

**ANALISIS DE VULNERABILIDAD OPERACIONAL BASADO EN RIESGOS DE
LA ESTACIÓN DE RECIBO DE GAS DE BARRANCABERMEJA**

GUSTAVO CORREA DUQUE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE GAS
BUCARAMANGA**

2004

**ANALISIS DE VULNERABILIDAD OPERACIONAL BASADO EN RIESGOS DE
LA ESTACIÓN DE RECIBO DE GAS DE BARRANCABERMEJA**

GUSTAVO CORREA DUQUE

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE GAS**

Directores

HERNANDO GALVIS BARRERA

Ingeniero Químico

JOHN TORRES RAMIREZ

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE GAS
BUCARAMANGA
2004**

DEDICATORIA

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Hernando Galvis Barrera, Ingeniero Químico y Director de la Investigación por su gran colaboración a este Trabajo de Grado.

John Jairo Torres Ramírez, Ingeniero Mecánico y Director de la Investigación, por su colaboración desinteresada y aporte a este Trabajo de Grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE RECIBO DE GAS DE BARRANCABERMEJA	3
1.1 GENERALIDADES	3
1.2 ESTACIÓN DE RECIBO Y ENTREGA DE GAS BARRANCABERMEJA	4
1.2.1 Proceso de Filtración	5
1.2.2 Proceso de Regulación	6
1.2.3 Proceso de Separación	8
1.2.4 Proceso de Medición	9
2. GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA	11
2.1 GENERALIDADES	11
2.2 OPERACIÓN	11

2.3 MANTENIMIENTO	13
2.3.1 Mantenimiento Predictivo	13
2.3.2 Mantenimiento Preventivo	13
2.4 SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	15
3. GESTIÓN AMBIENTAL	16
3.1 GENERALIDADES	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3.3 ALCANCE	18
4. SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	19
4.1 GENERALIDADES	19
4.2 RESPONSABILIDADES	20
4.2.1 De la Alta Dirección	20
4.2.2 De la Coordinación de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial	21
4.2.3 De los Trabajadores	23
4.3 PROCEDIMIENTOS Y NORMAS GENERALES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL	24
4.3.1 Objetivos Generales	24
4.3.2 Objetivos Específicos	24

4.4 ESTRATEGIAS DE SALUD OCUPACIONAL	25
4.4.1 Salud Ocupacional dirigida al grupo de Coordinación	26
4.4.2 Información y Comunicación al personal de Coordinación del Proyecto	26
4.5 SUBPROGRAMA DE MEDICINA PREVENTIVA Y DEL TRABAJO	27
4.5.1 Objetivo General	27
4.5.2 Objetivos Específicos	27
4.5.3 Actividades	28
4.6 SUBPROGRAMA DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	31
4.6.1 Objetivo General	31
4.6.2 Objetivos Específicos	31
4.6.3 Actividades	32
5. GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MINIMIZACIÓN DEL RIESGO E INTEGRIDAD EN UNA ORGANIZACIÓN	35
5.1 DEFINICIÓN DE RIESGO	35
5.2 ALCANCE, APLICACIÓN Y DEFINICIONES	37
5.2.1 Alcance	37
5.2.2 Aplicación	37
5.3 REQUERIMIENTOS DE UN MODELO DE MINIMIZACIÓN DEL RIESGO	38

5.3.1	Política de minimización del riesgo	39
5.3.2	Planeación y Recursos	39
5.3.3	Responsabilidad y Autoridad	39
5.3.4	Recursos	40
5.3.5	Implementación del Modelo	40
5.3.6	Revisión del Modelo de Minimización del riesgo	41
5.4	EL PROCESO DE MINIMIZACIÓN DEL RIESGO	42
5.4.1	Principales Elementos	42
5.4.2	Documentación	46
6.	MODELO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO E INTEGRIDAD EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA	48
6.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	48
6.2	METODOLOGÍA	50
6.3	INDICADORES DE RIESGO EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA	51
6.3.1	Índice de Prevención de daños por terceros (IPT)	52
6.3.2	Índice de Control de Corrosión (ICC)	54
6.3.3	Índice de Diseño y Materiales (IDM)	57
6.3.4	Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO)	60
6.4	FACTORES DE IMPACTO PARA LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA	63

BARRANCABERMEJA

6.4.1 Impacto sobre la Población (ISP)	63
6.4.2 Impacto sobre el Ambiente (ISA)	65
6.4.3 Impacto sobre el Negocio (ISN)	66
6.5 RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	68
7. SIMULACIÓN DE UN MODELO DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD OPERACIONAL DEL RIESGO E INTEGRIDAD EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA	70
7.1 OBJETIVO Y ALCANCE DE LA SIMULACIÓN	70
7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SIMULACIÓN	71
7.3 INFORMACIÓN RECOLECTADA PARA LA SIMULACIÓN EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA	74
7.3.1 Índice de daños a terceros (IDT)	74
7.3.2 Índice de Control de la Corrosión (ICC)	75
7.3.3 Índice de Diseño de Materiales (IDM)	77
7.3.4 Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO)	77
7.3.5 Factores de Impactos	78
7.4 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO	79
7.4.1 Índice de daños a terceros (IDT)	79
7.4.2 Índice de Control de la Corrosión (ICC)	82

7.4.3 Índice de Diseño de Materiales (IDM)	88
7.4.4 Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO)	91
7.4.5 Factores de Impactos	94
7.4.6 Cuadro resumen de los resultados	96
8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y RECOMENDACIONES	98
8.1 GENERALIDADES	98
8.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	99
8.3 RECOMENDACIONES	101
9. CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXO	107

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Actividades de Operación de la Estación Barrancabermeja	12
Cuadro 2. Mantenimiento Predictivo de la Estación Barrancabermeja	13
Cuadro 3. Mantenimiento Preventivo de la Estación Barrancabermeja	14
Cuadro 4. Protección Catódica de la Estación Barrancabermeja	15
Cuadro 5. Actividades de seguimiento ambiental de la Estación Barrancabermeja	17
Cuadro 6. Atributos y Prevenciones para el cálculo del IPT	52
Cuadro 7. Atributos y Prevenciones para el cálculo del ICC	55
Cuadro 8. Atributos y Prevenciones para el cálculo del IDM	58
Cuadro 9. Atributos y Prevenciones para el cálculo del ICO	61
Cuadro 10. Valoración del Impacto sobre la población	64

Cuadro 11.	Hoja de cálculo de costos por interrupción del servicio – costos directos	67
Cuadro 12.	Impactos que intervienen en la valoración del riesgo	68
Cuadro 13.	Índice de Daños por Terceros	82
Cuadro 14.	Índice de Control de Corrosión	87
Cuadro 15.	Índice de Diseño y Materiales	90
Cuadro 16.	Índice de Control de Operaciones Incorrectas	93
Cuadro 17.	Factores de Impacto	95
Cuadro 18.	Resumen indicadores de riesgo e integridad y factores de impacto	96

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Panorámica de la Estación Barrancabermeja	4
Fotografía 2. Sistema de filtración de la Estación Barrancabermeja	5
Fotografía 3. Sistema de regulación de la Estación Barrancabermeja	7
Fotografía 4. Sistema de separación de la Estación Barrancabermeja	9
Fotografía 5. Sistema de medición de la Estación Barrancabermeja	10

LISTA DE FIGURAS

		pág.
Figura 1.	Requerimientos de un modelo de minimización del riesgo	38
Figura 2.	Proceso de minimización del riesgo	44
Figura 3.	Proceso de tratamiento del riesgo	45
Figura 4.	Modelo básico para el aseguramiento del riesgo en la Estación Barrancabermeja	50
Figura 5.	Clasificación del riesgo VS Factor de Impacto	69
Figura 6.	Diagrama de flujo del proceso de simulación	72
Figura 7.	Resultado de la Simulación	97

GLOSARIO

Análisis de árbol de eventos: es una técnica que describe los posibles rangos y secuencias de los resultados que pueden surgir por la ocurrencia de un evento.

Análisis de árbol de fallas: es un método de ingeniería para representar las combinaciones lógicas de varios estados sistémicos y posibles causas que puedan contribuir a un evento específico.

Análisis del Riesgo: es el uso sistemático de la información disponible para determinar cuan a menudo eventos específicos pueden ocurrir, y la magnitud de sus consecuencias.

Atributos: (se simboliza con **A**) se definen como aquellas características que son difíciles o imposibles de modificar, es decir, las que el operador ejerce poco o ningún control.

Consecuencia: es el resultado de un evento expresado cualitativa o cuantitativamente, siendo una pérdida, daño, desventaja o ganancia. Puede haber un rango de posibles resultados asociados con un evento.

Control del Riesgo: es la parte del análisis de vulnerabilidad operacional del riesgo que envuelve la implementación de políticas, estándares, procedimientos y cambios físicos para eliminar o minimizar situaciones adversas.

Costo: de actividades, tanto directos como indirectos, envuelven cualquier impacto negativo, incluyendo dinero, tiempo, trabajo, buen nombre, política y pérdidas intangibles.

Evaluación del Riesgo: Es el proceso usado para determinar las prioridades en el análisis de vulnerabilidad operacional del riesgo, comparando el nivel de este riesgo contra estándares determinados.

Evento: Es un incidente o situación, el cual ocurre en un lugar particular y durante un determinado intervalo de tiempo.

Frecuencia: Es una medida de la rata de ocurrencia de un evento expresado como el número de ocurrencias de ese evento en un tiempo determinado.

Gasoducto: Son tramos de tubería soldada a través de las cuales se transporta gas natural, incluyendo trampas de raspa tubos, válvulas de seccionamiento, componentes y accesorios.

Gerencia del Riesgo: Es la aplicación sistemática de políticas administrativas, procedimientos, programas y prácticas a las tareas de analizar, evaluar, controlar y reducir el riesgo.

Identificación del Riesgo: Es el proceso de determinar qué puede pasar, por qué y cómo.

Ingeniería del Riesgo: Es la aplicación de principios de ingeniería y métodos de evaluación del riesgo.

Máxima Presión de Operación Permitida (MAPO): Es la máxima presión a la cual la tubería de la Estación o la sección del gasoducto se le permite ser operada.

Monitorear: chequear, observar críticamente, documentar el progreso de una actividad, acción o sistema para identificar cambios.

Organización: una compañía, firma, empresa o asociación, u otra entidad legal, pública o privada, que tiene funciones administrativas propias.

Peligro: Una situación física con el potencial de causar daños a humanos, daños a las propiedades, daños al medio ambiente o una combinación de éstos.

Pérdida: cualquier consecuencia negativa, tanto financiera como pérdidas en otros ramos.

Presión Interna de Diseño: Es la presión interna máxima a la cual la tubería o sección del gasoducto se diseña.

Previsiones: (se simboliza con **P**) son acciones que el operador del gasoducto aplica de manera razonable para controlar o disminuir el riesgo.

Probabilidad: es la posibilidad de ocurrencia de un evento específico y sus consecuencias. La probabilidad es expresada como un número entre 0 y 1.

Reducción del Riesgo: Es la aplicación selectiva de técnicas apropiadas y principios de Gerenciamiento para reducir la probabilidad de ocurrencia de un evento, sus consecuencias, o ambos.

Riesgo: La combinación de frecuencia o probabilidad y las consecuencias de un acontecimiento peligroso específico en un período asociado.

Riesgo residual: es el nivel remanente de riesgo, después que las medidas de mitigación de ese riesgo han sido tomadas.

RESUMEN

TITULO: “ANALISIS DE VULNERABILIDAD OPERACIONAL BASADO EN RIESGOS DE LA ESTACION DE RECIBO DE GAS DE BARRANCABERMEJA.”*

AUTOR: CORREA DUQUE, Gustavo**

PALABRAS CLAVES: Riesgo. Integridad. Mantenimiento Preventivo, Predictivo y Correctivo. Confiabilidad. Operación.

DESCRIPCIÓN:

En la actualidad el mantenimiento de una Estación de recibo de Gas se realiza con base en modelos que aplican criterios de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, de acuerdo con las normas técnicas existentes en la Industria de gas, de manera que se garantice la disponibilidad y confiabilidad de la instalación. Sin embargo, no existe una metodología que permita realizar un análisis de vulnerabilidad operacional de la Estación donde se identifiquen los puntos críticos de cada proceso y sus riesgos operativos, para que, una vez identificados se establezcan los planes de mitigación.

Este proyecto presenta una alternativa para la Gerencia de cómo establecer los lineamientos para implementar la minimización del riesgo, identificando y aplicando estrategias para administrar de manera efectiva ese riesgo y aumentar los niveles de seguridad en la Estación, para lo cual se deberán identificar claramente los factores de riesgo que se encuentran presentes en la Operación y Mantenimiento del sistema.

Lo anterior, permitió el desarrollo de este documento, donde se describen los diferentes sistemas que conforman la estación de recibo y entrega de gas de Barrancabermeja, las guías para la implementación de un modelo para la evaluación del riesgo en una organización, las bases conceptuales del modelo, su metodología, la aplicación del modelo mediante una simulación, análisis de los resultados de la simulación y las recomendaciones y conclusiones del Proyecto.

Este modelo sirve como herramienta operacional en la medida que identifica las fortalezas y debilidades del sistema, permitiendo la toma acertada de decisiones acertadas la hora de asignar los recursos; introduciendo una disciplina para evaluar todas las actividades del sistema de recibo y entrega de gas haciendo el proceso mas confiable y previniendo las perdidas e interrupciones del servicio, convirtiéndose en parte integral de un proceso de optimización de costos en la operación y mantenimiento.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Ingeniería de Gas. GALVIS BARRERA, Hernando.

ABSTRACT

TITLE: “ANALYSIS OF OPERATIONAL VULNERABILITY BASED IN THE RISKS OF THE GAS RECEPTION STATION AT BARRANCABERMEJA”^{*}

AUTHOR: CORREA DUQUE, Gustavo^{}**

KEYWORDS: Risk. Integrity. Preventive, Predictive, and Corrective maintenance. Reliability. Operation.

DESCRIPTION:

At present, maintenance of Gas Reception Stations is performed based on models that apply criteria involving preventive, predictive, and corrective maintenance according to the technical regulations prevailing in the gas industry to ensure availability and reliability of the corresponding installation. Nevertheless, there is not any methodology for the conduction of an operational vulnerability study of these Stations that involves the identification of critical points of each process and their operational risks in order to establish mitigation plans.

This project introduces alternatives to the Management Office regarding the way to establish guidelines to implement risk minimization by identifying and applying strategies to manage risk in an effective manner and increase the levels of safety in the Station which means that risk factors within the System Operation and Maintenance must be clearly identified.

The strategy mentioned above allowed the development of this document that contains the various systems conforming the Reception and Gas Delivery Station at Barrancabermeja, guidelines for the implementation of a risk evaluation method within the organization, the conceptual foundations of the model, its methodology, the application of the model using simulation, analysis of simulation results, recommendations and conclusions of the Project.

This model can be utilized as an operational tool since it identifies the system's strengths and weaknesses, allowing an accurate decision – making process regarding the assignation of resources. The model also introduces a discipline to evaluate all the activities pertaining the gas reception and delivery system thus making the process more reliable and preventing losses and service interruptions. Thus, the system becomes an integral part of a cost optimization process in the fields of operation and maintenance.

^{*} Graduation Work.

^{**} Faculty of Physico-chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Specialization Degree in Gas Engineering. GALVIS BARRERA, Hernando.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mantenimiento de una Estación de recibo de Gas se realiza con base en modelos que aplican criterios de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, de acuerdo con las normas técnicas existentes en la Industria de gas, de tal forma que se garantice la disponibilidad y confiabilidad de la instalación. Sin embargo, existen modelos de mantenimiento diferentes que basan sus acciones en los niveles de riesgo e integridad del sistema, los cuales tienen por objeto la asignación de los recursos de la Compañía en los puntos críticos.

El objetivo fundamental que se persigue en este proyecto es establecer los lineamientos a seguir por la Gerencia para implementar la minimización del Riesgo, identificando y aplicando estrategias para administrar de manera efectiva ese riesgo y para aumentar los niveles de seguridad en la Estación, para lo cual se deberán identificar claramente los factores de riesgo que se encuentran presentes en la Operación y Mantenimiento del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior se ha desarrollado este documento, donde se describen los diferentes sistemas que conforman la estación de recibo y entrega de gas de Barrancabermeja, las guías para la implementación de un modelo para la evaluación del riesgo en una organización, las bases conceptuales del modelo, su metodología, la aplicación del modelo mediante una simulación, los análisis de los resultados de la simulación y sus recomendaciones y las conclusiones del Proyecto.

Con el desarrollo del modelo, se obtendrían grandes beneficios como: evaluación de la exposición al riesgo del público e identificación de las formas para manejar

efectivamente este riesgo; procesos de mejora continua en la calidad de la operación de la Estación, reducción de los costos asociados al transporte de gas debido al incremento en la confiabilidad de la Estación (disminución del riesgo); orientación efectiva en la inversión para prevenir pérdidas e interrupción del servicio, siendo parte integral de un proceso de optimización de costos en operación y mantenimiento.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACION DE RECIBO DE GAS DE BARRANCABERMEJA

1.1 GENERALIDADES

El Gasoducto Ballena - Barrancabermeja transporta el gas natural proveniente de los campos de producción de Chuchupa desde la Estación Ballena en la Guajira hasta la Estación Barrancabermeja en Santander, siendo esta, el punto final donde se recibe el gas.

El Gasoducto está construido en tubería de acero al carbón de 18 pulgadas de diámetro y especificación API 5L Grado X65, con una longitud aproximada de 580 kilómetros.

El Gasoducto Ballena-Barrancabermeja es propiedad de una empresa privada llamada CENTRAGAS S.C.A, cuyo objeto es llevar a cabo el contrato de construcción, operación, mantenimiento y transferencia (BOMT) a 15 años del Gasoducto. Este contrato está suscrito con ECOGAS, empresa estatal dedicada al transporte de gas natural.

Para el recibo y entrega del gas se cuenta con las estaciones de Ballena (Guajira) y Barrancabermeja (Santander), como puntos principales de entrada y salida del gasoducto.

En la estación de Barrancabermeja, se entrega gas a la refinería de ECOPETROL y al gasoducto CENTRORIENTE, encargado del transporte de gas al interior del país.

1.2 ESTACIÓN DE RECIBO Y ENTREGA DE GAS - BARRANCABERMEJA

La Estación de recibo y entrega de gas de Barrancabermeja, se encuentra ubicada en la ciudad de Barrancabermeja, departamento de Santander y es el punto final del Gasoducto Ballena Barrancabermeja, donde se entrega el gas a los clientes de la Empresa transportadora de gas del estado, ECOGAS, quien a su vez entrega el gas al principal consumidor que es la refinería de ECOPETROL y al gasoducto CENTRORIENTE encargado del transporte del gas hacia el interior del país.

La Estación Barrancabermeja esta compuesta por la trampa de recibo de raspa tubos en tubería de 18" x 22" de diámetro. Así mismo se realizan los procesos de: filtración, regulación, separación y medición de la cantidad de gas que se entrega a ECOPETROL y al gasoducto CENTRORIENTE. En la Fotografía 1 se observa una panorámica de la Estación Barrancabermeja.

Fotografía 1. Panorámica de la Estación Barrancabermeja.



1.2.1 Proceso de Filtración. El Sistema de Filtración de la Estación Barrancabermeja está compuesto por tres Filtros Separadores Horizontales marca Daniel con capacidad de diseño máxima de 75 mmscfd y mínima de 16 mmscfd cada uno. En la Fotografía 2 se observa el sistema de filtración de la Estación Barrancabermeja.

Fotografía 2. Sistema de filtración de la Estación Barrancabermeja



Cada filtro separador es de acero al carbón de 32" de diámetro y 144" de longitud. En la parte superior consta de boquilla de entrada de 12" de diámetro, tapa de apertura rápida de cierre roscado de 32" de diámetro, 23 elementos filtrantes de 4"

de diámetro y 38" de longitud en la primera etapa, un eliminador de niebla en la segunda etapa y boquilla de salida de 12 " de diámetro.

En la parte inferior consta de un colector de líquidos en primera y segunda etapa, producto de la filtración y de la separación.

El filtro separador esta diseñado para remover el 100% de sólidos entre 3 micrones o mayores y el 99% del sólido entre 0.5 y 3 micrones, el 100% de partículas de liquido (gotas) de tamaño de 8 micras o mayores y el 99% del liquido entre 0.5 y 8 micrones, por medio de elementos filtrantes de lona tipo coalescentes de operación continua y de reemplazo periódico cuando el diferencial de presión marca 10 psig en la primera etapa y partículas liquidas ya coalescidas en la segunda etapa por medio de un eliminador de niebla.

El objetivo del sistema de filtración es retener las partículas sólidas que viajan en la corriente de gas de forma que se entregue gas con unas condiciones de filtrado adecuadas que eviten daños en los equipos o máquinas que se encuentren en contacto con el gas más adelante.

1.2.2 Proceso de Regulación. El Sistema de Regulación de la Estación Barrancabermeja está compuesto por tres Válvulas Reguladoras Masoneilan así: dos son de 8" con capacidad para regular 75 mmscfd de gas a 350 psig cada una y la tercera de 6", tiene una capacidad para regular 90 mmscfd a una presión regulada de 350 psig y se utiliza como respaldo. En la Fotografía 3 se muestra el sistema de regulación de la Estación Barrancabermeja.

Fotografía 3. Sistema de regulación de la Estación Barrancabermeja.



Un sistema de válvula de control consiste de:

- Válvula de control
- Posicionador
- Controlador

Válvula de control es la parte del sistema que está montada en la tubería. Consiste en el cuerpo de la válvula de regulación que contiene en su interior el obturador cilíndrico (tapón) que se desliza en una caja con orificios adecuados a las características del caudal deseado en la válvula, los asientos y las bridas para conectarla a la tubería.

El **posicionador** es el instrumento que recibe una señal del controlador y da una señal correspondiente al actuador, poniendo la válvula en la posición correcta y da una retroalimentación al controlador.

El **controlador** es el instrumento que envía la señal a la válvula de control, en función de la señal recibida.

1.2.3 Proceso de Separación. El Sistema de Separación de la Estación Barrancabermeja está compuesto por dos Separadores Verticales Hanover con capacidad de 150 mmscfd de gas por cada separador. La Fotografía 4 nos muestra el sistema de separación de la Estación Barrancabermeja.

El objetivo del sistema de separación es retener los líquidos que se generan en el gas debido al proceso de regulación, de tal forma que el gas se entregue a unas condiciones adecuadas para su transporte.

Los fluidos entran a la vasija y golpean el baffle de la boquilla de entrada, esto origina una separación y el líquido removido cae al fondo del separador. De esta manera el gas se seca y sale del separador.

Fotografía 4. Sistema de separación de la Estación Barrancabermeja.



1.2.4 Proceso de Medición. El proceso de medición en la estación de Barrancabermeja se encarga de la cuantificación de los volúmenes de gas que se entregan a la empresa transportadora de gas del estado, ECOGAS.

Los sistemas de medición de la Estación Barrancabermeja están conformados por un transmisor de presión estática y diferencial, un computador de flujo y un tubo de medición de platina de orificio como se observa en la Fotografía 5.

Fotografía 5. Sistema de medición de la Estación Barrancabermeja.



En la actualidad son cuatro sistemas de medición que hay en la Estación, dos para medir el gas regulado y dos para medir el gas a alta presión.

El elemento primario se define como la platina de orificio, el soporte de la platina de orificio con su toma de presión diferencial, el tubo medidor y el acondicionador de flujo.

2. GESTIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA

2.1 GENERALIDADES

Para el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento de la Estación Barrancabermeja y con el fin de garantizar la disponibilidad permanente de la instalación, se ha dividido la Estación en las siguientes áreas de trabajo:

- Trampa de raspadores de recibo
- Sistema de medición
- Sistema de filtración
- Sistema de regulación
- Sistema de separación
- Sistema de medición

2.2 OPERACIÓN

El objetivo principal de la Operación de la Estación Barrancabermeja es garantizar que el transporte y entrega de gas se realice dentro de los parámetros establecidos por la Empresa y en concordancia con las especificaciones y normas técnicas internacionales (ASME B31.8 y PIPELINE SAFETY REGULATIONS) establecidas por la industria del gas para estas actividades.

En el Cuadro 1 se relacionan las actividades de operación de la Estación Barrancabermeja, su frecuencia y su alcance.

