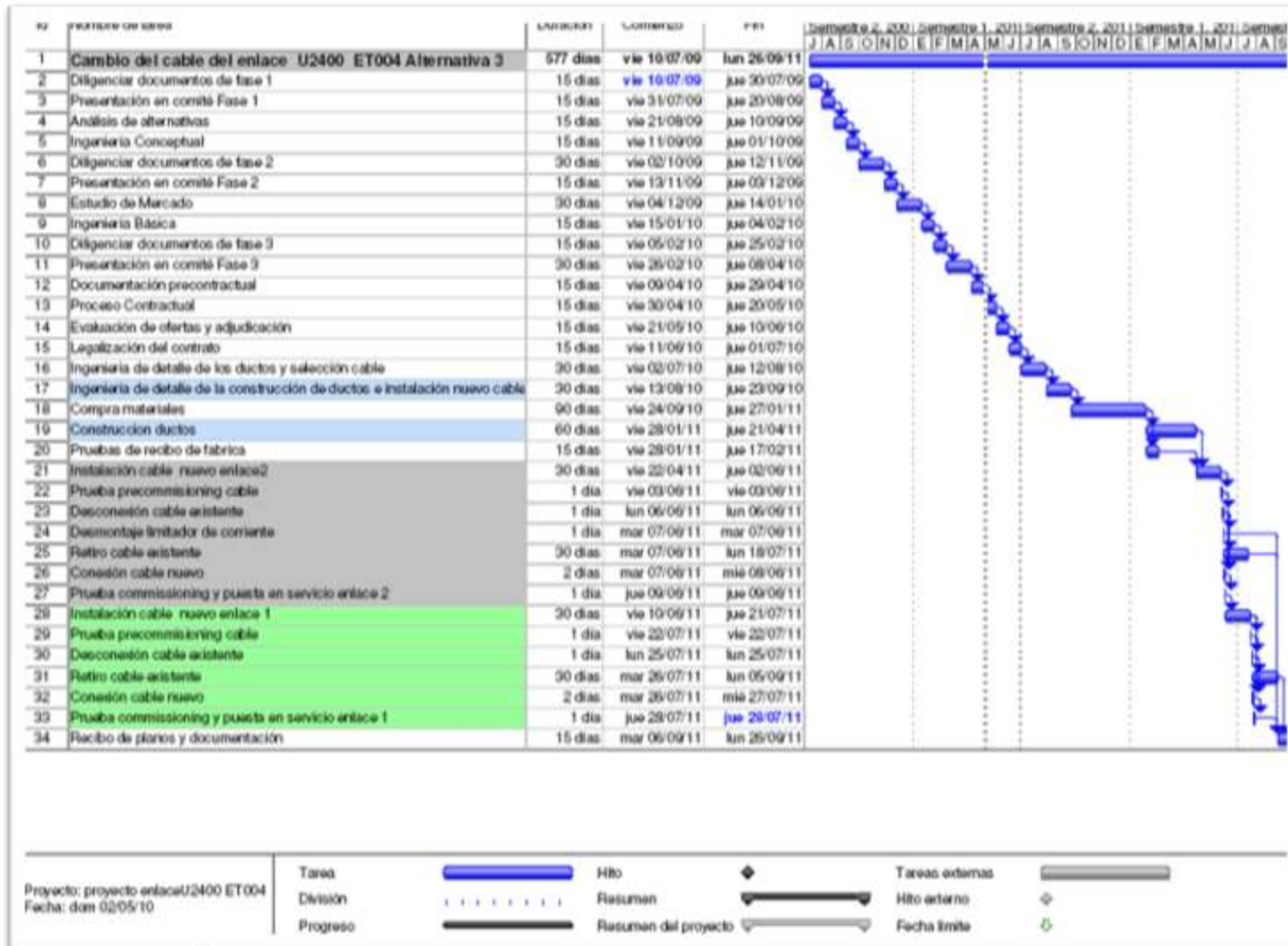
Teniendo en cuenta la cantidad de cable que se requiere para el reemplazo de los enlaces, y el volumen que ocupan, es necesario informar a la bodega de proyectos para que disponga del espacio y las condiciones necesarias para almacenar los carretes de cable.

INVOLUCRADO (STAKEHOLDERS)	DIRECTO	INDIRECTO
Nombre o identificación de la persona, área o grupo	Llenar con una X	
Líder Coordinador Control y Distribución de potencia	X	
Gerente General		X
Gerente de Producción		X
Gerente Técnico		X
Coordinación Confiabilidad Equipo Eléctrico	X	
Ingeniero Confiabilidad Equipo Eléctrico	X	
Coordinador Servicio Industrial de la Refinería		X
Coordinador Técnico GRB		X
Coordinador de Compras División de Abastecimiento de Bca/bja		X
Asesor Jurídico GRB		X
Bodega Proyectos GRB		X

Directo: Es parte del proceso proyecto
Indirecto: No es parte del proceso proyecto, pero tiene el poder de impactar.