Cuadro 1. Actividades de Operación de la Estación Barrancabermeja

Actividad	Alcance	Frecuencia
Detección de fugas	Estación Barrancabermeja	Anual
Calibración e inspección válvulas de control	Estación Barrancabermeja	Semestral
Calibración e inspección válvulas reguladoras de presión	Estación Barrancabermeja	Semestral
Inspección válvulas de seguridad	Estación Barrancabermeja	Semestral
Inspección reguladores de presión	Estación Barrancabermeja	Anual
Calibración e inspección computadores de flujo (incluye calibración transmisor de presión y verificación RTD)	Estación Barrancabermeja	Mensual
Calibración transmisores de presión	Estación Barrancabermeja.	Mensual
Calibración interruptores de presión	Estación Barrancabermeja	Trimestral
Calibración operadores neumáticos	Estación Barrancabermeja	Trimestral
Calibración indicadores de presión	Estación Barrancabermeja	Trimestral
Inspección filtros separadores	Estación Barrancabermeja	Mensual
Inspección separadores	Estación Barrancabermeja	Mensual

2.3 MANTENIMIENTO

El objetivo principal de las actividades de mantenimiento de la Estación Barrancabermeja es garantizar la eficiencia, seguridad y confiabilidad en el transporte y entrega de gas.

2.3.1 Mantenimiento Predictivo. Este tipo de mantenimiento consistirá en realizar mediciones de espesores a la tubería de la Estación Barrancabermeja.

El alcance, la frecuencia, los recursos y los equipos para las actividades del mantenimiento predictivo se estipulan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Mantenimiento Predictivo de la Estación Barrancabermeja

Actividad	Alcance	Frecuencia	Recursos y Equipos
Medición de Espesores	Estación Barrancabermeja	Anual	Técnico I, Ayudante de Mantenimiento y vehículo Medidor de Espesores KRAUTKRAMER.

2.3.2 Mantenimiento Preventivo. El Mantenimiento Preventivo consistirá en un conjunto de actividades que se realizarán en forma sistemática y con una frecuencia prefijada en la Estación Barrancabermeja, con el fin de reducir la cantidad de mantenimiento reactivo a un nivel suficientemente bajo que permita

mantener las instalaciones en un estado que garantice su correcto funcionamiento y prolongue su vida útil.

Con el objeto de efectuar un control de todas las actividades relacionadas con la operación y el mantenimiento de la Estación Barrancabermeja, se han elaborado los siguientes programas de inspecciones que serán de estricto cumplimiento. El alcance, la frecuencia, los recursos y los equipos para las actividades del mantenimiento preventivo se estipulan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Mantenimiento Preventivo de la Estación Barrancabermeja

Actividad	Alcance	Frecuencia	Recursos y Equipos
Limpieza Interna	Gasoducto Troncal	Trimestral	Técnico I y Ayudantes de Mantenimiento. Vehículo, Kit de Herramientas, Raspa tubos y Accesorios
Inspecciones Periódicas	Estación Barrancabermeja.	Bimensual	Técnico II y Ayudante de Mantenimiento. Vehículo, cámara fotográfica y Kit de Herramientas.
Engrase de Válvulas	Estación Barrancabermeja	Semestral	Técnico II y Ayudante de Mantenimiento. Vehículo, cámara fotográfica, engrasadora manual y Kit de Herramientas.
Inspección estado de pintura	Estación Barrancabermeja	Semestral	Técnico II y Ayudante de Mantenimiento. Vehículo, cámara fotográfica y Kit de Herramientas.
Inspección Sistema de Puesta a Tierra	Estación Barrancabermeja	Semestral	Recurso Contratado

2.4 SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

Las actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema de Protección Catódica de la Estación Barrancabermeja tiene por objeto asegurar que el sistema funcione dentro de los parámetros establecidos por la Empresa y en concordancia con las normas y estándares internacionales de la industria del gas (NACE STANDARD RP0169-96), de tal forma que el sistema funcione bajo criterios de protección catódica seguros que garanticen la confiabilidad y disponibilidad del sistema a lo largo de su vida útil.

El alcance, frecuencia, recursos y equipos para las actividades del Plan de Control de Corrosión se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Protección Catódica de la Estación Barrancabermeja

Actividad	Alcance	Frecuencia	Recursos y Equipos
Evaluación de potenciales	Estación Barrancabermeja	Mensual	Técnico 1

3. GESTIÓN AMBIENTAL

3.1 GENERALIDADES

La Estación Barrancabermeja es la encargada del recibo y entrega de gas natural por tuberías para el sector industrial del CIB, para el interior del país y domiciliario para la población de Barrancabermeja.

El gas natural es un recurso natural no renovable y consiste en una mezcla de hidrocarburos livianos, especialmente metano, además puede tener otros compuestos contaminantes como bióxido de carbono, agua, ácido sulfídrico, helio y nitrógeno.

En la etapa de Operación de la Estación Barrancabermeja, la gestión ambiental está básicamente orientada a mantener bajo evaluación permanente el estado de evolución del sistema ambiental global, controlando que los parámetros que caracterizan las normas de calidad ambiental se encuentren dentro de los valores establecidos en la Legislación Ambiental Colombiana y en el Estudio Ecológico y Ambiental elaborado antes de la construcción.

Con el fin de garantizar la estabilidad de las condiciones ambientales y el cumplimiento del programa de gestión ambiental, la organización cuenta con un Plan de Monitoreo y Seguimiento. En el Cuadro 5 se describen las actividades más relevantes de este plan.

Cuadro 5. Actividades de seguimiento ambiental de la Estación Barrancabermeja.

Actividad	Alcance	Frecuencia
– Disposición de desechos sólidos y líquidos	Estación Barrancabermeja	Mensual
– Evaluación calidad de aire	Estación Barrancabermeja	Semestral
– Evaluación calidad del agua	Estación Barrancabermeja	Semestral

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos para el Plan de Seguimiento Ambiental son los siguientes:

- Hacer cumplir la normatividad ambiental ordenada en la Resolución 204 del Ministerio del Medio Ambiente y la relacionada con las actividades que se llevan a cabo durante la operación y mantenimiento.
- Verificar que en la Estación se lleve a cabo la correcta disposición de desechos sólidos y líquidos.
- Evaluar la calidad del aire en la Estación.
- Evaluar los niveles de ruido en la Estación.

3.3 ALCANCE

Determinando los residuos generados en la Estación Barrancabermeja y las actividades de mantenimiento que causan impacto, se establece un programa de monitoreo mediante inspecciones periódicas y especiales que permitan verificar la recuperación de las zonas afectadas y el cumplimiento de la política ambiental de la Empresa.

4. SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

4.1 GENERALIDADES

La Estación Barrancabermeja cuenta con un programa de Salud Ocupacional que está encaminado a preservar, mantener y mejorar la salud individual y colectiva de los trabajadores en sus correspondientes ocupaciones y a cumplir con las últimas disposiciones gubernamentales.

El objetivo de este plan es identificar, reconocer, evaluar y controlar los factores de salud ocupacional y seguridad industrial que se originen en los lugares de trabajo y que puedan afectar la salud de los trabajadores y mantener los máximos estándares de seguridad en las instalaciones.

Las actividades más importantes que se desarrollan durante las inspecciones de salud ocupacional y seguridad industrial son las siguientes:

- Identificación y valoración de riesgos ocupacionales en la Estación Barrancabermeja.
- Inspección Sistema Contra Incendio y extintores de la Estación Barrancabermeja, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en caso de emergencia.
- Inspecciones de Seguridad a Vehículos
- Seguimiento a la intensidad de ruido
- Medición de los niveles de iluminación en las Estación Barrancabermeja.

- Fumigación y Desratización de la Estación Barrancabermeja.
- Control Bacteriológico sobre muestras de agua tomadas en los dispensadores de la Estación Barrancabermeja.

4.2 RESPONSABILIDADES

4.2.1 De la Alta Dirección. Estos niveles de dirección asumen el liderazgo del programa de salud ocupacional, ejerciendo las siguientes funciones:

- Motivar al grupo de trabajadores sobre la necesidad y beneficios del programa, mediante el apoyo en charlas, conferencias, reuniones, talleres.
- Respaldar las decisiones técnicas tomadas por el equipo de coordinación del programa, en materia de salud ocupacional.
- Mantener en constante evaluación el desarrollo de las actividades de medicina preventiva y del trabajo, higiene y seguridad industrial, y la gestión del comité paritario, aplicando mecanismos de seguimiento adecuados para determinar los niveles de eficiencia.

De igual forma las responsabilidades de estos niveles en la consolidación del Programa de Salud Ocupacional, están orientadas por las siguientes actividades:

- Conocer las políticas, objetivos, estrategias y procedimientos de operación del programa, para implementarlo en las dependencias que coordinan.

- Promover y apoyar la organización y ejecución las actividades del programa, de manera que la participación de los empleados sea constante y decisiva para el éxito del mismo.
- Promover y apoyar la capacitación y entrenamiento de trabajadores, sobre los alcances del programa y las diferentes normas y reglamentaciones en materia de salud ocupacional, seguridad e higiene industrial que deben cumplir.
- Colaborar en forma permanente con las demás dependencias en la consolidación del programa de salud ocupacional.
- Verificar y seguir los indicadores de evaluación del programa en la dependencia para observar su comportamiento y poder determinar las acciones de prevención y corrección adecuadas.

4.2.2 De la Coordinación de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial. Como responsable de la planeación, coordinación y seguimiento de las actividades relacionadas con el manejo ambiental, programa de salud ocupacional, gestión social y gestión de tierras, esta dependencia asumirá la dirección del programa de salud ocupacional, para lo cual debe adelantar las siguientes gestiones:

- Asesorar a la coordinación y gerencia general en la formulación de objetivos, normas, reglamentaciones, procedimientos operativos y administrativos, y en la solución de problemas sobre medicina preventiva y del trabajo, seguridad e higiene industrial.
- Revisar el cumplimiento de las políticas, objetivos y estrategias definidas en el programa, por parte del personal de coordinación y de obra.

- Recoger, analizar, sistematizar y divulgar información sobre las actividades del programa, y los datos sobre lesiones, daños o pérdidas, a los diferentes actores (coordinadores y trabajadores), para que se tomen las medidas de prevención y control necesarias en respuesta a estos eventos.
- Desarrollar un programa educativo sobre salud ocupacional, higiene y seguridad industrial dirigido al personal de Centragas de manera que sirva para crear conciencia en el grupo de empleados y trabajadores.
- Adelantar campañas de motivación y divulgación de normas y conocimientos técnicos, con el fin de atraer el interés de trabajadores en materia de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial.
- Mantener a Centragas actualizado en cuanto a las normas, leyes, reglamentos y resoluciones emitidas por los organismos de control, para asesorar a los coordinadores y gerencia en su aplicación.
- Integrar las actividades de medicina preventiva y del trabajo, higiene y seguridad industrial en todas las dependencias de la empresa, al control de lesiones, daños o pérdidas.
- Dirigir y coordinar las reuniones sobre salud ocupacional, higiene y seguridad industrial programadas por la gerencia, coordinaciones y trabajadores.
- Investigar sobre las causas y efectos de los problemas de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial, con el objeto de informar a la gerencia y coordinadores para tomar los correctivos pertinentes.
- Mantener canales de comunicación permanentes con entidades asesoras especializadas en salud ocupacional, higiene y seguridad industrial, y participar activamente en reuniones programadas por estas entidades.

- Diseñar y aplicar los mecanismos de evaluación para verificar el cumplimiento del programa.

4.2.3 De los Trabajadores. Los trabajadores son parte importante dentro del engranaje del programa, por lo tanto, la participación de este grupo debe estar regida por las siguientes funciones:

- Conocer en forma detallada los alcances del programa, de tal forma que se entienda este proceso como una herramienta de prevención.
- Participar activamente en las capacitaciones, entrenamientos y simulacros promovidos por las coordinaciones, con el fin de contribuir al éxito del programa.
- Cumplir cabalmente con las políticas, normas y reglamentos sobre salud ocupacional, seguridad e higiene industrial definidas por la empresa.
- Informar permanente a las coordinaciones sobre el desarrollo del programa, haciendo especial énfasis en las condiciones de trabajo y en las acciones que representan elevado riesgo.
- Proponer sugerencias a las coordinaciones en la solución de problemas de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial que se presenten.

4.3 PROCEDIMIENTOS Y NORMAS GENERALES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

4.3.1 Objetivos Generales. El principal propósito consiste en la formulación y puesta en marcha de un sistema conformado por un conjunto de estrategias, políticas, procedimientos y una estructura organizacional para atender eventuales situaciones de deterioro de las condiciones de trabajo que se presenten en la Estación Barrancabermeja de manera que permitan mejorar, mantener y proteger las condiciones de salud, calidad de vida e integridad física de trabajadores a la vez asegurar la realización eficaz y oportuna de las actividades necesarias para el buen desarrollo del proyecto.

4.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de los potenciales riesgos ocupacionales que se podrían generar por las diferentes actividades de planificación y coordinación de CENTRAGAS el cual debe incluir el panorama de riesgo, localización, los niveles de exposición de cada riesgo y el número de trabajadores expuestos; con el fin de establecer las medidas de prevención, control y los procedimientos operativos de respuesta de cada uno.
- Cuantificar y cualificar los riesgos ocupacionales, de modo que se compare los resultados de esta evaluación con los estándares internacionales para determinar su peligrosidad.
- Diseñar e implementar las medidas de control requeridas para cada uno de los riesgos ocupacionales, relacionados con accidentes e incidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

- Definir el equipo de coordinación que será responsable de la implementación del programa, de manera que contribuya a promover las actividades de medicina preventiva y del trabajo, de higiene y seguridad industrial.
- Capacitar al grupo de trabajadores en temas como factores de riesgos ocupacionales y sus efectos sobre la salud, con el ánimo de prevenir y corregir los eventuales problemas de salud que se presenten.
- Realizar seguimiento al grupo de trabajadores para prevenir, detectar a tiempo y controlar las enfermedades generales (EG) y las enfermedades profesionales (EP).
- Llevar a cabo inspecciones a las redes e instalaciones eléctricas locativas, equipos, máquinas, herramientas, para controlar los riesgos de electrocución y los peligros de incendios.
- Establecer una metodología para la recolección y organización de la información o registros sobre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

4.4 ESTRATEGIAS DE SALUD OCUPACIONAL

Estas estrategias buscan optimizar las condiciones de salud y aumentar la calidad de vida de los trabajadores, mediante la ejecución de actividades de medicina preventiva, medicina del trabajo, higiene industrial y seguridad industrial, de tal manera que se propicie un ambiente favorable para adelantar las acciones del proyecto en forma eficiente.

4.4.1 Salud Ocupacional dirigida al grupo de coordinación. Con respecto a este grupo se le identificó su grado de exposición ante riesgos físicos, químicos, biológicos, psicosociales, ergonómicos, mecánicos, eléctricos, locativos y otros agentes contaminantes.

Adicionalmente, se elaboró el panorama de riesgo para obtener su localización en las áreas de trabajo, los niveles de exposición de cada riesgo y el número de trabajadores expuestos.

Aplicar las medidas de control de los riesgos ocupacionales en la fuente, en el medio ambiente y determinar la necesidad de controles o elementos de protección personal.

Se realizarán exámenes médicos, clínicos y paraclínicos para el ingreso, periódicos ocupacionales y retiro en empleados y trabajadores, y se ejecutará un programa de vigilancia epidemiológica que incluya accidentes de trabajo, enfermedades profesionales y panorama de riesgos; con el fin de evaluar en forma permanente el estado de salud de los empleados de Centragas expuestos a riesgos ocupacionales.

4.4.2 Información y comunicación al personal de coordinación del proyecto.

Se debe identificar los medios y mensajes necesarios para mantener el intercambio de información relacionados con el contenido del programa, dado que están orientados a prevenir y controlar cualquier riesgo que se presente.

De la misma forma, resulta conveniente propiciar un canal permanente de comunicación a través del cual se de a conocer a empleados el desarrollo de actividades de medicina preventiva y del trabajo, higiene y seguridad industrial.

4.5 SUBPROGRAMA DE MEDICINA PREVENTIVA Y DEL TRABAJO.

Este subprograma está conformado por el conjunto de actividades encaminadas a prevenir y controlar la salud del trabajador, de manera que conduzcan a establecer verdaderas condiciones de bienestar físico, mental y social de los empleados y trabajadores de Centragas.

4.5.1 Objetivo General. Promocionar, prevenir y controlar la salud del trabajador, protegiéndolo de los factores de riesgos ocupacionales, ubicándolo en un sitio de trabajo acorde con sus condiciones psico-fisiológicas y manteniéndolo en aptitud de producción del trabajo.

4.5.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar campañas educativas y de capacitación con todo el personal que labora en la Estación Barrancabermeja en donde se toquen y profundicen temas relacionados con la forma de mantener la salud, factores de riesgos, sus efectos sobre la salud y la manera de corregirlos.
- Diseñar y ejecutar programas para la prevención, detección y control de enfermedades relacionadas o agravadas por el trabajo.

- Establecer al alcance de todos los empleados y trabajadores un servicio oportuno y eficiente de primeros auxilios.
- Investigar y analizar las enfermedades ocurridas, determinar sus causas y establecer las medidas correctivas necesarias.
- Realizar seguimiento a los puestos de trabajo para conocer los riesgos relacionados con la patología laboral, e informar a los coordinadores y gerencia sobre las medidas aplicadas para la prevención de las enfermedades profesionales y accidentes de trabajo.
- Registrar y sistematizar las estadísticas de enfermedades generales y profesionales de los trabajadores e investigar las posibles relaciones con las actividades que desempeñan en Centragas.
- Reubicar a los trabajadores con patologías relacionadas con el factor de riesgo a que están expuestos, según criterios de los especialistas y de la A.R.P. contratada.
- Determinar indicadores de ausentismo (frecuencia y severidad), cumplimiento, incidencia y prevalencia de enfermedades, para valorar la eficacia de este subprograma.

4.5.3 Actividades

- ***Realización de Exámenes Médicos***

Se realizarán evaluaciones médicas ocupacionales de pre-ingreso, periódicas y de retiro, teniendo en cuenta la clasificación y el panorama de riesgos estimado.

En las evaluaciones médicas ocupacionales periódicas, se realizarán exámenes sobre agudeza visual, audiometría, patología lumbar, etc.

De conformidad con lo anterior, se realizarán diagnósticos de salud en todo el personal, con el fin de valorar el estado anatómico y fisiológico del paciente, para tomar las acciones preventivas y correctivas de acuerdo a la situación encontrada.

- ***Desarrollo del Programa de Vigilancia Epidemiológica***

Se diseñará y pondrá en marcha un programa que estará orientado a la vigilancia epidemiológica de las enfermedades profesionales, las patologías relacionadas con el trabajo y los casos de ausentismo laboral. Así mismo, se hará especial énfasis en el control de la tensión arterial y en las audiometrías.

- ***Aplicación de acciones de prevención y control de enfermedades***

Se estructurarán y desarrollarán programas de saneamiento como herramienta de prevención y control sanitario a las edificaciones de la Estación Barrancabermeja y se adelantarán programas de vacunación dirigidos a todos los trabajadores, para proteger su estado y bienestar de salud.

- ***Realización de campañas de educación y capacitación***

Se diseñará y aplicará unas estrategias de educación y capacitación dirigidas a los empleados y trabajadores, que incluya entrenamiento en educación en salud, introducción a factores y panoramas de riesgos, control de riesgos ocupacionales,

de tal manera que los talleres, cursos, reuniones aquí planteados consigan concientizar a los trabajadores en prácticas de trabajo seguras y saludables.

- ***Verificación del funcionamiento del subprograma a través de visitas a los Puestos de Trabajo***

Se realizarán visitas a los puestos y/o áreas de trabajo en forma periódica, con el fin de hacerle seguimiento y control a las diferentes actividades que realiza Centragas y propiciar un ambiente favorable para la interrelación del trabajador con estos programas.

- ***Aplicación de un Sistema de información y registros.***

Se mantendrá actualizada y sistematizada la información relacionada con la historia ocupacional, las consultas diarias de los empleados y trabajadores, y los registros de ausentismo laboral, con el objeto de tener un control estadístico sobre morbi-mortalidad que oriente las relaciones entre las patologías que se presenten y los puestos de trabajo.

- ***Coordinación con otras Entidades de Salud***

Se desarrollarán reuniones, charlas, espacios de intercambio de ideas y estrategias de trabajo en coordinación con Entidades Promotoras de Salud, Entidades Administradora de Riesgos Profesionales, Cajas de Compensación, de tal forma que este esfuerzo contribuya a perfeccionar los alcances del subprograma.

4.6 SUBPROGRAMA DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

En el diseño de un Subprograma de Higiene y Seguridad Industrial se debe partir de las siguientes definiciones:

La Higiene Industrial comprende el conjunto de actividades destinadas a la identificación, evaluación y control de los agentes y factores del ambiente de trabajo que pueden afectar la salud de los trabajadores.

La Seguridad Industrial comprende el conjunto de actividades destinadas a la identificación y al control de las causas de los accidentes de trabajo.

4.6.1 Objetivo General. Proteger la integridad física del personal, mediante la identificación, reconocimiento, evaluación y control de los factores de riesgos ambientales que se originan en los lugares de trabajo, y que son susceptibles de producir daños en la salud de los trabajadores.

4.6.2 Objetivos Específicos

- Identificar y reconocer los distintos factores de riesgos ambientales mediante la elaboración del panorama de riesgos y diagramas de evacuación.
- Valorar y cuantificar la magnitud de los factores de riesgos, mediante el uso de técnicas de medición adecuadas y escalas cualitativas y cuantitativas.

- Establecer normas, mecanismos y procedimientos de control de los factores de riesgos que incluya operaciones, equipos y condiciones ambientales de la empresa.

4.6.3 Actividades

- ***Revisiones o Inspecciones de Seguridad***

Se realizarán inspecciones para identificar y evaluar factores de riesgos actuales o potenciales (físicos, químicos, ergonómicos y mecánicos), aplicando la metodología explicada anteriormente. Así mismo, se realizarán inspecciones de verificación de los vehículos para comprobar su estado de seguridad y el equipo de carretera.

- ***Análisis del Puesto de Trabajo***

El análisis del puesto de trabajo constituye una herramienta eficaz para la elaboración de normas y manuales de seguridad; así como también, permite predeterminar el perfil psicológico y físico del candidato que ocupará el puesto.

- ***Evaluación e Investigación de Accidentes***

Los accidentes e incidentes con lesiones incapacitantes o daños a la propiedad, se realizarán siguiendo los métodos ANSI Z16.2, ILCI o socio técnico, según sea el caso, de tal forma que esta evaluación permita determinar las causas reales que dieron origen al evento y evitar su repetición.

Por otro lado, se le informará a las autoridades competentes sobre los accidentes de trabajo ocurridos en la empresa.

- ***Sistematización y Actualización de estadísticas de Accidentalidad***

Se llevarán sistematizadas y actualizadas las estadísticas de accidentes de trabajo cada mes, lo cual permite conocer los índices de frecuencias, índices de severidad, índice de lesiones incapacitantes, promedio de días cargados, accidentes acumulados hasta la fecha.

- ***Seguimiento a los Programas de Salud Ocupacional de los Contratistas***

Se realizará seguimiento y control a los programas de Salud Ocupacional que deben desarrollar los contratistas de cada actividad contratada para el mantenimiento u operación de los Gasoductos, a través de reuniones con los trabajadores y visitas de inspección a los distintos lugares de ejecución de los trabajos.

- ***Suministro de Elementos de Protección Personal***

Con el fin de proteger la salud y la integridad física de los trabajadores, mantener un control de estos elementos y mejorar su uso, se desarrollarán las siguientes acciones:

- Estudio sobre la necesidad de elementos de protección personal.
- Registros de elementos de protección entregados al personal.
- Procedimiento para el suministro de los elementos.

- Verificación periódica del estado y uso de los elementos.
- Aplicación de normas de uso, mantenimiento y limpieza establecidas por el fabricante o proveedor.

5. GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MINIMIZACIÓN DEL RIESGO E INTEGRIDAD EN UNA ORGANIZACIÓN

5.1 DEFINICIÓN DE RIESGO

Luego de años de experiencia en la industria de gasoductos y oleoductos, las Empresas del ramo han establecido las actividades que se consideran necesarias para atacar directamente amenazas específicas para las tuberías. Tales actividades incluyen inspecciones periódicas, mantenimiento de las válvulas, protección catódica y el establecimiento del índice de corrosión, el índice de diseño y el índice de operación incorrecta. Muchas de estas actividades han sido establecidas por agencias gubernamentales. En aquellos casos que la actividad no demostró ser efectiva para manejar una amenaza dada, ésta fue eventualmente cambiada o eliminada; de hecho, esta lista de actividades está siendo revisada y refinada continuamente.

Un método lógico de aseguramiento del riesgo debe seguir los mismos lineamientos de este razonamiento. Todas las actividades que afecten, favorable o desfavorablemente la tubería deben ser consideradas, incluso si no se cuenta con información estadística sobre la efectividad de una actividad particular. La experiencia industrial y la intuición del operador pueden y deben ser incluidas en el cuadro de riesgo. Desafortunadamente, este enfoque podría desde un punto de vista práctico, incluir a menudo un porcentaje de subjetividad. Mientras esta subjetividad sea estandarizada, la precisión en el aseguramiento de un riesgo relativo no está perdida.

El Riesgo es definido como la probabilidad que un evento cause una pérdida y la magnitud de tal pérdida. El transporte de productos peligrosos a través de una tubería es una situación que representa alto riesgo debido a la posibilidad latente de la ocurrencia de una falla en el sistema, capaz de ocasionar un derrame del producto. De acuerdo con esta definición, el riesgo se incrementa cuando la probabilidad del evento aumenta o cuando la magnitud de la pérdida (las consecuencias del evento) aumenta. La pérdida es usualmente definida en términos económicos.

La implicación de la anterior definición de riesgo es que éste no es una cantidad estática, puede cambiar constantemente. A lo largo de toda la longitud de una tubería las condiciones son usualmente cambiantes; a medida que ellas cambian, el riesgo también está cambiando en términos de: que puede salir mal, la probabilidad del evento y sus consecuencias. Ya que las condiciones también cambian con el tiempo, éste viene a ser un factor indirecto. Cuando desarrollamos una evaluación del riesgo, estamos tomando una foto del cuadro de riesgo en un instante de tiempo.

Con base en lo anterior, una evaluación completa del riesgo requiere que sean respondidas tres preguntas:

- ¿Qué puede salir mal?
- ¿Cuán probable es?
- ¿Cuáles son sus consecuencias?

Al responder estas preguntas, el riesgo será definido.

Una vez definido el riesgo, se procede en los siguientes numerales a establecer las pautas generales para implementar un modelo de minimización del riesgo para

cualquier sistema y luego se describirá un manual detallado del modelo aplicado a la Estación Barrancabermeja.

5.2 ALCANCE, APLICACIÓN Y DEFINICIONES

5.2.1 Alcance. Este capítulo provee una guía genérica para el establecimiento e implementación de un modelo de minimización del riesgo, involucrando la definición del contexto y la identificación de factores tales como el análisis, evaluación, tratamiento, divulgación y monitoreo de los riesgos existentes.

La minimización del riesgo puede ser aplicado en un gran rango de actividades u operaciones de todo tipo, en Empresas privadas o públicas, en grupos de diversa índole y por supuesto en una Empresa que se dedique a la operación y mantenimiento de la Estación.

5.2.2 Aplicación. La minimización del riesgo se reconoce como una parte integral de las buenas prácticas administrativas. Es un proceso iterativo y dinámico que consiste de varios pasos, que en una secuencia determinada, hacen posible la existencia de un mejoramiento continuo en la toma de decisiones de una Organización.

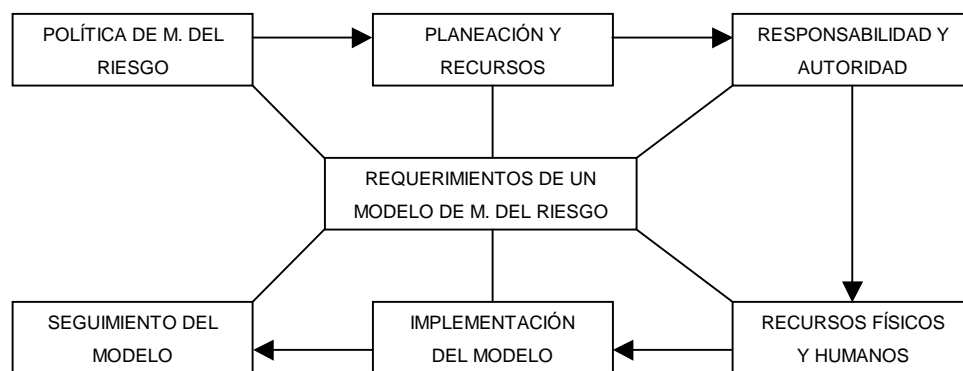
La minimización del riesgo es el término aplicado al método lógico y sistemático de definir el contexto, e identificar, analizar, evaluar, tratar, monitorear y divulgar los riesgos asociados con cualquier actividad, función o proceso; de tal forma que

permita que las Organizaciones minimicen las pérdidas y maximicen las oportunidades de mejoramiento.

5.3 REQUERIMIENTOS DE UN MODELO DE MINIMIZACION DEL RIESGO

Para el desarrollo y establecimiento de un modelo de minimización del riesgo en una Organización, se requiere proveer de una mano de obra para llevar a cabo de la manera más detallada el Programa de Minimización del Riesgo Organizacional, lo cual se puede manejar como un proyecto dentro de Empresa. En la Figura 1 se observan los requerimientos necesarios para la implementación de un Modelo de Minimización de riesgos dentro de una Organización.

Figura 1. Requerimientos de un Modelo de Minimización del Riesgo



5.3.1 Política de Minimización del Riesgo. Los ejecutivos de la Organización deben definir y documentar sus políticas para la minimización del riesgo dentro de la Empresa, incluyendo los objetivos buscados con esta minimización. La política de minimización del riesgo debe ser relevante con las metas, la planeación estratégica, los objetivos y la razón de ser de la Organización. El Gerente de Riesgos será el encargado de asegurar que esta política sea entendida, implementada y mantenida en todos los niveles de la Empresa.

5.3.2 Planeación y Recursos. La alta gerencia de cualquier Organización debe comprometerse con el modelo minimización del riesgo y asegurar que:

- El sistema de minimización del riesgo se establezca, implemente y mantenga según los estándares establecidos.
- El comportamiento del sistema de minimización del riesgo se debe reportar al Gerente General de la Organización con el objeto de obtener una retroalimentación positiva para la Empresa que se convierta en una base de mejoramiento.

5.3.3 Responsabilidad y Autoridad. La responsabilidad, autoridad y relaciones del personal involucrado en el programa de minimización del riesgo en una Organización, deben estar definidas y documentadas, particularmente para aquellas personas que necesiten el aval y apoyo de la Organización para realizar uno o más de las siguientes actividades:

- Iniciar acciones para prevenir o reducir los efectos adversos del riesgo.
- Implementar programas de control para reducir el riesgo hasta niveles aceptables.
- Identificar y documentar cualquier problema relacionado con la minimización del riesgo.
- Iniciar, recomendar o proveer soluciones para la minimización del riesgo en los diferentes frentes de la Organización.
- Verificar la implementación de soluciones.
- Divulgar y consultar a nivel interno o externo los niveles del riesgo en la Organización.

5.3.4 Recursos. La Organización identificará las fuentes requeridas y proveerá los recursos adecuados, incluyendo la asesoría por parte de personal calificado en la minimización del riesgo, aseguramiento de condiciones adecuadas de trabajo, y verificación de actividades incluyendo una retroalimentación interna del trabajo.

5.3.5 Implementación del Modelo. Se requiere de un número determinado de pasos para la implementación de manera efectiva de un sistema de minimización del riesgo dentro de una Organización.

Dependiendo del contexto organizacional, de la filosofía del minimización del riesgo, de la cultura y estructura de la Empresa, se hace posible la combinación u

omisión de ciertos pasos. Sin embargo, todos los pasos deben ser tratados con consideración.

A continuación se presentan los pasos generales durante la implementación de un modelo para la minimización del riesgo en un sistema:

- Contar con el compromiso de la alta Gerencia de la Organización.
- Desarrollar la política organizacional para la minimización del riesgo (objetivos, alineación con los objetivos corporativos y responsables).
- Comunicar e interiorizar la política de minimización del riesgo en la cultura organizacional.
- Aplicar el modelo de minimización del riesgo a todos los niveles de la Organización.
- Monitorear y retroalimentar el modelo.

5.3.6 Revisión del Modelo de Minimización del riesgo. Los altos ejecutivos de la Organización deben asegurarse que se realice la revisión continua del modelo de minimización del riesgo a intervalos específicos, los suficientes para asegurar la confiabilidad y la efectividad continua en la satisfacción de los requerimientos establecidos en la política.

5.4 EL PROCESO DE MINIMIZACION DEL RIESGO

El manejo del riesgo se ha convertido en una parte integral dentro de los procesos de administración. La minimización del riesgo es un proceso multifacético, que genera acciones que a menudo son llevadas a cabo por un equipo multidisciplinario. Es un proceso iterativo y dinámico de mejoramiento continuo.

5.4.1 Principales Elementos. Los principales elementos del proceso de minimización del riesgo, como se muestra en la Figura 2 son los siguientes:

- Establecimiento del contexto: establecer la estrategia, el contexto organizacional en el cual el resto de los procesos se van a desarrollar. Los criterios bajo los cuales se va a evaluar el riesgo se deben establecer, así como se debe definir la estructura del análisis que se vaya a implementar.
- Identificación de riesgos: Identificar qué situaciones, por qué y cómo estas pueden surgir para convertirse en riesgos.
- Análisis de riesgos: determinar los controles existentes, y analizar los riesgos en términos de las consecuencias y la probabilidad de existencia en el contexto de esos controles. El análisis debe considerar el rango de las consecuencias potenciales y cómo es la probabilidad de que éstas consecuencias tengan lugar.
- Evaluación de los riesgos: comparar los niveles estimados de riesgo contra los criterios preestablecidos. Esta situación hace posible que se pueda cuantificar el riesgo y de esta forma se puedan priorizar las inversiones. Si los niveles de

riesgo medido son bajos, quiere decir que este riesgo cae dentro de una categoría aceptable, y se da la situación que no se requiera de un tratamiento especial.

- Tratamiento del riesgo: aceptar y monitorear las situaciones de bajo riesgo. Para situaciones en donde el nivel de riesgo sea mayor, se deben desarrollar e implementar un plan de minimización específico el cual debe incluir consideraciones de fundamento. En la Figura 8 se puede observar de una manera detallada el proceso de tratamiento del riesgo.
- Monitoreo y revisión: monitorear y revisar el comportamiento del sistema de la minimización del riesgo, y realizar los cambios cuando sean necesarios.
- Comunicar y consultar: comunicar y consultar con las fuentes apropiadas tanto internas como externas a la organización, sobre cada estado del proceso de minimización del riesgo, haciendo este proceso lo más integral posible.

La minimización del riesgo puede ser aplicado en muchos niveles dentro de la organización; tanto en niveles estratégicos, como en niveles operacionales. Puede ser aplicado para proyectos específicos, para dar asistencia en decisiones específicas, o para manejar áreas de riesgo específicas.

Figura 2. Proceso de Minimización del Riesgo

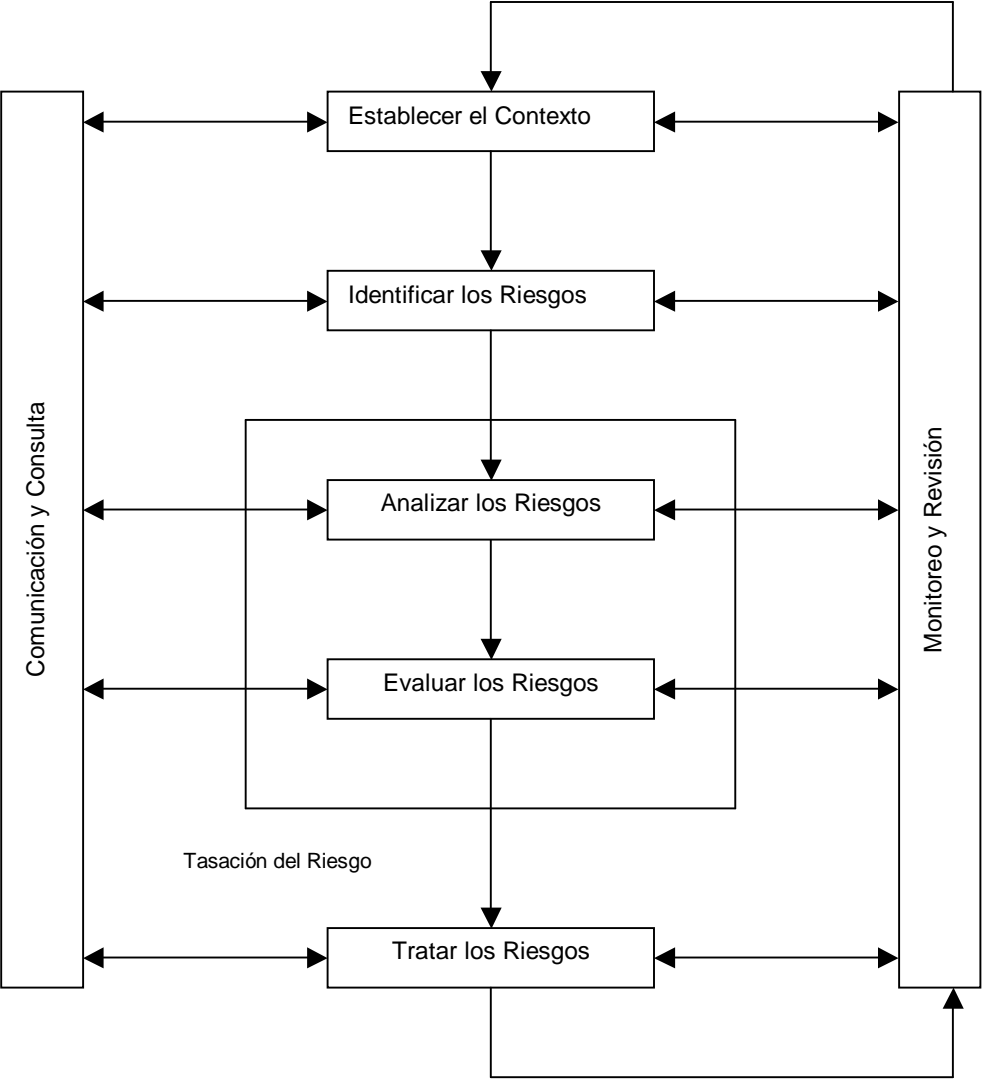
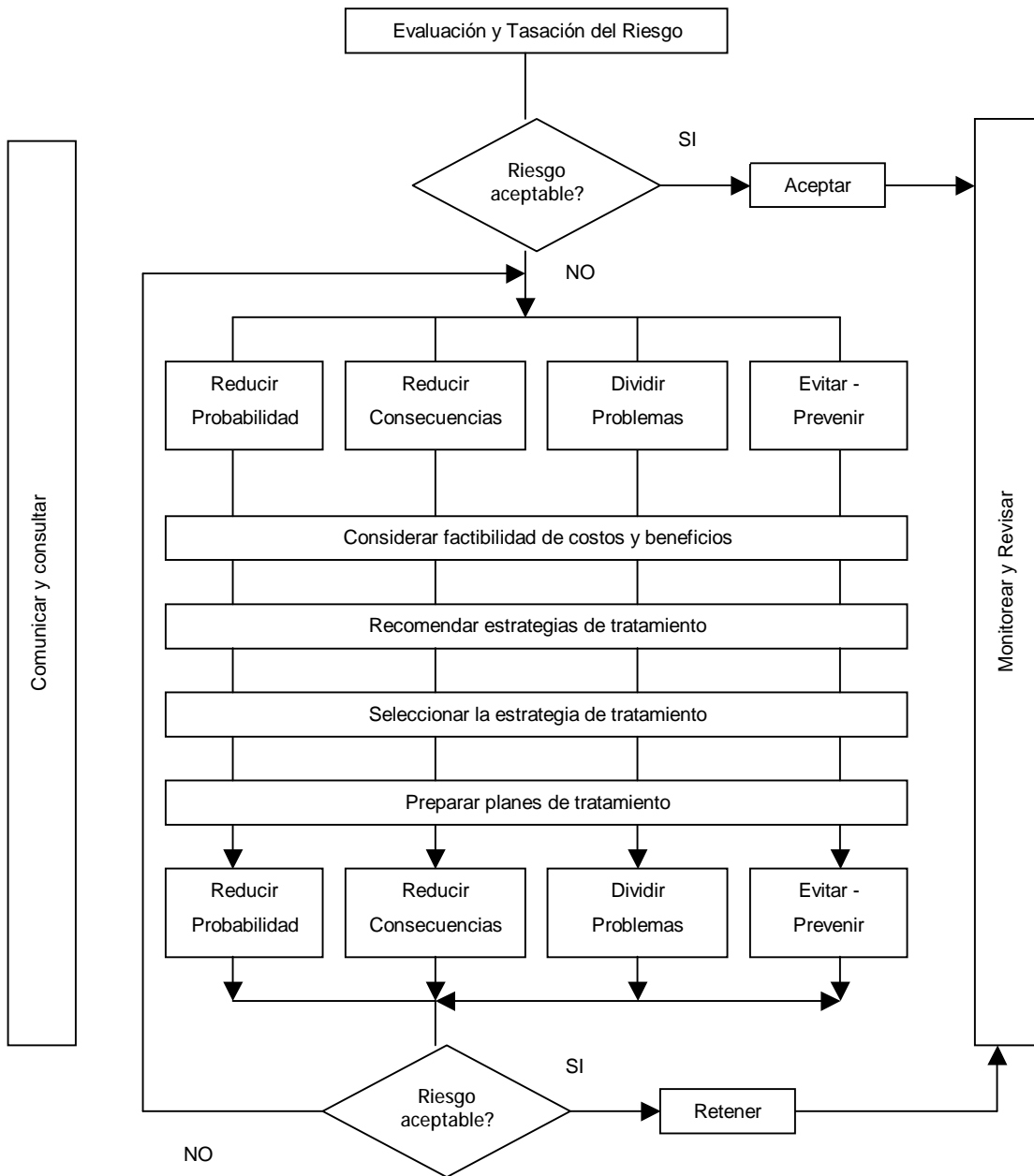


Figura 3. Proceso de Tratamiento del Riesgo



El manejo del riesgo como se observa en la anterior figura, es un proceso iterativo que puede contribuir al mejoramiento organizacional. Con cada ciclo, los criterios para la evaluación del riesgo pueden ser restringidos, y así alcanzar progresivamente mejores niveles dentro del proceso de manejo del riesgo.

Para cada estado del proceso, se debe llevar una documentación y recopilación de datos adecuada, suficiente para satisfacer a los auditores del sistema.

5.4.2 Documentación. Cada estado dentro del proceso de la minimización del riesgo debe ser documentado. La documentación debe incluir convenciones, métodos, fuente de datos y resultados.

Las razones de la importancia de la documentación son las siguientes:

- Demostrar que el proceso es llevado a cabo de una forma apropiada.
- Proveer una evidencia de la existencia de un enfoque sistémico para la identificación de los riesgos y su análisis.
- Proveer una fuente de datos para los niveles de riesgos en las diferentes áreas de la organización.
- Proveer una herramienta y un mecanismo para cuantificar el riesgo.
- Facilitar el monitoreo y revisión continua de los niveles de riesgo.
- Compartir y divulgar la información.

Existen decisiones y situaciones en donde la documentación juega un papel importante; tales son las decisiones relacionadas con los costos y beneficios, en las cuales deben tenerse en cuenta los factores arriba mencionados.

6. MODELO PARA LA EVALUACION DEL RIESGO E INTEGRIDAD EN LA ESTACION BARRANCABERMEJA

El propósito del modelo de minimización del riesgo e integridad en la Estación Barrancabermeja es evaluar el grado de exposición al público e identificar medios para hacer la administración del riesgo más efectiva. Cabe anotar que al evaluar el riesgo de exposición al público, se están determinando las condiciones de seguridad e integridad de cada sistema o sección de la tubería de la Estación evaluada.

Esta técnica de evaluación en la práctica, resulta en una herramienta de enorme importancia para operadores y gerentes de gasoductos, debido a que suministra respuestas oportunas a interrogantes complicados y porque se convierte en un punto de referencia apropiado para la toma de decisiones.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo de evaluación del riesgo utilizado en este análisis se conoce como un sistema de pesos y puntajes desarrollado por Dow Chemical de los Estados Unidos, en donde se parte de una enumeración detallada y una evaluación del peso relativo de todas las condiciones o categorías posibles que actúan sobre el riesgo, hasta la determinación de un factor de impacto o consecuencias potenciales, en el caso que se presente una falla. Este factor de impacto depende de la densidad de población, las condiciones ambientales, el nivel de peligrosidad del producto transportado y el grado de dispersión en el ambiente.

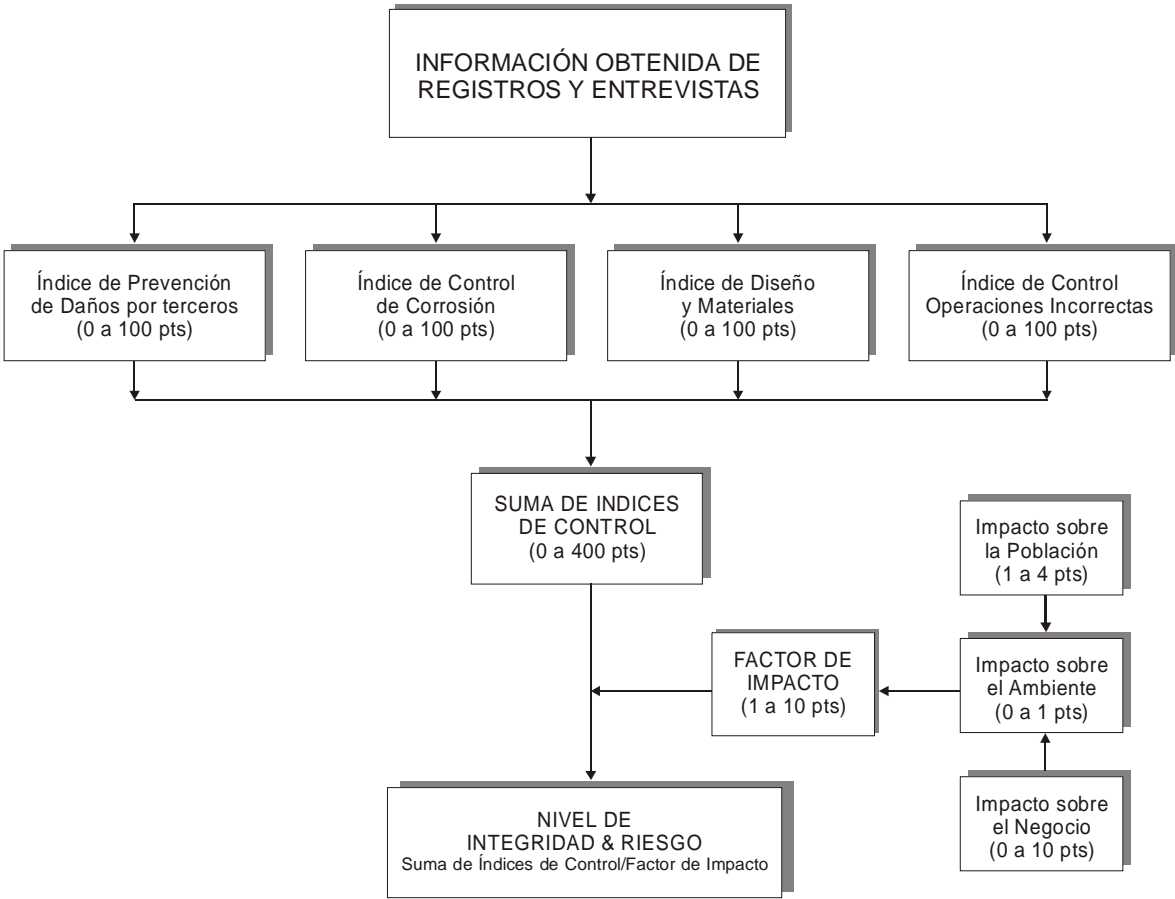
Las especificaciones sobre el diseño de la tubería, condiciones de operación y ambientales, se agrupan en cuatro índices que reflejan las áreas generales sobre las cuales se debe mejorar con el objeto de prevenir accidentes en el transporte de gas natural por tubería. Estos índices corresponden a Prevención de Daños por Terceros, Control de Corrosión, Diseño y Materiales, y Control de Operaciones Incorrectas.

Para la calificación o evaluación de cada índice, los valores numéricos son asignados, de acuerdo con la importancia relativa de las condiciones o categorías que contribuyen al riesgo, es decir, a través de Atributos y Prevenciones, los cuales reflejan el ambiente que rodea a la tubería y las acciones que se toman para responder a este ambiente, respectivamente. Cabe anotar que estos valores son determinados con base en informaciones estadísticas sobre fallas y la experiencia del operador.