Tabla 5. Lista de Involucrados

12 CRONOGRAMA



Las actividades relacionadas con las fases de aprobación del proyecto se efectúan de manera secuencial debido a que son desarrolladas por diferentes divisiones de la compañía, las cuales inician sus tareas una vez el proyecto haya sido liberado por la división que la precede.

En el caso de la ejecución del proyecto, el reemplazo de los enlaces se debe desarrollar con el menor impacto sobre el sistema eléctrico de la GRB, y en este caso es necesario contar con ambos enlaces durante el mayor tiempo posible, para ello se desarrolla el tendido de un enlace a la vez, y es solo hasta que el enlace se encuentra completamente instalado y verificado, que se programa la desenergización del enlace existente para conectar el nuevo enlace, logrando con esto disminuir los periodos de desenergización.

El tiempo estimado para las fases de aprobación y ejecución del proyecto es de ochocientos ocho (808) días calendario, y quinientos setenta y siete (577) días hábiles, que iniciaron el pasado 10 de julio de 2009, y se estima finalicen el próximo 26 de septiembre de 2011.

13 CONCLUSIONES

El alto grado de probabilidad de ocurrencia de una falla por el estado en el que se encuentra el aislamiento de los cables, sumado a los costos en que incurriría la empresa en caso de presentarse una falla, hacen de la alternativa número uno la menos viable de las alternativas propuestas.

Las alternativas dos y tres incrementan la confiabilidad en el suministro energía eléctrica a las plantas de proceso y equipos eléctricos alimentados desde las subestaciones de la U2400 y la ET-004, puesto que mejoran las condiciones actuales del sistema.

Implementando la solución propuesta por la alternativa tres se disminuyen el riesgo de ocurrencia de fallas eléctricas, incendios y/o explosiones generados por el deterioro del aislamiento del enlace de media tensión entre las subestaciones U2400 y la ET-004 (AL004/U2400) y los impactos colaterales que estos pueden causar en las personas, el proceso y los equipos en la GRB.

Una vez realizadas las evaluaciones técnica y financiera de las tres alternativas planteadas para el reemplazo del enlace eléctrico entre la Central de Generación del Norte U-2400 y la Subestación Eléctrica ET-004 de la Refinería de Barrancabermeja se encontró que la alternativa número tres además de ser la mejor alternativa técnica y financiera, garantiza el cumplimiento de las normas y reglamentos aplicables, incluidos los estándares de ingeniería de la GRB, respecto a la vida útil de los cables de media tensión.

14 RECOMENDACIONES

Una vez definido que la alternativa tres, es la alternativa a implementar, se recomienda tener especial cuidado en la instalación de los cables, puesto que un daño en uno de los carretes incrementaría considerablemente el costo del proyecto al tener que reemplazarlo. Para esto se deben seguir los procedimientos y recomendaciones indicados en los capítulos 8, 9 y 10 de este documento.

El equipo que realice la instalación de los cables deberá tener en cuenta las recomendaciones que aparecen en las normas IEEE. National Electric Safety Code NESC C2 2007, y National Fire Protection Association. NFPA 70E 2007 Standard for Electrical Safety in the Workplace, en especial lo referente a tendido e instalación de cables de media tensión, para evitar accidentes durante el montaje que puedan afectar a las personas y/o demás equipos de la GRB.

Adicionalmente el personal que realice las labores de ingeniería para especificar las características de los cables, debe tener especial cuidado en la definición de la capacidad amperimétrica de los cables, así como las longitudes de los tramos y los materiales a utilizar para empalmarlos. Para esto se recomienda basarse en las tablas y recomendaciones que aparecen en la norma NTC 2050.

15 BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTINELLI Marciano, CINQUEMANI F., KUCHTA P.L.. State of the Art Medium Voltage Longitudinal Water Blocked Cables. Pirelli Cable Corp. Lexington, SC. Current Version Published: 2002-08-06.
- CENTELSA. Boletín Técnico de Cables y Tecnología. Abril de 2008.
- IEEE. National Electric Safety Code NESC C2 2007.
- National Fire Protection Association. NFPA 70E 2007 Standard for Electrical Safety in the Workplace. Quincy, Massachusetts 02169-7471. 2009
- MASHIKIAN Matthew, SZATKOWSKI Andrzej, Medium Voltage Cable Defects Revealed by Off Line Partial Discharge Testing at Power Frequency. En IEEE Electrical Insulation Magazine. Vol.; 22. No 4 (Jul-Aug. 2006) –. P. 24-32
- RAMACHANDRAN S., VIPUL Babu, TAN C. C. Dow Wire & Cable. Enhanced Reliability & Life-Cycle Costs Of Underground Distribution Networks. India Electricity 2006 Conference. May 10-12, New Delhi, India

16 CIBERGRAFÍA

- ECOPETROL S.A. “Perspectiva Histórica”. {En línea}. {05 Octubre de 2009}
disponible en
(<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=32&conID=36271>)