En esta parte del análisis, considerando que cada índice corresponde a la sumatoria de atributos más acciones de prevención (A + P), el criterio o la filosofía empleada para la valoración de estos índices, es que los mayores puntajes significan mejores condiciones de seguridad en el transporte de gas natural y por tanto, bajos niveles de riesgos.

Una vez estimado el valor de cada índice, el cual oscila entre 0 a 100 puntos, se procede a sumarlos con el fin de calcular un valor total (0 a 400 puntos), para después combinarlo o relacionarlo con el factor de impacto, para obtener un valor de riesgo relativo o un nivel de Integridad de la sección de la tubería de la Estación evaluada. En la Figura 4 se observa un diagrama que describe el algoritmo de evaluación del riesgo para el transporte de gas natural por tubería.

Figura 4. Modelo básico para el aseguramiento del riesgo en la Estación Barrancabermeja



6.2 METODOLOGÍA

La estructura del modelo de minimización del riesgo comprende las siguientes etapas:

- Seccionar la Estación Barrancabermeja: Consiste en dividir la Estación en sistemas o secciones. El tamaño de cada sección depende de la densidad de población, condiciones del suelo y del recubrimiento, y de la relación: costo de la información (Captura / Mantenimiento) sobre los beneficios en el incremento de la exactitud del modelo.
- Establecer el valor del riesgo relativo, de acuerdo con los factores (Atributos + Previsiones) que contribuyen a aumentar o reducir el riesgo, y las consecuencias que se producen en caso de que la tubería de la Estación falle.
- Diseñar la base de datos con los resultados del riesgo relativo obtenidos para cada sección de la tubería de la Estación.
- Mantener actualizada la base de datos cuando se presenten cambios en las condiciones de riesgo de las secciones evaluadas.
- Clasificar los valores de riesgos relativos obtenidos, en varias categorías que indican las condiciones de riesgo e integridad de la Estación, con el fin de priorizar las acciones de control y prevención

6.3 INDICADORES DE RIESGO EN LA ESTACION BARRANCABERMEJA

Los criterios que intervienen en la calificación de los índices y en la estimación de las consecuencias como resultado de este sistema de evaluación del riesgo en tuberías, se muestran a continuación:

6.3.1 Índice de Prevención de Daños por Terceros (IPT). Para la valoración cualitativa del índice de prevención de daños por terceros, es preciso tener en cuenta que estos daños se refieren a cualquier daño accidental ocasionado por actividades realizadas por personal independiente al sistema de transporte de gas natural por tubería. En el cuadro 6 se muestran los elementos o factores que se deben considerar para evaluar el IPT.

Cuadro 6. Atributos y Prevenciones para el cálculo del IPT

FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL IPT
A. Profundidad Mínima de Tubería	0-20 Pts. A	20%
B. Nivel de Actividad	0-20 Pts. A	20%
C. Instalaciones Superficiales	0-10 Pts. A	10%
D. Sistema de Llamada Única	0-15 Pts. P	15%
E. Educación al Público	0-15 Pts. P	15%
F. Condición del Derecho de Vía	0-5 Pts. P	5%
G. Frecuencia de Patrullaje	0-15 Pts. P	15%
TOTAL	0-100 Pts.	100%

De el Cuadro 6 se tiene que:

Profundidad Mínima de Cubierta: Es la cantidad de tierra que cubre toda la profundidad de la tubería. La mayor exposición a un daño potencial puede ocurrir

cuando la línea tiene una profundidad de cubierta menor. El principal propósito de la cubierta en arena es proteger la línea de actividades realizadas por terceros, que puedan afectarle. Para mayor información sobre el cálculo de este atributo (Ver Anexo A: Guías para la Calificación del Riesgo).

Nivel de Actividad: Este Atributo relaciona el grado de influencia que pueda tener la actividad del entorno sobre la Estación y se calcula con base en la clase de localización o clase de construcción de la Estación. Para mayor información sobre el cálculo de este atributo (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

Instalaciones Superficiales: Con relación a este atributo se debe conceder el máximo puntaje a las secciones que no tienen instalaciones sobre la superficie y un puntaje mínimo para las secciones en donde se encuentran instalaciones que representan un potencial daño para el sistema. Para mayor información sobre el cálculo de este atributo (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

Sistemas de una llamada: Es un servicio en donde se recibe notificaciones de actividades de excavaciones próximas a la Estación y a través del cual se les puede informar a los responsables de las excavaciones sobre los efectos potenciales que puede generar un evento de rotura de la tubería. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

Programa de Educación al Público: Se cree que la mayoría de daños provocados por terceros no son intencionales y son debido por la ignorancia, es decir el desconocimiento que se tiene sobre la ubicación de la tubería próxima a la Estación. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

Condición del Derecho de Vía: Esta acción de prevención es una medida de tal forma que el derecho de vía de la tubería próxima a la Estación se pueda reconocer o inspeccionar. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

Frecuencia de Patrullaje: Es un método efectivo para disminuir la intromisión de terceros al sistema de transporte. Para la evaluación de esta acción de prevención se debe tener en cuenta la frecuencia y efectividad con que se realiza el patrullaje. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

6.3.2 Índice de Control de Corrosión (ICC). La corrosión se define como el deterioro o pérdida de las propiedades físicas o químicas de un material debido a una reacción química o electroquímica, con el medio ambiente.

En este sentido, la corrosión se origina por la intervención de cuatro elementos: un ánodo, un cátodo, un intercambio de iones entre ambos y un electrolito, constituyendo un fenómeno altamente localizado que es difícil de detectar a través de métodos directos o indirectos. Por tanto, el índice de corrosión refleja el potencial para que se presente corrosión y se explica a través de tres categorías: corrosión atmosférica, corrosión interna y corrosión de la tubería enterrada, las cuales son funciones del tipo de ambiente al cual está expuesto la tubería de la Estación.

Es por esta razón que el control de este índice se debe hacer considerando tres variables muy importantes: la Corrosión Atmosférica, la Corrosión Interna y la

Corrosión Externa o de la tubería enterrada. En el Cuadro 7 se muestran los elementos o factores que se deben considerar para evaluar el ICC.

Cuadro 7. Atributos y Prevenciones para el cálculo del ICC

TIPO DE CORROSIÓN	FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL ICC
CORROSIÓN ATMOSFÉRICA (0-20 Pts.)	1. Características de las Instalaciones Superficiales	0-5 Pts. A	5%
	2. Tipo de Atmósfera	0-10 Pts. A	10%
	3. Calidad del Recubrimiento e Inspección	0-5 Pts. P	5%
CORROSIÓN INTERNA (0-20 Pts.)	1. Corrosividad del Gas Transportado	0-10 Pts. A	10%
	2. Protección Interna de la Tubería	0-10 Pts. P	10%
CORROSIÓN EXTERNA (0-60 Pts.)	1. Protección Catódica	0-8 Pts. P	8%
	2. Condición del Recubrimiento	0-10 Pts. P	10%
	3. Corrosividad del Suelo	0-4 Pts. A	4%
	4. Edad del Sistema	0-3 Pts. A	3%
	5. Existencia de otros Metales Externos	0-4 Pts. A	4%
	6. Corriente Inducida A.C.	0-4 Pts. A	4%
	7. Efectos de la Corrosión Mecánica	0-5 Pts. A	5%
	8. Lecturas de Potenciales	0-6 Pts. P	6%
	9. Inspección Paso a Paso (Close Interval Surveys)	0-8 Pts. P	8%
	10. Inspección Interna	0-8 Pts. P	8%
TOTAL		0-100 Pts.	100%

Del Cuadro 7 se tiene que:

- **Corrosión Atmosférica:** Básicamente, la corrosión atmosférica se origina cuando ocurre un cambio en las propiedades químicas del material de la tubería como resultado de su interacción con la atmósfera. Los factores o elementos que influyen en la evaluación del potencial de corrosión atmosférica son las instalaciones, el tipo de atmósfera y la calidad del recubrimiento e inspección. Para mayor información sobre el cálculo de este factor c
- **Corrosión Interna:** Para evaluar el nivel de riesgo producido por la corrosión interna se hace necesario examinar las características del gas natural y las medidas de prevención que están siendo aplicadas por el operador para proteger la tubería. En este sentido, los factores que verdaderamente influyen en la valoración del potencial de corrosión interna son la corrosividad del producto y la protección interna de la tubería. Para mayor información sobre el cálculo de este factor (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Corrosión Externa:** De los tres tipos de corrosión, ésta es la más compleja, debido a que se presentan varios mecanismos de reacción en la tubería metálica enterrada. El más común es el de la forma de corrosión galvánica, en la cual un metal o varios metales sumergidos en un electrolito (fluido conductor de electricidad) forman regiones anódicas o catódicas. Un cátodo es una región del área del metal que tiene gran afinidad por los electrones correspondientes a la región anódica. Esta afinidad es lo que se conoce comúnmente como electronegatividad. Cuando existe una conexión eléctrica entre un ánodo y un cátodo, los electrones se desplazan desde la región anódica hasta la región catódica, formando lo que se conoce como celda galvánica. De igual forma, cuando existe diferencias en concentración de iones, oxígeno o humedad en metales sumergidos en diversos suelos, se

pueden formar regiones anódicas y catódicas sobre la superficie de la tubería, que son conocidas como celdas por concentración. La severidad de este tipo de corrosión está determinada por variables, tales como, la conductividad del electrolito (suelo) y la electronegatividad relativa del ánodo y cátodo. La primera técnica de control que se utiliza es el recubrimiento de la tubería, el cual debe estar diseñado para aislar el metal del electrolito. La segunda, corresponde al uso de un sistema de protección catódica, en el cual la tubería es convertida a cátodo, a través de una conexión con otro metal, de tal manera que no se presenta pérdida de metal, tal como se explicó en el modelo de celda galvánica. Dentro de esta técnica, es conveniente mencionar, el sistema de protección catódica por corriente impresa, en donde se utiliza una fuente externa de corriente denominado rectificador, el cual conduce la corriente de bajo voltaje entre la cama anódica y la tubería. La cantidad de corriente requerida es determinada por variables, tales como, la condición del recubrimiento, el tipo de suelo y el diseño de la cama anódica. Para mayor información sobre el cálculo de este factor (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

6.3.3 Índice de Diseño y Materiales (IDM). El índice de Diseño y Materiales es un elemento importante en el proceso de evaluación y control del riesgo, debido a que refleja la relación existente entre la forma cómo la tubería fue diseñada y cómo está siendo operada en la actualidad.

En este sentido, este índice evalúa las condiciones de operación del sistema con respecto a los factores críticos relacionados en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Atributos y Prevenciones para el cálculo del IDM

<u>FACTOR A CALIFICAR</u>	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL IPT
A. Factor de Seguridad de la Tubería	0-20 Pts. A	20%
B. Factor de Seguridad del Sistema	0-20 Pts. A	20%
C. Fatiga	0-15 Pts. P	15%
D. Potencial de Onda o Choque	0-10 Pts. P	10%
E. Prueba Hidrostática al Sistema	0-25 Pts. P	25%
F. Movimientos del Suelo	0-10 Pts. A	10%
TOTAL	0-100 Pts.	100%

Del Cuadro 8 se tiene que:

- **Factor de Seguridad de la Tubería:** Para conocer el factor de seguridad de la tubería de la Estación se debe calcular el espesor de la pared del tubo requerido y compararlo con el espesor de la pared actual. Si esta relación es menor de 1, la tubería no satisface el criterio de diseño, es decir, el espesor de pared actual es menor del requerido. El sistema de tubería no ha fallado debido a que no trabaja a condiciones máximas de diseño. Una relación mayor de 1 significa que existe un espesor de pared extra (por encima del requerido por diseño). Para mayor información sobre el cálculo de este atributo (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Factor de Seguridad del Sistema:** Es la diferencia entre la presión de diseño y la presión de operación existente. Cada sistema o sección, componente o accesorio de la tubería tiene una Máxima Presión de Operación Permitida especificada. Para evaluar este Factor de Seguridad se establece la relación: Presión de Diseño de la tubería o accesorio / Máxima Presión de Operación

Permitida. Cuando esta relación es igual a 1, no existe un factor de seguridad. Esto significa que el sistema está siendo operado en su límite. Una relación menor de 1 significa que el sistema no fue diseñado a la MAPO. Una relación mayor de 1 significa que existe un Factor de Seguridad y el sistema está siendo operado por debajo de su límite. Para mayor información sobre el cálculo de este atributo (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

- **Fatiga:** Es el debilitamiento de un material debido a ciclos de esfuerzos o tensiones repetidas. El tamaño del debilitamiento depende del número y magnitud de los ciclos. Si se presentan más a menudo tensiones altas, se puede ocasionar daños al material. Factores como: condiciones de superficie, geometría, materiales de proceso, fracturas rígidas y procesos de soldadura, interfieren en las fallas por fatiga. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Potencial de Onda o Choque:** Cuando la masa de fluido es obstaculizada la energía cinética se convierte en energía potencial de presión. El elemento que puede iniciar este proceso, está relacionado con las válvulas de cierre. Este fenómeno se conoce como presión de onda o choque y la magnitud de ésta depende de las características del fluido (densidad y elasticidad), la velocidad del fluido y la velocidad de flujo detenida. La presión de choque forma una presión de onda que se transporta a lo largo de la tubería, aumentando la presión estática en la tubería. Por lo que una tubería con presiones altas aguas arriba, en caso de que ocurra este tipo de presión, puede ser sobretensionada, ocasionando que la presión total sea mayor a la MAPO. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

- **Prueba Hidrostática del Sistema:** Para evaluar esta acción de prevención se utiliza un sistema de puntaje basado en el número de veces de realización de la prueba hidrostática y los resultados del ensayo con respecto a la MAPO. Para mayor información sobre el cálculo de esta prevención (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Movimientos del Suelo:** Los Movimientos del Suelo es el principal indicador del incremento de tensiones. Para mayor información sobre el cálculo de este atributo (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

6.3.4 Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO). Este índice evalúa el control del potencial de error humano en las operaciones de transporte de gas natural por tubería. Esta evaluación se limita exclusivamente al control de los errores experimentados por el personal responsable de la operación de la Estación Barrancabermeja. Cabe anotar que en los Estados Unidos, se ha estimado que los errores humanos constituyen el 62% de todos los accidentes que involucran manejo de materiales peligrosos. El principio clave de la evaluación de este índice, es considerar que un pequeño error puede volver al sistema muy vulnerable en caso que se presente una falla en el proceso. Con base en este principio, se debe evaluar el control del potencial de error humano en cada una de las siguientes fases que hacen parte del transporte de gas natural por tubería. En el Cuadro 9 se muestran los elementos o factores que se deben considerar para evaluar el ICO.

Cuadro 9. Atributos y Prevenciones para el cálculo del ICO

FASES DE LA ESTACION	FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL ICC
DISEÑO (0-30 Pts.)	1. Identificación de Peligros asociados con la Estación y su operación	0-4 Pts. P	4%
	2. Potencial para alcanzar la Presión de Operación Máxima	0-12 Pts. P	12%
	3. Sistemas de Seguridad	0-10 Pts. P	10%
	4. Selección del Material	0-2 Pts. P	2%
	5. Verificaciones a la fase de diseño	0-2 Pts. P	2%
CONSTRUCCIÓN (0-20 Pts.)	1. Inspección de todos los aspectos de construcción	0-10 Pts. P	10%
	2. Materiales y componentes del sistema	0-2 Pts. P	2%
	3. Juntas	0-2 Pts. P	2%
	4. Rellenos	0-2 Pts. P	2%
	5. Manejo de Materiales	0-2 Pts. P	2%
	6. Aplicación de Recubrimiento	0-2 Pts. P	2%
OPERACIÓN (0-35 Pts.)	1. Procedimientos	0-7 Pts. P	7%
	2. Comunicaciones / Sistema SCADA	0-5 Pts. P	5%
	3. Chequeos Médicos	0-2 Pts. P	2%
	4. Programas de Seguridad	0-2 Pts. P	2%
	5. Inspecciones	0-2 Pts. P	2%
	6. Entrenamiento al personal de operación	0-10 Pts. P	10%
	7. Prevención con Equipos Mecánicos	0-7 Pts. P	7%
MANTENIMIENTO (0-15 Pts.)	1. Documentación	0-2 Pts. P	2%
	2. Inventarios	0-3 Pts. P	3%
	3. Procedimientos	0-10 Pts. P	10%
TOTAL		0-100 Pts.	100%

Del Cuadro 9 se tiene que:

- **Diseño:** Es la fase más difícil de analizar, debido a que los procesos de planificación y diseño de Estaciones, por lo general, no están bien definidos y documentados. Es por esta razón, que para la evaluación de esta fase se debe evidenciar los errores acontecidos y las acciones preventivas aplicadas durante la misma. Para mayor información sobre el cálculo de esta valoración (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Construcción:** En esta fase el evaluador debe encontrar evidencia de que las etapas fueron seguidas de una manera razonable para garantizar que la sección de la tubería haya sido construida bajo especificaciones de diseño. Esto incluye la verificación de la calidad en la construcción e idealmente otras verificaciones en la fase de diseño. Para mayor información sobre el cálculo de esta valoración (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Operación:** La operación es la fase más crítica en la valoración del error humano. Esta es una fase en la cual un error cualquiera puede ocasionar inmediatamente una falla. Por consiguiente, se debe hacer más énfasis en la prevención del error, que en su detección. En este sentido, se debe evaluar el profesionalismo con que se desarrolla la operación de la Estación, y las aptitudes que tiene el programa de seguridad de Centragas S.C.A., para reducir el riesgo. Para mayor información sobre el cálculo de esta valoración (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).
- **Mantenimiento:** La realización de mantenimientos inapropiados constituye un tipo de error potencial que puede darse en varios niveles durante la operación de la Estación. Al igual que la fase anterior, para su valoración, se debe considerar el profesionalismo, como también, el nivel de entendimiento de las

prácticas o requerimientos de mantenimiento a los equipos y elementos que hacen parte del sistema de transporte de gas natural. Para mayor información sobre el cálculo de esta valoración (Ver Anexo A Guías para la Calificación del Riesgo).

6.4 FACTORES DE IMPACTO PARA LA ESTACION BARRANCABERMEJA

Para la determinación del factor de impacto o consecuencias se consideran las características y condiciones del entorno de la Estación, evaluando para cada sistema o sección la densidad de población, las áreas de alta sensibilidad, las áreas de alto valor (ecológico, comercial y turístico) y los costos que implican las interrupciones en el sistema de transporte de gas natural.

6.4.1 Impacto Sobre la Población (ISP). La densidad de población o la proximidad de la población a la Estación, es la parte más crítica dentro del análisis de consecuencia. La definición de este parámetro se realiza considerando normas desarrolladas por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT, Department Of Transportation, part 192), o la norma técnica colombiana 3278 fundamentada en la norma B 31.8 de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME B31.8, American Society of Mechanical Engineers), las cuales establecen los tipos o clases de localización de población. En términos generales, los tipos de localización (Class Location) que define la norma se muestran a continuación:

- **Clase de Localización 1:** Cualquier sección específica de tubería de 1.6 kilómetros de longitud que contenga en un corredor de 200 metros a cada lado del tubo, diez (10) o menos edificaciones destinadas para ocupación humana.
- **Clase de Localización 2:** Cualquier sección específica de tubería de 1.6 kilómetros de longitud, que contenga en un corredor de 200 metros a cada lado del tubo, entre 11 a 45 edificaciones destinadas para ocupación humana.
- **Clase de Localización 3:** Cualquier sección específica de tubería de 1.6 kilómetros de longitud, que contenga en un corredor de 200 metros a cada lado del tubo, más de 45 edificaciones destinadas para ocupación humana y que no cumpla con las características específicas para la Clase de Localización 4.
- **Clase de Localización 4:** Cualquier sección específica de tubería de 1.6 kilómetros de longitud, que contenga en un corredor de 200 metros a cada lado del tubo, más de 45 edificaciones destinadas para ocupación humana que incluyan áreas donde prevalezcan edificaciones de cuatro o más plantas, se presente un tráfico vehicular denso o pesado y pueda existir desarrollo de servicios públicos domiciliarios que afecten el sistema de tubería de gas.

Teniendo en cuenta esta clasificación, se puede valorar la densidad de población como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Valoración del Impacto sobre la Población

Clase de Localización	Puntaje
Clase de Localización 1	1 Punto
Clase de Localización 2	2 Puntos
Clase de Localización 3	3 Puntos
Clase de Localización 4	4 Puntos

6.4.2 Impacto sobre el Ambiente (ISA). Las áreas de alto valor (ecológico, comercial y turístico) son aquellas que en caso que se presente un escape o fuga de gas, fuego o explosión, producirá costos legales significativos y compensaciones por daños a terceros. Estas áreas pueden ser de valor bastante alto; áreas con estructuras o instalaciones difíciles de remplazar (por ejemplo, hospitales y universidades con equipo especializado), áreas de mucho movimiento económico (por ejemplo, puertos y aeropuertos), áreas históricas (por ejemplo, zonas arqueológicas), áreas donde existen parques nacionales naturales, etc.

El valor de densidad de población obtenido de acuerdo con el tipo de localización (Estudio de Class Location) se debe ajustar sumándole los siguientes puntajes que corresponden a una clasificación de área según el riesgo ambiental:

- **Neutral:** representa una zona sin valor ambiental extraordinario. Es decir, la clasificación neutral indica que no existen condiciones especiales que podrían significar un incremento en las consecuencias de un escape, fuego o explosión. (A esta clasificación se le asigna un Puntaje 0 puntos).
- **Elevada:** Constituye una zona de alta sensibilidad ambiental. Es decir, esta clasificación indica aquellas áreas conformadas por industrias, zonas de alto valor comercial o público, que pueden verse impactadas en caso que ocurra un escape, fuego o explosión. (A esta clasificación se le otorga un Puntaje de 0.1 a 0.6 puntos).
- **Extrema:** representa una zona que tiene una condición de sensibilidad extrema. Es decir, la clasificación extrema indica aquellas áreas conformadas por instalaciones de alto valor que pueden verse afectadas en caso de un escape, fuego o explosión. Esta afectación implica asumir costos de remedio y

restauración altos. (A esta clasificación se le signa un Puntaje de 0.7 a 1 puntos).

6.4.3 Impacto sobre el Negocio (ISN). Este impacto está relacionado con la interrupción del servicio que puede presentarse durante la operación de la Estación Barrancabermeja.

El costo más obvio en la interrupción del servicio es la pérdida de utilidades en el transporte de gas, debido a un corte en la venta del gas. Otros costos incluyen:

- Pérdida de potenciales negociaciones
- Pérdida de participación en mercados competitivos
- Pérdida de sostenimiento para futuros proyectos

El Impacto sobre el Negocio (ISN) viene dado por:

$$ISN = (COSTO TOTAL / UTILIDAD NETA) \times 10$$

Donde: $COSTO TOTAL = COSTOS DIRECTOS + COSTOS INDIRECTOS$
 $UTILIDAD NETA$: Renta mensual para la sección del gasoducto

Como se observa en la anterior fórmula, los costos de interrupción del servicio son agrupados en costos directos y costos indirectos.

- **Costos Directos**

Como guía para el cálculo de los costos directos se puede tomar el Cuadro 11.

Cuadro 11. Hoja de Cálculo de Costos por Interrupción del Servicio - Costos Directos

Costos Directos	\$/Mes
Pérdida de Ventas	A
Valor del gas en la sección	B
Daños que se deben pagar por el contrato	C
Costo de no recibir el gas (interrupción de suministro)	D
Total Costo Directo	\$ (A + B + C + D) / Mes

- **Costos Indirectos**

Impacto sobre grandes consumidores (Costo directo x 2)

Grandes consumidores. Muchos clientes individuales. Numerosos clientes estratégicos (hospitales, escuelas, industrias estratégicas, etc). Es probable que se presenten acciones legales. La competencia se puede beneficiar. Es posible que se presente un alto grado de publicidad desfavorable. También, se pueden presentar impactos o efectos adicionales sobre clientes ubicados aguas abajo del sistema. Altos costos políticos.

- *Neutral (Costo directo x 1)*

La interrupción del servicio no es crítica. El público involucrado puede protestar. Se puede presentar algo de publicidad negativa. Se pueden presentar episodios aislados de acciones legales.

- *Bajo (Costo Directo x 0.5)*

En resumen, los impactos que intervienen en la valoración del riesgo se resumen en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Impactos que intervienen en la valoración del riesgo

IMPACTO	PUNTAJE
Impacto Sobre la Población (ISP)	0 – 4 Pts.
Impacto Sobre el Ambiente (ISA)	0 – 1 Pts.
Impacto Sobre el Negocio (ISN)	0 – 5 Pts.
Suma de Impactos = ISP + ISA + ISN	0 – 10 Pts.

6.5 RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

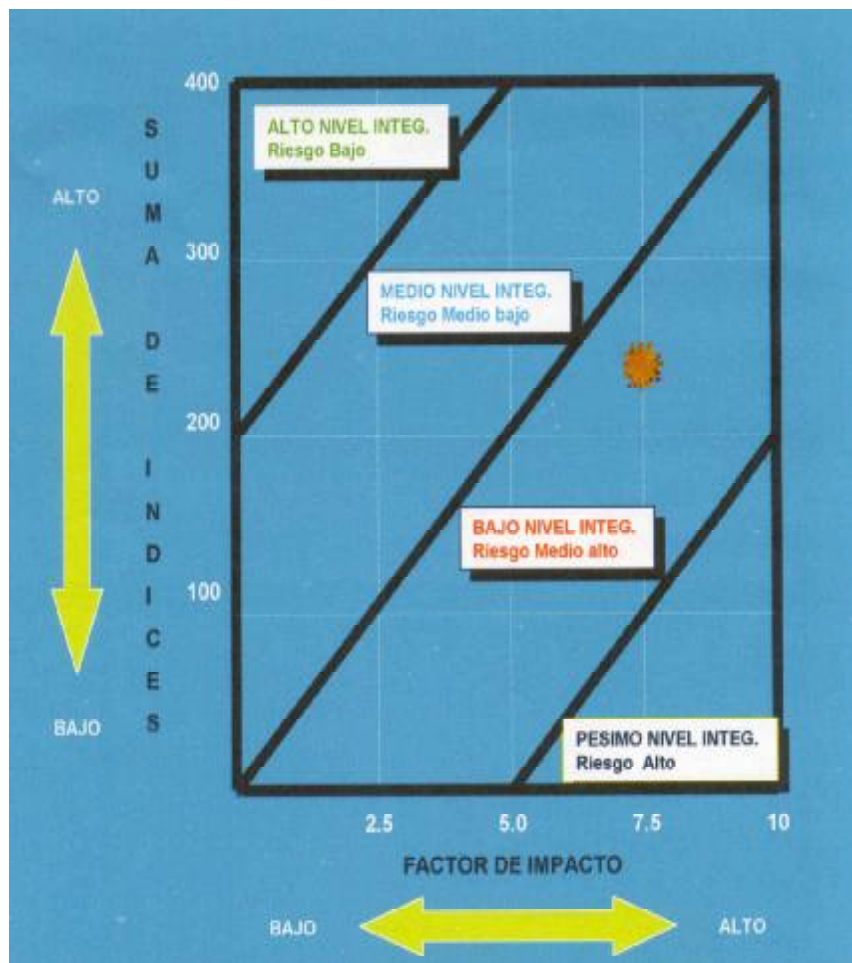
Teniendo en cuenta que el objetivo del modelo es reducir el riesgo en cada sistema o sección de la tubería de la Estación, el valor del riesgo relativo se obtiene al combinar o relacionar el resultado de la Suma de índices con el resultado del Factor de Impacto. Como resultado de esta relación, se obtienen los siguientes criterios de clasificación del Riesgo y de la Integridad en la Estación.

- **Alta Integridad (Bajo Riesgo):** Se consigue la máxima disminución del Riesgo y consecuencias. Excelente calidad en mantenimiento y operación.
- **Media Integridad (Riesgo Medio):** Este nivel está por encima de los estándares. Existe buena calidad en mantenimiento y operación.

- **Baja Integridad:** Se consigue cumplir con estándares mínimos. Regular calidad en operación y mantenimiento.
- **Pésima Integridad (Riesgo Alto):** No hay cumplimiento de los estándares. Muy Baja calidad en el mantenimiento y operación.

En la Figura 5 se observa la clasificación de riesgo relacionado con el factor de impacto.

Figura 5. Clasificación del Riesgo Vs Factor de Impacto.



7. SIMULACIÓN DE UN MODELO DE ANALISIS DE VULNERABILIDAD OPERACIONAL DEL RIESGO E INTEGRIDAD EN LA ESTACIÓN BARRANCABERMEJA

7.1 OBJETIVO Y ALCANCE DE LA SIMULACIÓN

Con el objeto de visualizar mediante un ejemplo práctico las ventajas de la metodología propuesta para la identificación y calificación de los riesgos en un sistema y su impacto en el entorno, se presenta en este capítulo una simulación de la aplicación del modelo de análisis de vulnerabilidad operacional del riesgo en la Estación Barrancabermeja.

El alcance de la simulación será el siguiente:

- La metodología se aplicará en la Estación Barrancabermeja y se realizarán los cálculos de los índices de Riesgo y los Factores de Impacto.
- Se tendrá en cuenta en la simulación los tramos del Gasoducto aguas arriba de la estación Barrancabermeja, con una longitud de 24 kilómetros y un diámetro de 18", incluyendo la Estación Barrancabermeja.
- La información utilizada para la calificación de los riesgos se recolectará a partir de entrevistas con el personal encargado de la Operación y Mantenimiento de la Estación y los registros existentes.
- Para los casos donde no se cuente con la información para la calificación de los riesgos, se asignará la puntuación más rígida de forma que los niveles de Riesgo que se calculen sean más críticos (escenario conservador).

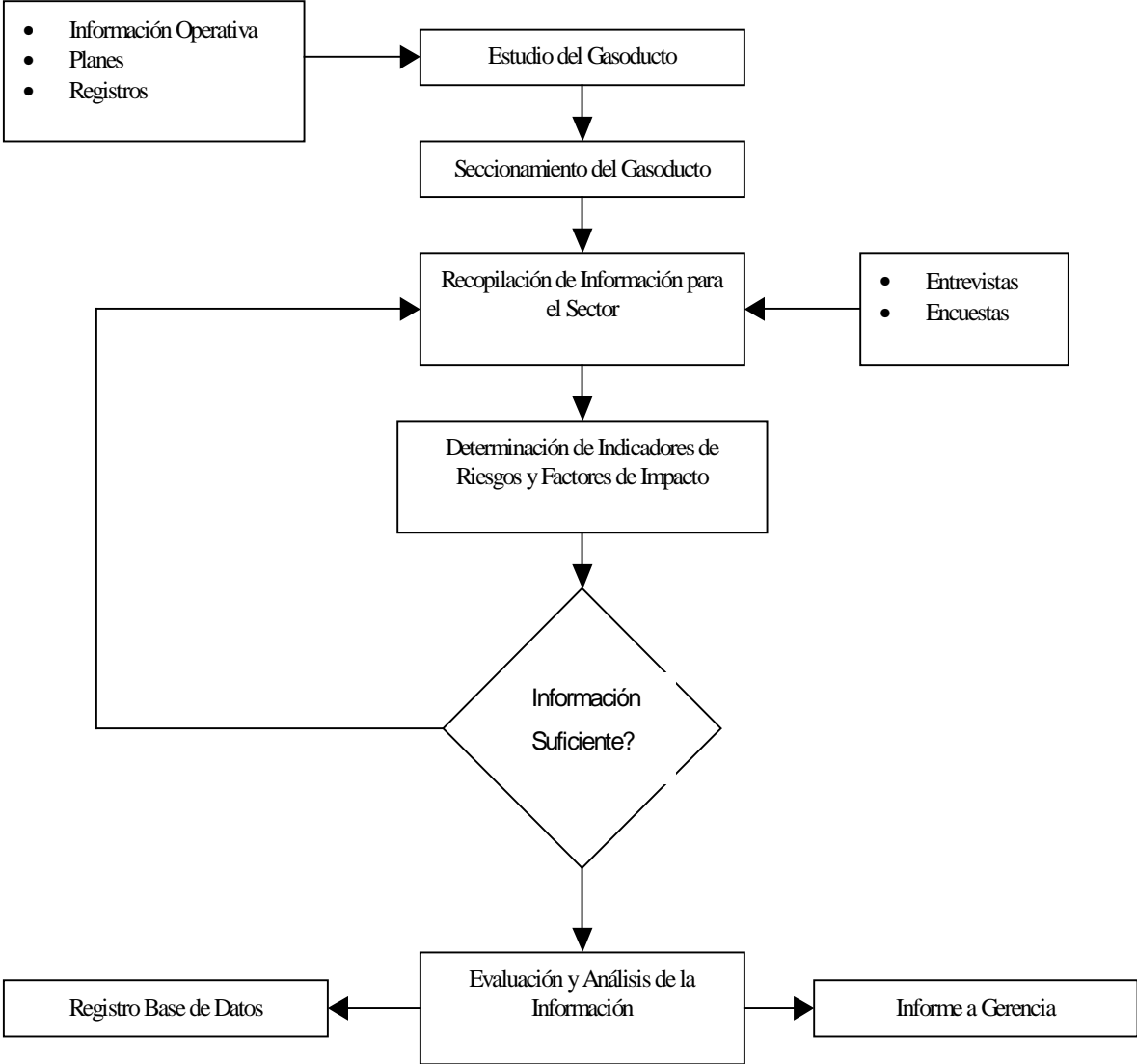
7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SIMULACIÓN

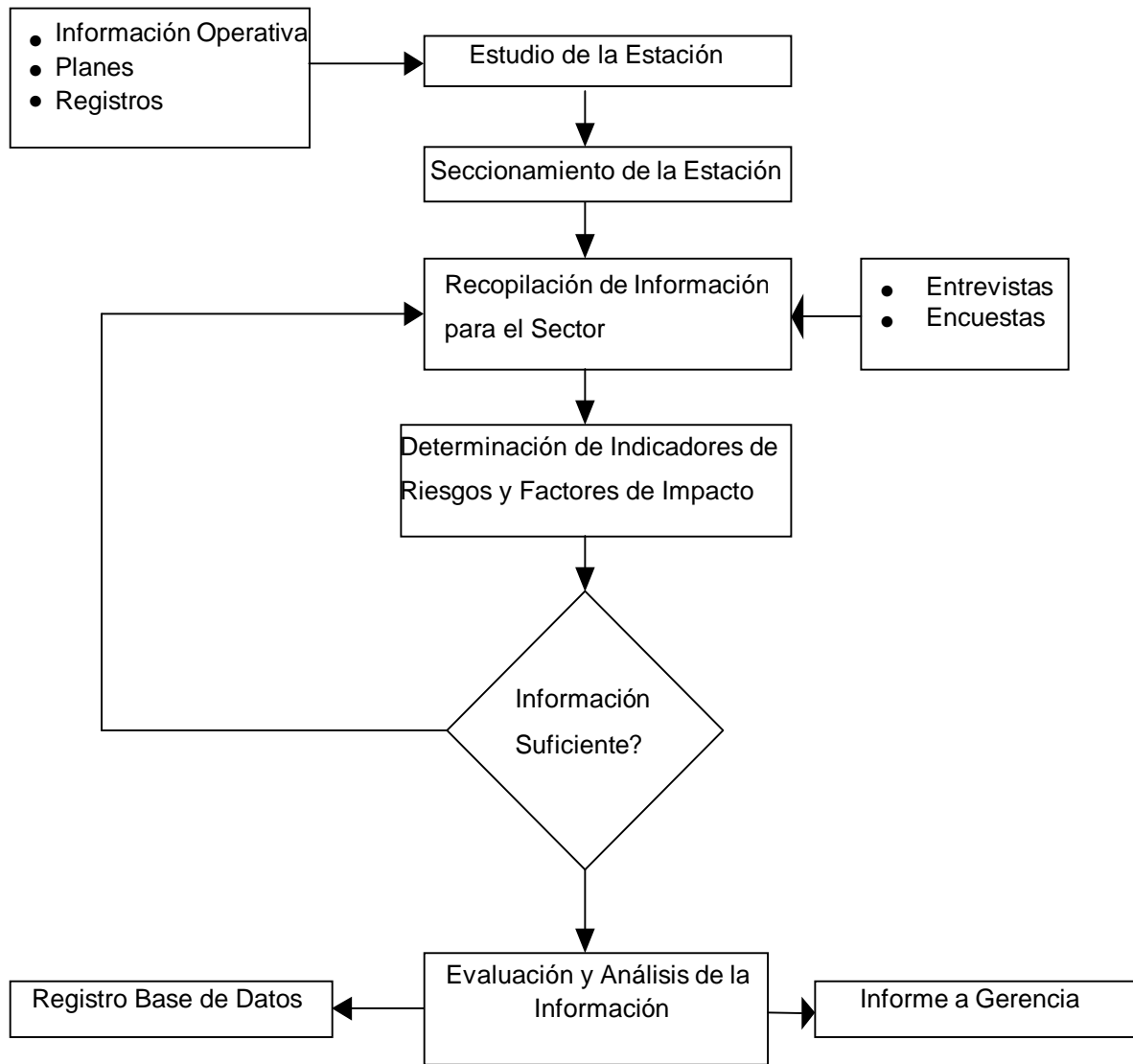
La simulación del modelo de análisis de vulnerabilidad operacional del riesgo en la estación Barrancabermeja se describe en los siguientes pasos:

- Estudio general del sistema, de tal forma que se pueda dividir la Estación en sectores donde se aplicará la metodología.
- Selección del sector a evaluar, del cual se recopilará toda la información necesaria para el cálculo de los indicadores de riesgo y los factores de impacto.
- Evaluación y análisis de los resultados obtenidos, determinación de los puntos débiles y fuertes e identificación de los aspectos por mejorar en el sector.
- Elaboración de informes con los resultados y recomendaciones para la Gerencia.
- Registro en la base de datos con la información del modelo de análisis vulnerabilidad operacional del riesgo de la Estación.

En el siguiente diagrama de flujo (Ver Figura 6), se describen los pasos que se seguirán en la realización de la simulación.

Figura 6. Diagrama de Flujo del Proceso de Simulación.





7.3 INFORMACIÓN RECOLECTADA PARA LA SIMULACIÓN EN LA ESTACION BARRANCABERMEJA

Con el objeto de recopilar la información necesaria para el cálculo de los indicadores de riesgo en la Estación Barrancabermeja se realizaron las siguientes actividades: Entrevista con el personal responsable de la operación y mantenimiento del tramo seleccionado y visualización de los registros existentes.

7.3.1 Índice de daños por terceros (IDT). La información recolectada para el cálculo de este indicador es la siguiente:

- El tramo cuenta con instalaciones superficiales en la Estación Barrancabermeja, sistema de filtración, regulación, separación, medición y la trampa de raspadores de recibo.
- La profundidad a la que se encuentra enterrada la tubería de la Estación es de 1,5 metros medidos desde la parte superior de la tubería.
- El área de influencia donde se encuentra la Estación está clasificado como clase de construcción tipo tres (III), acorde con los resultados de los estudios de clase de construcción o localización realizado por expertos.
- El sistema de recubrimiento de las instalaciones superficiales es multicapa (primer en Zinc, base anticorrosiva en epoxipoliámidas y acabado en esmalte de poliuretano). Este sistema es de alto rendimiento para los ambientes más exigentes.
- La Estación se encuentra señalizada mediante avisos de precaución.

- El derecho de vía del Gasoducto cuenta con postes de señalización y abscisado, diseñados para ser visualizados desde el aire en una visita aérea.
- Los avisos de precaución tienen inscritos los teléfonos del Centro de Control, incluyendo una línea 9800 de llamadas sin costo.
- La Estación Barrancabermeja fue construida a finales del año de 1995, es decir tiene una vida operativa de 9 años.
- En el primer año de operación (1996) se realizó un proceso de divulgación y educación del impacto social del Proyecto con todas las poblaciones del área de influencia del Gasoducto y la Estación (alcaldías, acciones comunales y comités locales para la atención de desastres).
- Anualmente se realizan recorridos del derecho de vía para evaluar su estado, identificar riesgos potenciales y prevenir eventos que puedan ocasionar daños.
- Mensualmente se realizan inspecciones en las Estaciones de recibo y entrega de gas.

7.3.2 Índice de Control de la Corrosión (ICC). La información recolectada para el cálculo de este indicador es la siguiente:

- La tubería fue revestida en fábrica con F.B.E. (Fusion Bonded Epoxi). Este tipo de revestimiento es una resina epóxica de características especiales, diseñadas para tuberías de Gasoductos y Estaciones.
- El gas que se transporta está formado principalmente por metano (98%), que es un gas catalogado como no corrosivo debido a que no contiene azufre.

- El Gasoducto cuenta con un sistema de protección catódica por corriente impresa y la Estación Barrancabermeja está protegida por un sistema de ánodos de sacrificio de alto potencial.
- El sistema de protección catódica y el estado del revestimiento es inspeccionado de acuerdo con un programa de mantenimiento estricto que garantiza su funcionamiento de manera continua y eficiente.
- Trimestralmente se practican estudios de corrosión interna del sistema con el objeto de monitorear su comportamiento.
- El Gasoducto cuenta con una planta deshidratadora de gas en la estación de recibo de Ballena.
- Cada cuatro meses se realiza la limpieza interna de la línea interna mediante raspadores.
- La resistividad del terreno en el tramo de Gasoducto seleccionado oscila en valores de 1.000 y 10.000 ohmios-centímetros.
- El tramo seleccionado no presenta interferencias con otros sistemas de protección catódica, ni con líneas de alta tensión. Sin embargo el tramo se cruza con dos tuberías de terceros y líneas de transmisión de alta tensión A.C.
- La presión de operación en el tramo seleccionado varía en un rango de 900 psig a 1.200 psig como máximo.
- La Máxima de Presión de Operación Admisible (MAPO) del Gasoducto Ballena Barrancabermeja es de 1.250 psig.
- Anualmente se realiza una evaluación de potenciales del sistema de protección catódica poste a poste, cada dos kilómetros.

7.3.3 Índice de Diseño y Materiales (IDM). La información recolectada para el cálculo de este indicador es la siguiente:

- La especificación de la tubería es API 5L grado X-65 con un espesor de 0,344 pulgadas de espesor, 65.000 psi de esfuerzo a la fluencia y 77.000 psi de resistencia a la tracción.
- La presión y el espesor de diseño de la tubería son 1.988 psi y 0,24 pulgadas respectivamente.
- La presión a la que se realizó la prueba hidrostática del Gasoducto fue de 2.100 psi.

7.3.4 Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO). La información recolectada para el cálculo de este indicador es la siguiente:

- La Estación de Barrancabermeja cuenta con los siguientes sistemas de seguridad: válvulas de seguridad, interruptores de presión, discos de ruptura y válvulas de cierre automático por alta presión, velocidad de caída de presión y en caso de emergencias.
- La Operación de la Estación Barrancabermeja es monitoreado en tiempo real a través del sistema Scada en el Centro de Control de la ciudad de Barranquilla, el cual opera las 24 horas del día durante todo el año.
- La construcción del Gasoducto y las Estaciones fue realizada de acuerdo con los más altos estándares de ingeniería de la industria del gas.

- La Organización que opera el Gasoducto y la Estación cuenta con planes de Operación y Mantenimiento estrictos, soportados en la amplia experiencia del personal responsable del negocio. Estos planes de Operación y Mantenimiento están conformados por los diferentes procedimientos y formatos respectivos que representan el Know How de la Compañía.
- El personal que opera el Gasoducto y la Estación se encuentra debidamente entrenado en las diferentes funciones de su cargo, se cuenta con Programas de Seguridad Industrial y Planes de Salud Ocupacional. Así mismo se mantienen los registros debidamente actualizados de las acciones de capacitación y entrenamiento del personal.

7.3.5 Factores de Impactos. La información recolectada para el cálculo de este indicador es la siguiente:

- El área de influencia donde se encuentra el tramo de tubería seleccionado está clasificado como clase de construcción tres (III), por tratarse de una Estación de gas.
- Condiciones ambientales de la región del tramo de tubería seleccionado.
- Para el cálculo del Factor de Impacto se requiere contar con la información financiera de la empresa (costos, utilidades etc.), sin embargo esta información no estaba disponible debido a su carácter confidencial. En este tipo de casos, se selecciona como puntuación para este criterio, el valor que más impacte el cálculo del riesgo.

7.4 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO

En este capítulo se describirá la forma como se calificaron los diferentes indicadores de riesgo y los factores de impacto. Se debe tener en cuenta que el proceso de calificación es subjetivo ya que parte del criterio y experiencia del personal de la organización entrevistado y los conceptos de la persona que esté aplicando el modelo de evaluación de riesgo.

Otro aspecto a tener en cuenta para el mejor entendimiento de la aplicación del modelo es que parte de la información recolectada para el sector en estudio que se encuentra consignada en el ítem 7.2 y sigue la metodología de cálculo descrita en el capítulo 6 ítem 6.2 y las guías que se encuentran en el Anexo A.

7.4.1 Índice de daños por terceros (IDT)

- **Profundidad Mínima de Tubería**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que la mínima profundidad a la que se encuentre la tubería es de 1,5 metros es decir 59 pulgadas y la tubería se encuentra instalada con cinta preventiva de señalización. Con base en estos datos se calcula el puntaje dividiendo la profundidad que es 59 pulgadas y adicionando 6 pulgadas por el hecho de tener cinta preventiva entre 3, obteniendo un valor de 20 puntos de 20 posibles.

- **Nivel de Actividad**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector se encuentra ubicado en clase de construcción tres III (densidad de población clase III), lo que clasifica el sector como área de alto nivel de actividad y se le asigna un valor de 0 puntos de 20 posibles.

- **Instalaciones Superficiales**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector cuenta con instalaciones superficiales en la Estación Barrancabermeja, la trampa de recibo de raspadores y las válvulas de seccionamiento. Todas estas instalaciones se encuentran protegidas por medio de obras civiles, vigilancia privada como es el caso de la estación, con vías de acceso poco transitadas. Por lo tanto se asigna un valor de 7 puntos de 10 posibles.

- **Sistema de Llamada Única**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se recomienda la existencia de un sistema de comunicaciones a nivel nacional debidamente divulgado en el entorno social, de tal forma que cada vez que cualquier tercero tenga planeado realizar una excavación se avise de manera previa a la compañía responsable de la línea. En Colombia este sistema no existe, por lo tanto se debe adaptar este requerimiento a las condiciones existentes. Para la simulación, se tiene la existencia de una línea gratuita 9800 debidamente divulgada a lo largo del Gasoducto y avisos de señalización con este número, de tal forma que cualquier persona puede marcar este teléfono y reportar trabajos de

excavación al centro de control directamente. Por lo tanto se asigna un valor de 14 puntos de 15 posibles.

- **Educación al público**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que en el gasoducto se realizaron programas de divulgación a las poblaciones del área de influencia y a los Contratistas locales, por lo tanto se asigna un valor de 13 puntos de 15 posibles.

- **Condición del derecho de vía**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que el sector en estudio clasifica como un derecho de vía en estado bueno y se le asigna 3 puntos de 5 posibles.

- **Frecuencia de Patrullaje**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que en las frecuencias de patrullaje establecidas para el gasoducto son anuales, por lo tanto este factor tendría un valor de tan solo 2 puntos de 15 posibles.

En el Cuadro 13 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de calificación de este índice.

Cuadro 13. Índice de daños por terceros

FACTOR A CALIFICAR	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
Profundidad Mínima de Tubería	20	20	100%
Nivel de Actividad	20	0	0%
Instalaciones Superficiales	10	7	70%
Sistema de Llamada Única	15	14	93%
Educación al Público	15	13	87%
Condición del Derecho de Vía	5	3	60%
Frecuencia de Patrullaje	15	2	13%
TOTAL	100	59	59%

7.4.2 Índice de Control de la Corrosión (ICC)

- **Características de las Instalaciones superficiales y tipo de atmósfera**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que las instalaciones se encuentran expuestas en un ambiente de alta humedad y temperatura, por lo tanto se asignan 6 puntos por el tipo de atmósfera y 3 puntos a las características de las instalaciones superficiales debido a las interfaces suelo y aire que se encuentran en la estación.

- **Calidad del Recubrimiento e Inspección**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que la tubería de las instalaciones superficiales posee un sistema de recubrimiento tricapa, aplicado por Contratistas calificados y debidamente supervisado, sin embargo se asigna una puntuación de 4 sobre 5

para tener en cuenta los posibles defectos típicos que se presentan en el revestimiento por la construcción.

- **Corrosividad del gas transportado**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el gasoducto transporta un gas natural clasificado como de medianamente corrosivo, por lo tanto se asigna un valor de 3 puntos de 10 posibles.

- **Protección interna de la tubería**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que en el aspecto de corrosión interna se adelantan actividades como monitoreos de corrosión interna, limpieza interna de la línea por raspadores y además se cuenta con una planta de deshidratación de gas en la estación Ballena que remueve el vapor de agua que esté presente en el gas. Todas estas actividades permiten asignar una puntuación de 8 puntos de 10 posibles.

- **Protección Catódica**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector en estudio tiene registros de potenciales que cumplen con los criterios de protección catódica establecidos, por lo tanto este factor tendría un valor de 8 puntos de 8 posibles.

- **Condición del recubrimiento**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que la tubería enterrada se encuentra recubierta con FBE que es un sistema diseñado para sistemas enterrados de última tecnología aplicado en planta con estrictos controles de calidad, por lo tanto se asigna un valor de 10 puntos de 10 posibles.

- **Corrosividad del suelo**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que en el sector en estudio existen registros de resistividades del terreno entre 1000 y 10.000 ohmnios-cm, por lo tanto es clasificado como un terreno de corrosividad media y se le asigna un valor de 2 puntos de 4 posibles.

- **Edad del sistema**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que la tubería tiene un tiempo de servicio de 9 años, por lo tanto se asigna un valor de 2 puntos de 3 posibles.

- **Existencia de otros metales externos**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el gasoducto en este sector cruza con dos líneas de terceros que pueden ocasionar interferencias, por lo tanto se asigna un valor de 2 puntos de 4 posibles.

- **Corriente inducida A.C.**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el gasoducto en este sector se cruza con líneas de alta tensión A.C., por lo tanto se asigna un valor de 2 puntos de 4 posibles.

- **Efectos de corrosión mecánica**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector en estudio maneja presiones de operación entre 900 y 1200 psig, lo que representa valores mayores al 75% de la MAPO. Por otra parte el ambiente es clasificado como tipo 9, por tratarse de un gas y un suelo pocos corrosivos. Con estos valores se entra a la tabla 4 del Anexo A y se obtiene un puntaje de 2 puntos de 5 posibles.

- **Lecturas de potenciales**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que en el gasoducto se realiza la toma de potenciales poste a poste, o sea cada 2 kilómetros, con una frecuencia anual; por lo tanto se asigna un valor de 4 puntos de 6 posibles.

- **Inspección paso a paso**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene en los registros que en el año 2000 se realizó una inspección de potenciales paso a paso, por lo tanto si se aplica la formula de 8 años menos

los años desde la última inspección se obtiene un puntaje de 7 puntos de 8 posibles.

- **Inspección interna**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que en los planes de mantenimiento del gasoducto no se contempla la ejecución de inspección interna de la tubería mediante raspadores inteligentes; por lo tanto se asigna un valor de 0 puntos de 8 posibles. En este factor se debe tener en cuenta que en la normatividad americana es una exigencia realizar esta actividad, mientras que en Colombia no existe este requerimiento. Por esta razón la metodología de cálculo de este factor podría ser modificada y adaptada a las condiciones de las regulaciones locales, sin embargo se decidió aplicar la puntuación bajo el escenario más crítico.

En el Cuadro 14 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de calificación de este índice.

Cuadro 14. Índice de Control de Corrosión

TIPO DE CORROSIÓN	FACTOR A CALIFICAR	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	%CUMPLIMIENTO
CORROSIÓN ATMOSFÉRICA (0-20 Pts.)	1. Características de las Instalaciones Superficiales	5	3	60%
	2. Tipo de Atmósfera	10	6	60%
	3. Calidad del Recubrimiento e Inspección	5	4	80%
CORROSIÓN INTERNA (0-20 Pts.)	1. Corrosividad del Gas Transportado	10	3	70%
	2. Protección Interna de la Tubería	10	8	80%
CORROSIÓN EXTERNA (0-60 Pts.)	1. Protección Catódica	8	8	100%
	2. Condición del Recubrimiento	10	10	100%
	3. Corrosividad del Suelo	4	2	50%
	4. Edad del Sistema	3	2	67%
	5. Existencia de otros Metales Externos	4	2	50%
	6. Corriente Inducida A.C.	4	2	50%
	7. Efectos de la Corrosión Mecánica	5	2	40%
	8. Lecturas de Potenciales	6	4	67%
	9. Inspección Paso a Paso (Close Interval Surveys)	8	7	88%
	10. Inspección Interna	8	0	0%
TOTAL		100	63	63%

7.4.3 Índice de Diseño y Materiales (IDM)

- **Factor de seguridad de la tubería**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se realiza el cálculo del espesor de tubería requerido para las máximas condiciones de operación y para la clase de construcción más exigente y se compara con el espesor actual. El valor que se obtiene para el espesor requerido es de 0.24 pulgadas, el cual se compara con el espesor actual de 0.344 pulgadas y se obtiene un factor de seguridad de 1.43104, lo que representa un puntaje de 12 puntos de 20 posibles.

- **Factor de seguridad del sistema**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se realiza el cálculo de la presión de diseño para el sector en estudio y se compara con la máxima presión de operación admisible (MAPO). El valor que se obtiene para la presión de diseño es de 1.790 psig, el cual se compara con el valor de MAPO 1.250 psig y se obtiene un factor de seguridad de 1.43, lo que representa un puntaje de 12 puntos de 20 posibles.

- **Factor de seguridad de la tubería**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se realiza el cálculo del espesor de tubería requerido para las máximas condiciones de operación y para la clase de construcción más exigente y se compara con el espesor actual. El valor que se obtiene para el espesor requerido es de 0.24 pulgadas, el cual se compara con el espesor actual de 0.344

pulgadas y se obtiene un factor de seguridad de 1.43104, lo que representa un puntaje de 12 puntos de 20 posibles.

- **Fatiga**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que en el sector en estudio se presenta como situación adaptable a condiciones de fatiga, la entrada y salida de la estación compresora de Hatonuevo. Los datos que se tienen son: el gradiente de presión que se genera es de 200 psig, la MAPO es de 1.250 psig y se estima que la Estación entra en servicio 3 veces a la semana lo que significa 780 ciclos en el año. Con esta información se entra en la tabla 8 del Anexo A y se encuentra que este factor tiene un valor de 13 puntos de 15 posibles.

- **Potencial de Onda o Choque**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que para un gasoducto que transporte un fluido como el gas natural es imposible que se presente este tipo de situaciones, por lo tanto se asigna un valor de 10 puntos de 10 posibles.

- **Prueba hidrostática del sistema**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que la presión de prueba hidrostática del sector fue de 2.100 psig, realizada hace 9 años y que la MAPO es de 1.250 psig. Por lo tanto se obtiene un valor de 1.68 para la relación entre la presión de prueba y MAPO, lo

cual permite una puntuación de 15 puntos. A este valor se le suma el hecho de que la prueba se realizó hace 9 años, es decir 4 puntos; para un valor final de 19 puntos de 25 posibles.

- **Movimientos del suelo**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector en estudio está clasificado como de baja probabilidad para la ocurrencia de movimientos en el suelo, por lo tanto se asigna un valor de 6 puntos de 10 posibles.

En el Cuadro 15 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de calificación de este índice.

Cuadro 15. Índice de Diseño y Materiales

FACTOR A CALIFICAR	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
Factor de Seguridad de la Tubería	20	12	60%
Factor de Seguridad del Sistema	20	12	60%
Fatiga	15	13	87%
Potencial de Onda o Choque	10	10	100%
Prueba Hidrostática al Sistema	25	19	76%
Movimientos del Suelo	10	6	60%
TOTAL	100	72	72%

7.4.4 Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO)

- **Identificación de Peligros**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se encuentran registros de análisis de riesgos realizados a la Estación Barrancabermeja, sin embargo se observa que no se han realizados evaluaciones tipo HAZOP; por lo tanto se asigna un valor de 2 puntos de 4 posibles.

- **Potencial para alcanzar MAPO**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa la existencia de 3 niveles de protección contra sobre presiones, lo que clasifica la probabilidad de ocurrencia de esta situación en el sector en estudio o en la estación Barrancabermeja como extremadamente improbable o de remota posibilidad; por lo tanto se asigna un valor de 10 puntos de 12 posibles.

- **Sistemas de Seguridad**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa la existencia de sistemas de seguridad redundantes hasta en tres niveles y un sistema scada para monitorear en tiempo real la operación que incrementa la confiabilidad del sistema; por lo tanto el valor asignado es de 9 puntos de 10 posibles.

- **Selección del Material y Verificaciones Fase Diseño**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que existen los registros de las actividades relacionadas con estos factores, así como procedimientos, formatos y normas para el manejo de la información; por lo tanto se asignan valores de 2 puntos de 2 posibles para cada uno de los factores.

- **Factores relacionados con la Construcción**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que la construcción de la Estación fue realizado por una compañía experta en el campo con los más altos estándares de ingeniería; por lo tanto se asignan las puntuaciones más altas a los diferentes factores de riesgo relacionados con Construcción.

- **Factores relacionados con la Operación**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que la operación de la Estación es realizada por una compañía experta en el campo con los más altos estándares de ingeniería; por lo tanto se asignan las puntuaciones más altas a los diferentes factores de riesgo relacionados con la operación. De los factores calificados se tiene dos excepciones: el sistema scada al cual se le asigna un valor de 4 puntos de 5 posibles debido a que es un sistema que no ejerce acción de control sobre los equipos que monitorea y las inspecciones donde se asigna un valor de 1 punto de 2 posibles debido a que no se realizan inspecciones internas de la línea con herramientas inteligentes.

- **Factores relacionados con el Mantenimiento**

De acuerdo con lo establecido en el Anexo A y a la información recolectada para este índice, se observa que el mantenimiento de la estación es realizado por una compañía experta en el campo con los más altos estándares de ingeniería; por lo tanto se asignan las puntuaciones más altas a los diferentes factores de riesgo relacionados con el mantenimiento.

En el Cuadro 16 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de calificación de este índice.

Cuadro 16. Índice de Control de Operaciones Incorrectas

FASES DE LA ESTACION	FACTOR A CALIFICAR	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
DISEÑO (0-30 Pts.)	1. Identificación de Peligros asociados con la Estación y su operación	4	2	50%
	2. Potencial para alcanzar la Presión de Operación Máxima	12	10	83%
	3. Sistemas de Seguridad	10	9	90%
	4. Selección del Material	2	2	100%
	5. Verificaciones a la fase de diseño	2	2	100%
SUBTOTAL DISEÑO		30	25	83%
CONSTRUCCIÓN (0-20 Pts.)	1. Inspección de todos los aspectos de construcción	10	10	100%
	2. Materiales y componentes del sistema	2	2	100%
	3. Juntas	2	2	100%
	4. Rellenos	2	2	100%
	5. Manejo de Materiales	2	2	100%
	6. Aplicación de Recubrimiento	2	2	100%
SUBTOTAL CONSTRUCCIÓN		20	20	100%
OPERACIÓN (0-35 Pts.)	1. Procedimientos	7	7	100%
	2. Comunicaciones Sistema SCADA	5	4	80%

FASES DE LA ESTACION	FACTOR A CALIFICAR	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
	3. Chequeos Médicos	2	2	100%
	4. Programas de Seguridad	2	2	100%
	5. Inspecciones	2	1	50%
	6. Entrenamiento al personal de operación	10	10	100%
	7. Prevención con Equipos Mecánicos	7	2	29%
SUBTOTAL OPERACIÓN		35	28	80%
MANTENIMIENTO (0-15 Pts.)	1. Documentación	2	2	100%
	2. Inventarios	3	3	100%
	3. Procedimientos	10	10	100%
SUBTOTAL MANTENIMIENTO		15	15	100%
TOTAL		100	88	88%

7.4.5 Factores de Impacto.

- **Impacto sobre la Población (ISP)**

De acuerdo con lo establecido en el capítulo 6 y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector en estudio tendría poco impacto sobre la población cercana a la estación en caso de rotura debido a la mínima densidad poblacional en los alrededores, sin embargo por tratarse de una estación de recibo y entrega de gas con personal laborando en tareas de operación y mantenimiento que clasifican la estación como una clase de localización tipo tres III, se asigna 2 punto de acuerdo con el cuadro 11.

- **Impacto sobre el Ambiente (ISA)**

De acuerdo con lo establecido en el capítulo 6 y a la información recolectada para este índice, se tiene que el sector en estudio tendría poco impacto sobre el medio ambiente en caso de rotura por tratarse de una zona despoblada, sin embargo se

debe calificar el daño que causaría sobre la capa de ozono el drenaje del gas a la atmósfera contribuyendo al calentamiento global; por lo tanto el valor asignado es de 0.2 puntos de un valor máximo de impacto de 1.

- **Impacto sobre el Negocio (ISN)**

Para el cálculo de este factor no se contó con la disponibilidad de la información financiera por su carácter confidencial. Sin embargo se calificó el factor teniendo en cuenta que en el evento de presentarse una rotura de la tubería de la estación, el impacto sobre los ingresos de la compañía serían directos, debido a que éstos están basados en la disponibilidad de la Estación para la prestación sin interrupciones del servicio de transporte de gas natural. Con base en lo anterior se asignó el máximo puntaje de impacto, 5 puntos.

En el Cuadro 17 se presentan los resultados obtenidos en el proceso de calificación de este índice.

Cuadro 17. Factores de Impacto

IMPACTO A CALIFICAR	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
Impacto sobre la Población (ISP)	4	2	50%
Impacto sobre el Ambiente (ISA)	1	0.2	20%
Impacto sobre el Negocio (ISN)	5	5	100%
TOTAL	10	6.2	62%

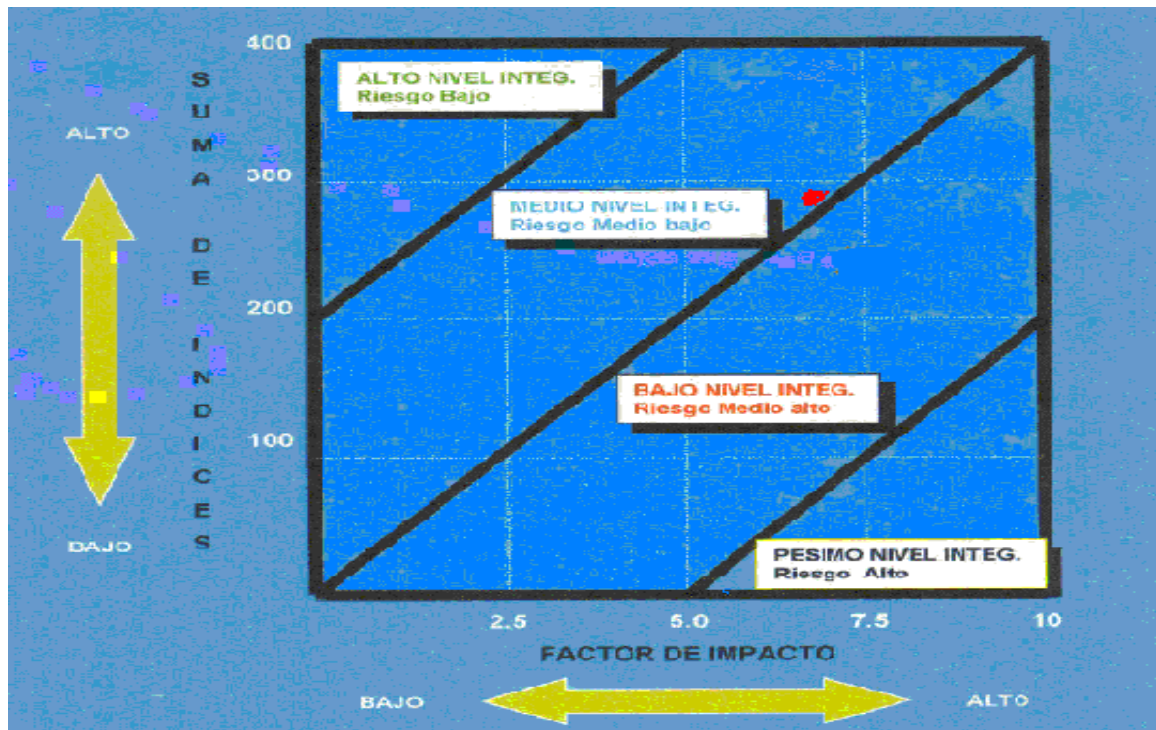
7.4.6 Cuadro Resumen de los Resultados. En el Cuadro 18 se presentan el resumen de los resultados obtenidos en los cálculos de los Índices de Riesgo e Integridad y de los Factores de Impacto para el sector seleccionado de la Estación Barrancabermeja.

Cuadro 18. Resumen Indicadores de Riesgo e Integridad y Factores de Impacto

INDICES DE RIESGO E INTEGRIDAD	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
Índice de daños por terceros (IDT)	100	59	59%
Índice de Control de Corrosión (ICC)	100	63	63%
Índice de diseño y materiales (IDM)	100	78	78%
Índice de operaciones incorrectas (ICO)	100	88	88%
TOTAL	400	288	72%
FACTORES DE IMPACTO	VALOR MÁXIMO	PUNTUACIÓN	% CUMPLIMIENTO
Impacto sobre la Población (ISP)	4	2	25%
Impacto sobre el Ambiente (ISA)	1	0,2	20%
Impacto sobre el Negocio (ISN)	5	5	100%
TOTAL	10	7,2	72%

Teniendo en cuenta estos resultados, se procede a relacionar la suma de los índices de riesgo e integridad con el resultado de los factores de impacto de acuerdo con lo descrito en el numeral 6.5, y se obtiene la siguiente gráfica (Ver Figura 7).

Figura 7. Resultado de la Simulación



El resultado expresado en la anterior figura es una clasificación del riesgo e integridad de la Estación en estudio, cuyo resultado cae en la zona de medio nivel de integridad y riesgo medio bajo.

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

8.1 GENERALIDADES

El análisis de toda la información recolectada y cuantificada mediante indicadores se puede realizar partiendo de los resultados generales obtenidos para cada índice y factor desde un punto de vista global. Posteriormente se procede a evaluar los índices del segundo nivel de forma detallada para identificar los aspectos que impacten positivamente o negativamente el cálculo de cada índice y factor.

Se debe tener en cuenta que se tienen los resultados de las calificaciones de los índices de Riesgo e Integridad y Factores de Impacto para la estación de recibo y entrega de gas de Barrancabermeja, la cual forma parte del Gasoducto Ballena-Barrancabermeja. Por lo tanto, los resultados a pesar de ser representativos del la Estación, requiere de los cálculos de los índices para los otros sectores del Gasoducto, de forma que se valide la información y se puedan generar recomendaciones confiables e integrales para el Gasoducto como sistema.

Otro aspecto importante es que el análisis de los resultados depende del criterio y experiencia de la persona o equipo de trabajo que pretenda aplicar el Modelo, por ende los resultados no están libres de opiniones subjetivas.

Aunque algunos modelos reducen la subjetividad, ésta no puede ser reducida a cero. Esto se debe a que la probabilidad y severidad de los Riesgos dependen de

la percepción de los ejecutivos de la Compañía Operadora y la disponibilidad de la información.¹

8.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base en la información presentada en el Cuadro 18 y después de comparar las puntuaciones obtenidas por los índices y factores con los máximos valores posibles, se tiene:

El resultado con menor puntuación es el índice de daños por terceros (IDT) con un porcentaje de cumplimiento del 59%.

El resultado con mayor puntuación es el índice de operaciones incorrectas (ICO) con un porcentaje de cumplimiento del 88%.

La puntuación total de los índices es de 288 sobre 400, lo que representa un porcentaje de cumplimiento del 72%.

El índice de control de corrosión (ICC) obtuvo una puntuación de 63%, mientras que el índice de diseño y materiales una puntuación de 78%.

Evaluando índice por índice, se observa que los índices de daños por terceros y de control de corrosión presentan valores cercanos al 60% en cumplimiento, lo que representa un nivel medio de cumplimiento que si bien es cierto es aceptable, requieren una revisión en detalle para identificar las causas de estos valores y

¹DEY, P. K., and GUPTA, S.S. PIPE LINE & GAS INDUSTRY. Analytical Hierarchy Process Boots Risk Analysis Objectivity. September 2000. 69 p.

plantear las actividades que incrementen la integridad en el sistema y por ende los indicadores.

En el caso de los índices de diseño y materiales y de operaciones incorrectas, se observa que presentan valores entre el 80 y 90% de cumplimiento, lo que indica un buen nivel de cumplimiento con oportunidades de mejora.

La sumatoria de los índices (288/400) como se observa en la Figura 7, permite clasificar el nivel de Riesgo e Integridad del sector en estudio como Medio. Esto significa que el Sistema fue construido y está siendo operado bajo estándares superiores a los establecidos por las Normas y Códigos Internacionales de la industria de Gas.

En cuanto a los Factores de Impacto, se evidencia la falta de información financiera para evaluar el impacto sobre el negocio. Sin embargo es de esperar que cualquier evento que atente contra la integridad de la instalación, repercuta de forma directa sobre el negocio. De hecho, en la industria del gas, los ingresos para este tipo de Proyectos dependen generalmente de la continuidad en la prestación de un servicio y/o la disponibilidad de una instalación. Otro aspecto importante son los efectos secuenciales o en cadena que se generan en otros Sistemas lo que convierte aún en más crítico el factor de impacto sobre el negocio.

Los Factores de Impacto para la población y el ambiente que se calcularon arrojaron valores que indican que la Estación Barrancabermeja se encuentra en una zona donde la densidad poblacional en el corredor de influencia es mínima pero se considera su impacto medio debido a que se cuenta con personal de operación y mantenimiento en la estación. En el aspecto del medio ambiente no reviste gran importancia por tratarse de una zona de poca vegetación por ser un sector industrial.

8.3 RECOMENDACIONES

Después de analizar los diferentes índices de riesgo e integridad y los factores de impacto se logró identificar los puntos vulnerables del sistema, los aspectos susceptibles de mejora y con base en estos y en la experticia del operador se establecen las acciones necesarias para minimizar los riesgos e incrementar la seguridad en el Sistema.

En ese orden de ideas y tomando como punto de vista los resultados de la simulación se plantean las siguientes recomendaciones:

- Aplicar el Modelo de vulnerabilidad operacional de riesgos e integridad a los demás sectores del Gasoducto Ballena – Barrancabermeja, de tal forma que se puedan comparar los índices y factores que se calculen entre los diferentes sectores. Esto permitiría identificar los puntos críticos del Sistema donde se deben orientar los recursos. También se podrían establecer las fortalezas y debilidades de la Organización.
- Investigar acerca de la existencia de Indicadores de riesgo e integridad en otras Estaciones y Gasoductos a nivel mundial de forma que se tenga un parámetro de comparación internacional.
- Implementar un plan estratégico para el desarrollo del modelo propuesto en CENTRAGAS S.C.A, acorde con los lineamientos establecidos en este documento.
- Se deben implementar actividades de divulgación permanentes en las comunidades y autoridades civiles del sector de influencia de la estación y el Gasoducto, de forma que la gente conozca la información básica sobre el

Sistema, tenga conciencia del beneficio que representa para el País el Proyecto e inclusive sea capaz de avisar a la Compañía Operadora sobre cualquier evento que represente un riesgo para la Estación.

- Se debe reforzar el sistema de información de emergencias para la Estación y el Gasoducto, ya sea por medio de publicidad en medios de comunicación masivos dirigidos a las comunidades del área de influencia o por medio de campañas educativas población por población.
- En las actividades de Control de Corrosión se debe revisar las tareas relacionadas con la evaluación de Interferencias con otras estructuras, estudios de la corrosividad del suelo e influencia de líneas de alta tensión. La idea es implementar la ejecución de estas actividades de acuerdo con las Normas Internacionales.
- El aspecto relacionado con la inspección interna de la tubería evidencia la falta de su ejecución. Sin embargo, la recomendación de esta actividad no sería coherente con los recursos económicos que se asignan para la operación y mantenimiento de estos Sistemas. Un aporte importante de este aspecto es que le advierte a la Organización que el estado interno de la tubería se evalúa de forma indirecta a través de estudios y no por técnicas directas como las solicitadas por el Modelo.

9. CONCLUSIONES

El Modelo de análisis de vulnerabilidad operacional del riesgo e integridad en la Estación Barrancabermeja es una herramienta poderosa que permite a la alta gerencia de una Organización, de una forma práctica y coherente, cuantificar y calificar los riesgos del Sistema.

El modelo presenta un balance de los aspectos en los que la Organización es fuerte y en los aspectos en los que se evidencian oportunidades de mejora, es decir es una metodología que determina las fortalezas y debilidades de un Sistema.

La confiabilidad del Modelo depende principalmente de la calidad de la información con que se cuente y del criterio y experiencia del Operador de la Estación. Cuando se habla de criterio, se relaciona con los conceptos y juicios del Operador, no se trata de asignar calificaciones y recolectar información para conseguir que un cálculo arroje un número por encima de determinado valor. Se trata de implementar acciones eficaces y eficientes que garanticen la seguridad del Sistema y minimicen los riesgos, se trata de orientar los recursos de la Organización a los puntos y variables más críticos del Sistema donde en verdad se necesitan y en donde en verdad representan un beneficio para los Accionistas de la empresa, se trata de maximizar las utilidades del Negocio al hacer más fuerte la Organización y más confiable el Sistema.

Por otra parte, es de vital importancia para la confiabilidad del modelo, la participación de un grupo interdisciplinario de la Organización en el proceso de

implementación, de tal forma que la matriz de indicadores de riesgos e integridad y los factores de impacto con sus respectivas ponderaciones reflejen la verdadera realidad operativa de la Estación y su entorno.

Con la implementación de un modelo de análisis de vulnerabilidad operacional de riesgo e integridad en la Estación Barrancabermeja, se consigue disminuir considerablemente la incertidumbre operacional, se concientiza a la Organización sobre sus fortalezas y debilidades y se convierte en un ejemplo sobre las buenas prácticas de ingeniería que debería realizar un operador de Estaciones y Gasoductos razonablemente prudente.

La flexibilidad del Modelo permite a cualquier Organización adaptar la metodología propuesta a las condiciones típicas del Sistema, inclusive se pueden adicionar otros factores de impacto para evaluar su interrelación con los índices de riesgo e integridad. De igual forma se cuenta con un sistema de ponderación modificable al criterio y experiencia del operador de la Estación y del Gasoducto.

Por último es importante señalar que el Postgrado en especialización de Ingeniería de Gas cumplió con sus objetivos, en la medida que brindó las herramientas y bases conceptuales a los estudiantes, en las diferentes disciplinas y tecnologías relacionadas con la especialización en la Industria. A partir de este punto, es responsabilidad profesional y personal de cada uno de los integrantes del Postgrado la puesta en práctica de los conocimientos y experiencias adquiridos de tal forma que se genere un proceso de mejoramiento en las actividades que se realicen en el ámbito laboral y por qué no, en el entorno social.

BIBLIOGRAFÍA

AUSTRALIA. AUSTRALIAN / NEW ZEALAND STANDARD. AS / NZS 4360 (1999): Risk Management. Sydney: Standards Association of Australia, 1999.

DEY, P.K. Analytical Hierarchy Process Boosts Risk Analysis Objectivity. En: Pipeline & Gas Industry. Houston: Gulf Publishing Company, 2000. 83 v. No. 9. 69-72 p.

ESTADOS UNIDOS. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Code of Federal Regulations, Parts 186 to 189. Washington: National Archives and Records Administration, 1997.

ESTADOS UNIDOS. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME B31.8: Gas Transmission and Distribution Piping Systems. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 1995.

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario I: La Investigación Científica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1998.

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Seminario IV: Evaluación de la Investigación. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1998.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio – Tesis y otros Trabajos de Grado. 4 ed. Santa fe de Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1996.

MUHLBAHUER, W. Kent. Pipeline Risk Management Manual: A Tested and Proven System to Prevent Loss and Assess Risk. 2 ed. Houston: Gulf Publishing Company, 1996.

Anexo A. Guías para la calificación del riesgo

1. Cálculo del Índice de Prevención de Daños por Terceros (IPT)

Para evaluar este índice, se debe considerar los siguientes elementos o factores con su respectiva puntaje:

A. Profundidad Mínima de Cubierta - Peso Sugerido: 20% por Atributo

Para la evaluación de este atributo o característica se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Puntaje} = \text{Profundidad de Cubierta en pulgadas} \times 3 \quad (\text{máximo 20 puntos})$$

La evaluación se debe hacer en aquellos sitios de menor profundidad y se debe mantener actualizada.

En la evaluación se debe tener en cuenta que los mayores puntajes indican la condición más segura.

Cabe anotar que el D.O.T. (U.S. Department Of Transportation) recomienda una profundidad de cubierta de por lo menos 3 pies.

Existen casos en los cuales la tubería tiene otros sistemas de protección, para la evaluación de estos se debe utilizar la siguiente analogía:

- Ø 2 pulgadas de recubrimiento en concreto = 8 pulgadas de cubierta de tierra adicional

- Ø 4 pulgadas de recubrimiento en concreto = 12 pulgadas de cubierta de tierra adicional
- Ø Tubería encamisada = 24 pulgadas de cubierta adicional
- Ø Loza de concreto (reforzada) = 24 pulgadas de cubierta adicional

En algunas secciones o segmentos de la línea, sobre la tubería se colocan con el material de relleno de las zanjas unas señales de protección física, las cuales se pueden evaluar de la siguiente manera:

Cinta de precaución = 6 pulgada de cubierta de tierra adicional

En el caso de las tuberías sumergidas tiene el siguiente puntaje:

- | | |
|---|-------|
| Ø Profundidad por debajo de la superficie del agua 0-5 pies | 0 pts |
| Ø 5 pies de profundidad de anclaje máximo | 3 pts |
| Ø > Profundidad de anclaje máximo | 7 pts |

Estos puntajes se adicionan a:

- | | |
|--|--------|
| Ø Profundidad por debajo del lecho del cuerpo de agua 0-2 pies | 0 pts |
| Ø 2-3 pies | 3 pts |
| Ø 3-5 pies | 5 pts |
| Ø 5 pies - máxima profundidad de dragado | 7 pts |
| Ø > máxima profundidad de dragado | 10 pts |

Para tubería lastradas en concreto (adicionando puntaje de tuberías sumergida y enterrada)

- | | |
|--------------------|-------|
| Ø Ninguno | 0 pts |
| Ø Mínima 1 pulgada | 5 pts |

B. NIVEL DE ACTIVIDAD - PESO SUGERIDO: 20% POR ATRIBUTO

Estadísticas del DOT muestran que para el periodo de 1984-1987, el 35% de excavaciones generaron accidentes de consideración en áreas de clase 1 y 2.

Para evaluar este atributo, se consideran los siguientes criterios:

Área de Alto Nivel de Actividad **0**

pts

Esta área se caracteriza porque aparece una o más de las siguientes condiciones:

- ü Densidad de población clase 3 (> 46 Viviendas, es decir, 2500 personas / Km²)
- ü Alta densidad de población
- ü Actividades frecuentes de construcción
- ü Alto volumen de llamadas únicas o reportes de reconocimiento (>2 por semana)
- ü Tráfico vehicular o de trenes
- ü Otro tipo de servicios públicos existentes en el área
- ü Daño frecuente por parte de especies salvajes
- ü Área normal de anclajes en zonas costeras
- ü Operaciones normales de dragado cerca a la línea en regiones costeras

Área de nivel medio de actividad **8 pts**

Esta área se caracteriza porque presenta una o más de las siguientes condiciones:

- ü Densidad de población clase 2 (> 10 pero < 46 Viviendas, es decir, 262 personas / Km^2)
- ü Baja población en la cercanía a la línea
- ü No se presentan actividades de construcción que ofrezcan peligro
- ü Pocas llamadas únicas o informes de reconocimiento (> 5 por mes)
- ü Pocas redes de servicio público instaladas en la cercanía
- ü Ocasionales daños por especies salvajes

Área de bajo nivel de actividad

15 pts

Esta área se caracteriza porque presenta una o más de las siguientes condiciones:

- ü Densidad de población clase 1 (< 10 Viviendas, es decir, 47 personas / Km^2)
- ü Baja densidad de población (Zonas Rurales)
- ü Área virtualmente sin reporte de actividades (> 10 por año)
- ü No se presentan actividades dañinas en el área (por ejemplo, agropecuarias)

Área en donde no hay Ningún tipo de excavación o actividad peligrosa **20 pts**

C. Instalaciones Superficiales - Peso Sugerido: 10% por Atributo

Con relación a este atributo se debe conceder el máximo puntaje a las secciones que no tienen instalaciones sobre la superficie y un puntaje mínimo para las

secciones en donde se encuentran instalaciones que representan un potencial daño para el sistema.

Para la evaluación de este atributo se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Ø No hay instalaciones en la superficie 10 pts
- Ø Instalaciones en la superficie 0 pts

El puntaje obtenido se le adiciona los siguientes, siempre que existan las siguientes condiciones:

- Ø Instalaciones a más de 200 pies de carreteras transitadas 5 pts
- Ø Áreas rodeadas por cercado eslabonado de 6 pies 2 pts
- Ø Rieles de protección (Tubos de acero de 4 pulgadas o mayor) 3 pts
- Ø Árboles (12 pulgadas diámetro), paredes , etc., que separan las estaciones de las carreteras 4 pts
- Ø Diques (mínimo 4 pies profundidad / ancho) que separen las estaciones de las carreteras 3 pts
- Ø Señales (de precaución: No pase, Peligro, etc.) 1 pts

D. SISTEMAS DE UNA LLAMADA - PESO SUGERIDO: 15% POR PREVENCIÓN

Es un servicio en donde se recibe notificaciones de actividades de excavaciones próximas a la línea y a través del cual se les puede informar a los responsables de las excavaciones sobre los efectos potenciales que puede generar un evento de rotura del gasoducto.

Este servicio se utiliza mucho en los sistemas de transporte de gas en los Estados Unidos. Para la evaluación de esta acción de prevención se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- | | |
|---|-------|
| Ø Ordenados por Ley | 4 pts |
| Ø Registros de eficiencia y confiabilidad comprobados | 2 pts |
| Ø Excelente divulgación y conocidos por la comunidad | 2 pts |
| Ø Cumple con estándares de la ULCCA | 2 pts |
| Ø Reacción apropiada a llamadas | 5 pts |

E. PROGRAMA DE EDUCACIÓN AL PÚBLICO - PESO SUGERIDO: 15%

Se cree que la mayoría de daños provocados por terceros no son intencionales y son debidos por la ignorancia, es decir el desconocimiento que se tiene sobre la ubicación de la tubería de la Estación o del gasoducto.

Para la evaluación del programa se debe considerar los siguientes criterios:

- | | |
|--|-------|
| Ø Información por correo | 2 pts |
| Ø Reuniones una vez al año con funcionarios públicos | 2 pts |
| Ø Reuniones una vez al año contratistas/excavadores | 2 pts |
| Ø Programas regulares de educación a grupos comunitarios | 2 pts |
| Ø Contacto puerta a puerta con residentes adyacentes | 4 pts |
| Ø Correo directo a contratistas/excavadores | 2 pts |
| Ø Publicidad una vez al año en publicaciones de contratistas/excavadores | 1 pts |

F. CONDICIÓN DEL DERECHO DE VÍA - PESO SUGERIDO: 5% POR PREVENCIÓN

Esta acción de prevención es una medida de forma que el derecho de vía del tramo de tubería de la Estación o sección del gasoducto se puede reconocer o inspeccionar

Para la evaluación de esta variable se deben considerar los siguientes criterios:

Excelente 5 pts

En este caso el derecho de vía cercano a la Estación es claro, sin obstáculos. Se tienen todas las señales y demarcación. Las señales y marcas son visibles en cualquier punto del derecho de vía.

Bueno 3 pts

En este caso, existen rutas claras (no existe obstrucción de la visibilidad del derecho de vía cercano a la Estación en niveles altos y bajos). Las señales y marcas son visibles, bien demarcado pero las marcas no son visibles desde cualquier punto del derecho de vía.

Promedio 2 pts

El derecho de vía cercano a la Estación no está libre de manera uniforme. Se necesitan más marcas o avisos para mejorar la identificación de carreteras, cruces de agua, cruce de vías férreas.

Por debajo del promedio 1 pts

El derecho de vía cercano a la Estación está cubierto por vegetación en algunos lugares. El suelo no es visible desde el aire o no se aprecia con claridad desde el

suelo. Además, no se puede distinguir en algunos lugares. Presenta mala demarcación.

Pobre **0 pts**

El derecho de vía cercano a la Estación no se distingue, no hay visibilidad y no hay demarcación.

G. FRECUENCIA DEL PATRULLAJE - PESO SUGERIDO: 15% POR PREVENCIÓN

Es un método efectivo para disminuir la intromisión de terceros al sistema de transporte.

Para la evaluación de esta acción de prevención se debe tener en cuenta la frecuencia y efectividad con que se realiza el patrullaje, para ello se le debe asignar los siguientes puntajes:

Ø Diariamente	15 pts
Ø 4 días a la semana	12 pts
Ø 3 días a la semana	10 pts
Ø 2 días a la semana	8 pts
Ø Una vez a la semana	6 pts
Ø Menos de 4 veces/mes; más de una vez /mes	4 pts
Ø Menos de una vez/mes	2 pts
Ø Nunca	0 pts

En resumen, las condiciones, pesos y puntajes que intervienen en la valoración de este índice se muestran a continuación:

Tabla 1. Atributos y Prevenciones para el cálculo del IPT

FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL IPT
A. Profundidad Mínima de Tubería	0-20 pts A	20%
B. Nivel de Actividad	0-20 pts A	20%
C. Instalaciones Superficiales	0-10 pts A	10%
D. Sistema de Llamada Única	0-15 pts P	15%
E. Educación al Público	0-15 pts P	15%
F. Condición del Derecho de Vía	0-5 pts P	5%
G. Frecuencia de Patrullaje	0-15 pts P	15%
TOTAL	0-100 pts	100%

2. Índice de Control de Corrosión (ICC)

A. Corrosión Atmosférica

Los factores o elementos que influyen en la evaluación del potencial de corrosión atmosférica, se describen a continuación:

A.1. Instalaciones - Peso Sugerido: 25% (0 - 5 puntos Atributo)

Interfase aire / agua: La tubería se expone de manera alterna al agua y al aire. El mecanismo que actúa es el de celda de concentración de oxígeno. En esta interfase, diferencias en la concentración de oxígeno establecen regiones anódicas y catódicas en el metal. (A esta condición se le asigna un Puntaje de cero (0) puntos)

Camisas: Puede existir un contacto directo metálico o a través de una conexión a resistencias más grandes como el agua. En estos casos es imposible controlar la dirección de reacción electroquímica. Por lo tanto, la tubería de conducción convierte en ánodo a la camisa (A esta condición se le sugiere un Puntaje de un (1) punto)

Aislamiento: Las tuberías al aire libre, atrapan humedad que se deposita en la superficie de tubería, en donde el oxígeno suministrado en el agua puede aumentar la corrosión. Cabe anotar que este tipo de corrosión no es directamente observable, por lo tanto, potencialmente es más dañina (A esta condición se le asigna un Puntaje de dos (2) puntos)

Soportes / colgaderos: Estos elementos atrapan humedad en la pared del tubo. Por lo tanto, estimulan mecanismos de pérdida de recubrimiento y pintura cuando se expanden o se contraen. En estos elementos, es posible los daños por corrosión mecánica (Esta condición recibe un Puntaje de dos (2) puntos)

Interfase suelo / aire: Se Pueden presentar puntos de corrosión agresivos cuando la tubería entra y sale del suelo, debido a la potencialidad que tienen estos lugares para atrapar humedad, debido a que se origina una interfase agua / aire (A esta condición se le asigna un puntaje de tres (3) puntos)

Otras exposiciones: Aplica para tuberías plásticas y es cuando se afecta por agua, aire, contactos con químicos y se expone a la luz solar (Esta condición recibe un Puntaje de cuatro (4) puntos)

Ninguno: Cuando no existe potencial de corrosión atmosférica (A esta condición se le asigna un Puntaje de cinco (5) puntos)

Condición múltiple: En aquellas secciones de tubería en donde una condición de las analizadas anteriormente se repite muchas veces, se le descuenta un punto (Esta condición recibe un Puntaje de menos un (-1) punto).

A.2. Tipo de atmósfera - Peso Sugerido: 50% (0 - 10 puntos Atributo)

La composición química de la atmósfera (como por ejemplo, CO₂, SO₂, H₂SO₄, H₂SO₃), la humedad y la temperatura, estimulan o aceleran la corrosión del metal a través de procesos de oxidación

Para evaluar este atributo se debe considerar las siguientes condiciones del ambiente:

Químico y marino. Es el escenario más corrosivo. Este escenario incluye instalaciones de producción y refinación en costas marinas y ambientes húmedos. Los componentes de la tubería superficial están expuestos a químicos en suspensión y sales pulverizadas que aceleran los procesos de oxidación. Esta condición recibe un Puntaje de cero (0) puntos

Químico y de alta humedad. Al igual que el anterior es un ambiente crítico. Este escenario incluye operación de refinación e industrias químicas en regiones costeras. Los componentes de la tubería están expuestos a químicos en suspensión mezclados con otras sustancias que aceleran los procesos de oxidación del metal. Esta condición recibe un Puntaje de dos (2) puntos

Marino, pantano, costas. En este escenario existen altos niveles de sales que mezclados con otras sustancias aumentan la corrosión atmosférica. Esta condición recibe un Puntaje de cuatro (4) puntos

Alta humedad y temperatura. Este escenario es igual al anterior, pero puede ser temporal y menos severo. Esta condición recibe un Puntaje de seis (6) puntos

Químico y baja humedad. Los efectos que puede ocasionar los químicos suspendidos en ambiente se neutralizan si la atmósfera presenta baja humedad. Esta condición recibe un Puntaje de ocho (8) puntos

Baja humedad. El escenario menos corrosivo es el que no presenta químicos en suspensión, baja humedad y baja temperatura. A esta condición se le asigna un Puntaje de diez (10) puntos

A.3. Recubrimiento e Inspección - Peso Sugerido: 25% (0-5 Puntos Prevención)

En esta parte de la evaluación se debe hacer un análisis de las medidas preventivas que se utilizan para disminuir el potencial de corrosión atmosférica. Ningún tipo de recubrimiento está exento de defectos, por lo tanto el potencial de corrosión no puede ser eliminado, si no reducido. La efectividad en el control de este potencial de corrosión depende de los siguientes factores:

- ü Calidad del Recubrimiento
- ü Calidad de Aplicación del Recubrimiento
- ü Calidad del Programa de Inspección
- ü Calidad del Programa de Corrección de Defectos

Para evaluar esta acción de prevención se debe considerar los siguientes criterios:

CALIDAD

Se debe evaluar la calidad del recubrimiento de acuerdo con su aptitud en la aplicación. La calidad del recubrimiento puede ser:

Bueno **3 Pts**

El recubrimiento se diseñó con altos niveles de calidad de acuerdo con las condiciones del ambiente.

Regular **2 Pts**

El recubrimiento es adecuado pero las especificaciones técnicas no están de acuerdo con las condiciones del ambiente.

Deficiente **1 Pts**

La tubería está recubierta, pero el recubrimiento es inapropiado para periodos de larga duración expuesto a las condiciones del ambiente existentes

Inexistente **0 Pts**

No existe recubrimiento alguno

APLICACIÓN

La aplicación se debe evaluar de acuerdo a la atención que se depositó en los procesos de limpieza, espesor del recubrimiento, condiciones del ambiente (temperatura, humedad, polvo, etc), rehabilitación e instalación. La aplicación puede ser:

Bueno **3 Pts**

Cuándo en su aplicación se utilizaron especificaciones técnicas, se puso especial cuidado en la aplicación y se usó un sistema de control de calidad apropiado.

Regular

2 Pts

Cuando se aplica el recubrimiento, pero sin una supervisión completa o sin control de calidad

Deficiente

1 Pts

Cuando se tiene muy poco cuidado en la aplicación y se realiza con muy baja calidad

Inexistente

0 Pts

Cuando su aplicación se realiza de manera incorrecta, es decir se omiten varias etapas y no se controla el ambiente

INSPECCIÓN

En la evaluación del programa de inspección se debe considerar si el programa está reglamentado y es oportuno. El programa de inspección puede ser:

Bueno

3 Pts

Existe un programa de inspección completo y regular, el cual se ejecuta específicamente cuando hay corrosión atmosférica. Las inspecciones son realizadas por personal entrenado que utiliza listas de chequeo en intervalos apropiados (de acuerdo con los potenciales de corrosión locales detectados)

Regular **2 Pts**

Inspecciones irregulares, pero realizadas de una manera, por personal calificado

Deficiente **1 Pts**

Muy poca inspección

Inexistente **0 Pts**

No se realiza ningún tipo de inspección

CORRECCIÓN DE DEFECTOS

En la evaluación del programa de corrección de defectos (rehabilitación) se debe considerar si el programa está reglamentado y es oportuno. El programa de corrección de defectos (rehabilitación) puede ser:

Bueno **3 Pts**

Los defectos reportados son documentados y clasificados inmediatamente para su reparación oportuna. Las reparaciones se realizan de acuerdo con especificaciones técnicas y su nivel de prioridad

Regular **2 Pts**

Los defectos son reportados de una forma irregular y son reparados de acuerdo a la conveniencia

Deficiente **1 Pts**

Los defectos no son reportados ni reparados de una manera coherente

Inexistente **0 Pts**

No se presta ningún tipo de atención al programa de corrección de defectos

B. CORROSIÓN INTERNA

Los factores que verdaderamente influyen en la valoración del potencial de corrosión interna se presentan a continuación con sus respectivos puntajes:

B.1. Corrosividad del Producto - Peso sugerido: 50% (0-10 Puntos Atributo)

Para evaluar la corrosividad del producto (gas transportado) se deben considerar los siguientes criterios:

Fuertemente Corrosivo **0 Pts**

Es un producto que puede ocasionar un daño considerable a la pared de la tubería, pero a una velocidad de corrosión alta. Este producto es altamente incompatible con el material de la tubería

Medianamente Corrosivo **3**

Pts

Es un producto que puede ocasionar un daño a la pared del tubo, pero a una velocidad de corrosión baja.

Corrosivo bajo sólo condiciones especiales **7**

Pts

Significa que el producto (gas transportado) en condiciones normales de operación es benigno, pero cuando estas condiciones cambian, el gas puede incorporar sustancias dañinas o corrosivas que puedan afectar a la pared del tubo

No es Corrosivo **10 Pts**

Significa que no existe la posibilidad razonable de que el producto transportado pueda ser incompatible con el material de la tubería

B.2. Protección Interna - Peso Sugerido 50% (0-10 Puntos Prevención)

Para proteger la tubería de la corrosión interna se proponen las siguientes acciones de prevención con sus respectivos puntajes:

Ninguna **0 Pts**

No se ejecuta ningún tipo de acción para reducir el riesgo por corrosión interna

Monitoreo Interno**2 Pts**

El monitoreo se puede realizar a través de dos formas:

- ü Una sonda que transmite de manera continua impulsos eléctricos que indican el potencial de corrosión interna
- ü Un cupón que indica la velocidad de corrosión interna

Además de lo anterior, se requiere un programa de monitoreo bien definido que involucre los métodos de inspección e interpretación de datos

Inyección de Inhibidor**4 Pts**

Cuando se conoce muy bien los mecanismos de corrosión existentes, se pueden adicionar algunas sustancias a la corriente de gas, con el objeto de reducir o inhibir la reacción de corrosión. Además, en casos en donde la actividad de microorganismos es un problema, los biocidas se pueden adicionar a los inhibidores

No es Necesario**10 Pts****Recubrimiento Interno****5 Pts**

Son materiales de cerámicas que se utilizan para aislar la parte interna de la tubería. Estos materiales se pueden instalar durante el proceso inicial de fabricación de la tubería, durante la construcción de la Estación, del gasoducto o

durante la operación de la línea. En caso de que la tubería tenga instalado recubrimiento interno, se debe evaluar su efectividad aplicando el mismo procedimiento utilizado en la valoración del recubrimiento cuando se tiene un potencial de corrosión atmosférica

Medidas de Operación

3 Pts

Aún cuando el gas transportado es compatible con el material de la tubería, siempre se generan algunas impurezas que ocasionan corrosión, lo más conveniente es aplicar medidas operacionales para prevenir este tipo de impurezas. Estas medidas de prevención pueden estar conformadas por sistemas de deshidratación y filtración del gas. Para evaluar estas medidas de prevención se debe considerar su efectividad para reducir el potencial de corrosión interna

Raspadores

3 Pts

Los raspadores se utilizan para limpieza interna de tubería, separación de productos, obtención de información interna (cuando son conectados a equipos electrónicos muy sofisticados), etc.

C. CORROSIÓN DE TUBERÍA ENTERRADA

Para evaluar el control de corrosión de la tubería enterrada se consideran las siguientes variables, las cuales tienen influencia sobre la efectividad del desarrollo de cualquier programa de control de corrosión:

C.1. Protección Catódica - Peso Sugerido: 13% (0-8 Puntos Prevención)

El control de corrosión externo puede ser alcanzado con varios niveles de polarización catódica dependiendo de las condiciones ambientales existentes. Sin embargo, en ausencia de datos específicos que demuestren que se ha alcanzado una protección catódica apropiada, se debe considerar los siguientes criterios (publicados por NACE RP0169-96):

- ü Un potencial (catódico) negativo de mínimo 850 mV con aplicación de protección catódica. Este potencial debe ser medido con respecto a un electrodo de referencia de Sulfato de Cobre / Cobre saturado sumergido en el electrolito.
- ü Un potencial polarizado negativo de mínimo 850 mV con relación a un electrodo de referencia de Sulfato de Cobre / Cobre saturado.
- ü Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y el electrodo de referencia sumergido en el electrolito. La formación o disminución de polarización puede ser medida para satisfacer este criterio.

En presencia de sulfuros, bacterias, temperaturas elevadas, ambientes ácidos, metales diferentes, no es suficiente el primer criterio.

Cuando una tubería es lastrada en concreto o enterrada en suelos secos o aireados, o de alta resistividad, puede ser suficiente valores menos negativos del propuesto en el primer criterio.

Con base en lo anterior, para evaluar la efectividad del sistema de protección catódica, se debe considerar las siguientes condiciones con sus respectivos puntajes:

- | | |
|--|-------|
| Ø Se consigue criterio general de protección catódica | 8 Pts |
| Ø No se consigue criterio general de protección catódica | 0 Pts |

C.2. Condición del Recubrimiento - Peso Sugerido: 17% (0-10 Puntos Prevención)

En esta parte de la evaluación se debe hacer un análisis de las medidas preventivas que se utilizan para disminuir el potencial de corrosión externa. La efectividad en el control de este potencial de corrosión depende de los siguientes factores:

- ü Calidad del Recubrimiento
- ü Calidad de Aplicación del Recubrimiento
- ü Calidad del Programa de Inspección
- ü Calidad del Programa de Corrección de Defectos

La evaluación de esta acción de prevención se realiza considerando los siguientes criterios:

CALIDAD

Se debe evaluar la calidad del recubrimiento de acuerdo con su aptitud en la aplicación. La calidad del recubrimiento puede ser:

Bueno **3 Pts**

El recubrimiento se diseñó con altos niveles de calidad de acuerdo con las condiciones del ambiente.

Regular **2 Pts**

El recubrimiento es adecuado pero las especificaciones técnicas no están de acuerdo con las condiciones del ambiente.

Deficiente **1 Pts**

La tubería está recubierta, pero el recubrimiento es inapropiado para periodos de larga duración expuesto a las condiciones del ambiente existentes

Inexistente **0 Pts**

No existe recubrimiento alguno

✓ Aplicación

La aplicación se debe evaluar de acuerdo a la atención que se depositó en los procesos de limpieza, espesor del recubrimiento, condiciones del ambiente (temperatura, humedad, polvo, etc), rehabilitación e instalación. La aplicación puede ser:

Bueno **3 Pts**

Cuándo en su aplicación se utilizaron especificaciones técnicas, se puso especial cuidado en la aplicación y se usó un sistema de control de calidad apropiado.

Regular **2 Pts**

Cuando se aplica el recubrimiento, pero sin una supervisión completa o sin control de calidad

Deficiente **1 Pts**

Cuando se tiene muy poco cuidado en la aplicación y se realiza con muy baja calidad

Inexistente **0 Pts**

Cuando su aplicación se realiza de manera incorrecta, es decir se omiten varias etapas y no se controla el ambiente

INSPECCIÓN

En la evaluación del programa de inspección se debe considerar sí el programa está reglamentado y es oportuno. El programa de inspección puede ser:

Bueno **3 Pts**

Existe un programa de inspección completo y regular, el cual se ejecuta específicamente cuando hay evidencia de deterioro en el recubrimiento. Las inspecciones son realizadas por personal entrenado que utiliza listas de chequeo en intervalos apropiados (de acuerdo con los potenciales de corrosión locales detectados)

Regular **2 Pts**

Inspecciones irregulares, pero realizadas de una manera, por personal calificado

Deficiente **1 Pts**

Muy poca inspección

Inexistente **0 Pts**

No se realiza ningún tipo de inspección

CORRECCIÓN DE DEFECTOS

En la evaluación del programa de corrección de defectos (rehabilitación) se debe considerar sí el programa está reglamentado y es oportuno. El programa de corrección de defectos (rehabilitación) puede ser:

Bueno **3 Pts**

Los defectos reportados son documentados y clasificados inmediatamente para su reparación oportuna. Las reparaciones se realizan de acuerdo con especificaciones técnicas y su nivel de prioridad

Regular **2 Pts**

Los defectos son reportados de una forma irregular y son reparados de acuerdo a la conveniencia

Deficiente **1 Pts**

No existe consistencia entre los defectos reportados y los defectos reparados

Inexistente**0 Pts**

No se presta ningún tipo de atención al programa de corrección de defectos

La condición del recubrimiento, también se puede evaluar considerando las necesidades de corriente, tal como se establece en la Tabla 2.

Tabla 2. Evaluación de la Condición de Recubrimiento considerando los Requerimientos de Corriente

Requerimientos de Corriente	Condición del Recubrimiento
0.0003 mA/pie ²	Bueno
0.003 mA/pie ²	Regular
0.1 mA/pie ²	Deficiente
1.0 mA/pie ²	Ausente

C.3. Corrosividad del Suelo - Peso Sugerido: 7% (0-4 Puntos Atributo)

En términos generales, la conductividad del suelo depende de varios factores, tales como, la concentración de iones, la composición del suelo y el contenido de mezcla. Para evaluar este atributo se deben considerar los siguientes criterios:

- Ø Baja Resistividad (potencial de corrosión alto) < 500 ohm-cm de Suelo 0 Pts
- Ø Media Resistividad 500 - 10.000 ohm-cm 2 Pts
- Ø Alta Resistividad (potencial de corrosión bajo) > 10.000 ohm-cm 4 Pts
- Ø Se Desconoce potencial de corrosión del suelo 0 Pts
- Ø Situación Especial -1 a -4 Pts

La situación especial se refiere a que en la sección evaluada, exista evidencia de la presencia de alta actividad de microorganismos y bajo pH, los cuales pueden estimular la oxidación del metal

Cabe anotar, que suelos con pH más bajos que 4 o más altos que 8, pueden estimular la corrosión

C.4. Edad del Sistema - Peso Sugerido: 5% (0-3 Puntos Atributo)

La edad del sistema está relacionada con el tiempo de servicio de la Estación o del gasoducto. Para evaluar este atributo sugerimos los siguientes criterios:

Ø 0 a 5 años de servicio	3 Pts
Ø 5 a 10 años	2 Pts
Ø 10 a 20 años	1 Pts
Ø Más de 20 años de servicio	0 Pts

C.5. Flujo de Corriente a Metales Enterrados - Peso Sugerido: 7% (0-4 Puntos Atributo)

La existencia de metales en la vecindad de tuberías enterradas se puede constituir en una fuente potencial de riesgo. Estos metales pueden ocasionar cortos en el circuito e interferir el sistema de protección catódica del gasoducto. Se estima que un amperio de corriente DC descargado sobre un metal enterrado puede disolver 20 libras de acero por año.

Para evaluar este atributo se debe considerar otros gasoductos o líneas externas al sistema de transporte, líneas paralelas, cruce de líneas, etc. En este sentido, se deben tener en cuenta la siguiente Tabla 3.

Tabla 3. Cálculo del Atributo "Flujo de Corriente a Metales Enterrados"

Número de Ocurrencias	Puntaje
Ninguna	4 puntos
1-10	2 puntos
11-25	1 punto
>25	0 puntos

C.6. Interferencia A.C. - Peso Sugerido: 7% (0-4 Puntos Atributo)

El fenómeno de inducción ocurre cuando el gasoducto es afectado tanto por el campo eléctrico como el campo magnético que genera una línea de transmisión de alta tensión AC. Para evaluar este atributo se debe considerar los siguientes criterios:

- Ø No hay línea de alta tensión AC dentro de 1000 pies de tubería 4 Pts
- Ø Línea de alta tensión AC cerca, pero se toman medidas de prevención 2 Pts
- Ø Línea de alta tensión AC cerca, pero no se toman medidas de prevención 0 Pts

C.7. Efectos de Corrosión Mecánica - Peso Sugerido: 8% (0-5 Puntos Atributo)

Este tipo de efectos puede incluir los procesos de corrosión por esfuerzos de hidrógeno (Hydrogen Stress Corrosion Cracking, HSCC), por esfuerzos de azufre (Sulfide Stress Corrosion Cracking, SSCC) y por esfuerzos del hidrógeno inducido (Hydrogen Induced Cracking, HIC). Los factores que contribuyen a que se presenten estos procesos están relacionados con las siguientes condiciones:

- ü El Esfuerzo: El esfuerzo a la tensión sobre la tubería es una condición necesaria. Mayores esfuerzos residuales en la tubería puede generar fracturas que son difíciles de detectar. La presión interna de la tubería de la Estación o del gasoducto constituye el factor que más contribuye a estos esfuerzos, por lo tanto una tubería que esté operando a presiones altas es muy susceptible a que los procesos de SCC se presenten.

- ü El Ambiente: Altos niveles de pH en el suelo o en el recubrimiento puede incrementar los procesos de fractura por corrosión. Los cloruros, H₂S, CO₂ y la alta temperatura también pueden contribuir a acelerar los procesos de SCC

- ü El tipo de Acero: Aceros contenidos de carbón mayores a 0.28% incrementan la probabilidad de procesos de SCC.

Para evaluar este atributo se debe considerar que el nivel de esfuerzo a la tensión es expresado como un porcentaje de la Máxima Presión de Operación Permitida. Este porcentaje se obtiene al dividir la presión más alta a la de operación normal sobre la MAPO. Los puntajes que se pueden obtener se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Cálculo del Atributo "Efectos de Corrosión Mecánica"

% MAPO	2 – 20%	21 – 50%	51 – 75%	> 75%
Ambiente*				
0	3	2	1	1
4	4	3	2	1
9	4	4	3	2
14	5	5	4	3

* Ambiente = Corrosividad del Gas + Corrosividad del Suelo

C.8. Lectura de Potencial - Peso Sugerido: 10% (0-6 Puntos Prevención)

Teniendo en cuenta que la corrosión es un proceso que depende del tiempo, en la evaluación de esta acción de prevención es muy importante el número de veces y la distancia que separa los lugares en donde se miden potenciales de corrosión y se emplea compensación IR.

En este sentido, para evaluar esta acción de prevención sugerimos los siguientes criterios:

- Ø La sección es completamente verificada y la toma de potenciales se realiza en espacios menores de 1 milla 3 Pts
- Ø Sitios de toma de potenciales espaciados 1 a 2 millas 1-2 Pts
- Ø Sitios de toma de potenciales espaciados más de 2 millas 0 Pts

Además de lo anterior, se puede considerar la frecuencia de Lectura en toma de potenciales de la siguiente manera:

Ø < 6 meses	3 Pts
Ø 6 meses-anual	2 Pts
Ø > anual	1 Pts

C.9. Inspección Paso a Paso (Close Interval Surveys) - Peso Sugerido: 13% (0-8 Puntos Atributo)

En esta técnica las lecturas de potenciales (suelo / tubería) son tomadas en cada que tiene una longitud aproximada de 2 a 15 pies a lo largo del gasoducto, y se emplea compensación por la caída en el IR. Como requisito a esta técnica se establece que las lecturas deben ser realizadas por personal entrenado y las interpretaciones de datos llevadas a cabo por un ingeniero de corrosión con experiencia. Para la evaluación de esta acción de prevención, se debe considerar la siguiente expresión:

Puntaje = 8 - (años transcurridos desde el último CIS)

C.10. Herramienta de Inspección Interna - Peso Sugerido: 13% (0-8 Puntos Prevención)

Cuando a través de esta herramienta se consigue detectar el 95% de defectos que en el corto plazo pueden impactar sobre la integridad del gasoducto, utilizamos la

siguiente expresión, la cual evalúa la efectividad del uso de corridas de raspadores inteligentes (“intelligent pigs”):

Puntaje = 8 - (años transcurridos desde última inspección)

En resumen, las condiciones, con sus respectivos pesos y puntajes que intervienen en la valoración de este índice se muestran a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Atributos y Prevenciones para el cálculo del ICC

TIPO DE CORROSIÓN	FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL ICC
CORROSIÓN ATMOSFÉRICA (0-20 Pts.)	1. características de las Instalaciones Superficiales	0-5 Pts. A	5%
	2. Tipo de Atmósfera	0-10 Pts. A	10%
	3. Calidad del Recubrimiento e Inspección	0-5 Pts. P	5%
CORROSIÓN INTERNA (0-20 Pts.)	1. Corrosividad del Gas Transportado	0-10 Pts. A	10%
	2. Protección Interna de la Tubería	0-10 Pts. P	10%
CORROSIÓN EXTERNA (0-60 Pts.)	1. Protección Catódica	0-8 Pts. P	8%
	2. Condición del Recubrimiento	0-10 Pts. P	10%
	3. Corrosividad del Suelo	0-4 Pts. A	4%
	4. Edad del Sistema	0-3 Pts. A	3%
	5. Existencia de otros Metales Externos	0-4 Pts. A	4%
	6. Corriente Inducida A.C.	0-4 Pts. A	4%
	7. Efectos de la Corrosión Mecánica	0-5 Pts. A	5%
	8. Lecturas de Potenciales	0-6 Pts. P	6%
	9. Inspección Paso a Paso (Close Interval Surveys)	0-8 Pts. P	8%
	10. Inspección Interna	0-8 Pts. P	8%
TOTAL		0-100 Pts.	100%

3. Cálculo del *Índice de Diseño y Materiales (IDM)*

Este índice evalúa las condiciones de operación del sistema con respecto a los siguientes factores críticos de diseño:

A. FACTOR DE SEGURIDAD DE TUBERÍA - PESO SUGERIDO: 20% ATRIBUTO

Para conocer el factor de seguridad de la tubería de la Estación o del gasoducto se debe calcular el espesor de la pared del tubo requerido y compararlo con el espesor de la pared actual. Si esta relación es menor de 1, la tubería no satisface el criterio de diseño, es decir, el espesor de pared actual es menor del requerido. El sistema de tubería no ha fallado debido a que no trabaja a condiciones máxima de diseño. Una relación mayor de 1 significa que existe un espesor de pared extra (por encima del requerido por diseño)

Con la relación espesor de pared actual (τ_a) sobre el espesor de pared requerido (τ_r) se puede obtener el siguiente puntaje:

Tabla 6. Cálculo del Atributo "Factor de Seguridad de la Tubería"

t_a / t_r	Puntaje
<1.0	-5 (peligro)
1.0 - 1.1	2
1.11 - 1.20	5
1.21 - 1.40	9
1.41 - 1.60	12
1.61 - 1.80	16
> 1.81	20

De igual forma, se puede aplicar las siguientes expresiones para calcular el factor de seguridad de la tubería:

$$(\tau_a / \tau_r - 1) \times 20 = \text{Puntuación}$$

B. FACTOR DE SEGURIDAD DEL SISTEMA - PESO SUGERIDO: 20% ATRIBUTO

Es la diferencia entre la presión de diseño y la presión de operación existente. Cada tramo o sección, componente o accesorio de la tubería tiene una Máxima Presión de Operación Permitida especificada. Para evaluar este Factor de Seguridad se establece la relación: Presión de Diseño de la tubería o accesorio / Máxima Presión de Operación Permitida. Cuando esta relación es igual a 1, no existe un factor de seguridad. Esto significa que el sistema está siendo operado en su límite. Una relación menor de 1 significa que el sistema no fue diseñado a la

MAPO. Una relación mayor de 1 significa que existe un Factor de Seguridad y el sistema está siendo operado por debajo de su límite. Este atributo se puede estimar utilizando la Tabla 7.

Tabla 7. Cálculo del Atributo "Factor de Seguridad del Sistema"

Presión de Diseño / MAPO	Puntaje
2.0	20
1.75 – 1.99	16
1.50 – 1.74	12
1.25 – 1.49	8
1.10 – 1.24	5
1.00 – 1.10	0
< 1.00	- 10

De igual forma, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$((\text{Presión de Diseño / MAPO}) - 1) \times 20 = \text{Puntuación}$$

C. FATIGA - PESO SUGERIDO: 15% PREVENCIÓN

Es el debilitamiento de una material debido a ciclos de esfuerzos o tensiones repetidas. El tamaño del debilitamiento depende del número y magnitud de los ciclos. Si se presentan más a menudo, tensiones altas, se puede ocasionar daños al material. Factores como: condiciones de superficie, geometría, materiales de

proceso, fracturas ríidas y procesos de soldadura, interfieren en las fallas por fatiga.

Un ciclo se define como la ruta de un proceso que comienza con la presión de inicio hasta una Presión Máxima (pico), para luego llegar a la presión del inicio. El ciclo es medido como un porcentaje de la MAPO. Esta acción de prevención la podemos evaluar utilizando la

Tabla 8.

Tabla 8. Cálculo de la Acción de Prevención "Fatiga"

% MAPO	Ciclos de Presión				
	$< 10^3$	$10^3 - 10^4$	$10^4 - 10^5$	$10^5 - 10^6$	$>10^6$
100	7	5	3	1	0
90	9	6	4	2	1
75	10	7	5	3	2
50	11	8	6	4	3
25	12	9	7	5	4
10	13	10	8	6	5
5	14	11	9	7	6

Este porcentaje de la MAPO se obtiene al dividir el tamaño del ciclo de presión más alto sobre la MAPO.

D. Potencial de Onda - Peso Sugerido: 10% Prevención

Cuando la masa de fluido es obstaculizada la energía cinética se convierte en energía potencial de presión. El elemento que puede iniciar este proceso, está relacionado con las válvulas de cierre. Este fenómeno se conoce como presión de onda o choque y la magnitud de ésta depende de las características del fluido (densidad y elasticidad), la velocidad del fluido y la velocidad de flujo detenida, la presión de choque forma una presión de onda que se transporta a lo largo de la tubería, aumentando la presión estática en la tubería. Por lo que una tubería con presiones altas aguas arriba, en caso de que ocurra este tipo de presión, puede ser sobretensionada, ocasionando que la presión total sea mayor a la MAPO.

Un evento peligroso se define como aquel en que la presión de onda tienen una magnitud mayor del 10% del sistema MAPO.

Esta acción de prevención se puede evaluar considerando los siguientes criterios:

- ü Alta probabilidad. Existe la posibilidad de que el fenómeno de potencial se presente. No hay mecanismo de prevención. Tampoco existen procedimientos de operación para prevenirlo. (Esta condición recibe un Puntaje de cero (0) puntos)
- ü Baja probabilidad. Existe baja posibilidad de que el fenómeno de potencial de onda se presente, pero esta posibilidad se reduce cuando se tienen aparatos de cierre, por las características del fluido, operación de válvulas de alivio, etc). (Esta condición recibe un Puntaje de cinco (5) puntos)
- ü Imposible: significa que por las propiedades del fluido, bajo ciertas condiciones no se produce presión de onda de magnitud mayor al 10% de MAPO. (Esta condición recibe un puntaje de diez (10) puntos)

E. Prueba Hidrostática al Sistema - Peso Sugerido: 25% Prevención

Para evaluar esta acción de prevención se utiliza un sistema de puntaje basado en el número de veces de realización de la prueba hidrostática y los resultados del ensayo con respecto a la MAPO. El método de cálculo comprende las siguientes etapas:

- a) Se calcula H, siendo $H = \text{Presión de Prueba Hidrostática} / \text{MAPO}$, obteniéndose los siguientes resultados y puntajes (Tabla 9):

Tabla 9. Cálculo de la Acción de Prevención "Prueba Hidrostática al Sistema"

Condición	Puntaje
Para $H < 1.10$ (en donde 1.10 significa que la Presión de Prueba es 10% por encima de la MAPO)	0 Pts
Para $1.11 < H < 1.25$	5 Pts
Para $1.26 < H < 1.40$	10 Pts
Para $H > 1.41$	15 Pts

De igual forma, el Puntaje se puede obtener utilizando la siguiente expresión:

$$(H - 1) \times 30 = \text{Puntuación (Hasta un máximo de 5 puntos)}$$

Mínimo = 0 Puntos

- b) Se calcula el puntaje utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Puntaje: } 10 - (\# \text{ de años desde última prueba hidrostática})$$

Ø Prueba de hace 4 años Pts	6
Ø Prueba de hace 11 años Pts	0

F. Movimientos del Suelo - Peso Sugerido: 10% Atributo

Los Movimientos del Suelo es el principal indicador del incremento de tensiones.

Para la evaluación de este atributo se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- ü Alto: Cuando los daños ocasionados por movimiento de suelo son comunes y completamente severos (Esta condición recibe un puntaje de cero (0) puntos)
- ü Medio: Cuando los daños ocasionados por movimiento de suelo es posible, pero raro o improbable que afecte la tubería debido a la profundidad y posición de la misma (A esta condición se le asigna un puntaje de dos (2) puntos)
- ü Bajo: Cuando la evidencia de movimiento de suelo es rara e inapreciable (Esta condición recibe un puntaje de seis (6) puntos)
- ü Ninguno: No existe evidencia de ninguna clase que indique potencial debido a movimiento del suelo (Esta condición recibe un puntaje de diez (10) puntos)
- ü Desconocido: Cuando se desconoce el nivel de potencialidad de movimientos del suelo en la sección de tubería evaluada (A esta condición se le puede asignar un puntaje de cero (0) puntos)

En resumen, las condiciones, con sus respectivos pesos y puntajes que intervienen en la valoración de este índice se muestran a continuación:

Tabla 10. Atributos y Prevenciones para el cálculo del IDM

FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL IPT
A. Factor de Seguridad de la Tubería	0-20 Pts. A	20%
B. Factor de Seguridad del Sistema	0-20 Pts. A	20%
C. Fatiga	0-15 Pts. P	15%
D. Potencial de Onda o Choque	0-10 Pts. P	10%
E. Prueba Hidrostática al Sistema	0-25 Pts. P	25%
F. Movimientos del Suelo	0-10 Pts. A	10%
TOTAL	0-100 Pts.	100%

4. Cálculo del Índice de Control de Operaciones Incorrectas (ICO)

Se debe evaluar el control del potencial de error humano en cada una de las siguientes fases que hacen parte del transporte de gas natural por tubería:

A. DISEÑO - PUNTAJE SUGERIDO: 0 – 30 PTS

Los elementos o factores que influyen en esta valoración se presentan a continuación, con sus respectivos puntajes:

A.1. Identificación de Peligros - Puntaje Sugerido: 0-4 Pts

En esta parte de la evaluación se debe observar los esfuerzos que se hicieron o se han hecho para identificar los posibles riesgos o peligros asociados con la tubería de la Estación o del gasoducto y su operación. Además, se debe analizar documentación en donde se sigue de manera completa alguna técnica de identificación de riesgos, como por ejemplo, el estudio HAZOP.

A.2. Potencial para alcanzar la MAPO - Puntaje Sugerido: 0-12 Pts

La facilidad con que el sistema de transporte alcance la MAPO, depende de las siguientes condiciones:

De manera Rutinaria

Cuando la operación normal podría permitir al sistema alcanzar la MAPO. Las sobre presiones se pueden prevenir por procedimientos o equipos de seguridad. (El puntaje sugerido para esta condición es de cero (0) puntos)

Improbable

Pueden ocurrir sobre presiones a través de una combinación de errores en los procedimientos u omisiones y fallas en los equipos de seguridad (menos de dos niveles de seguridad). (El Puntaje asignado para esta condición es delinco (5) puntos)

Extremadamente Improbable

Teóricamente es posible que ocurra una sobre presión, pero solamente a través de una cadena de eventos extremadamente improbables, tales como errores, omisiones, fallas en equipos de seguridad en sistemas de más de dos niveles de seguridad, etc. (El Puntaje sugerido para esta condición es de diez (10) puntos)

Imposible

En el sistema es imposible que bajo cualquier cadena de eventos concebibles, pueda presentarse una sobre presión en la tubería. En este caso se utiliza el peor escenario más creíble utilizando la herramienta HAZOP. El puntaje sugerido para esta condición es de doce (12) puntos)

A.3. Sistemas de Seguridad - Puntaje Sugerido: 0-10 Pts

Los sistemas de seguridad reducen la posibilidad de una falla en la Estación o en el gasoducto por error humano, por lo tanto, son indispensables saber cuando hay las situaciones en las cuales el error humano causa o permite que la MAPO sea alcanzada.

Para evaluar esta acción de prevención, se deben considerar las siguientes condiciones:

- Ø No presenta equipos de seguridad que puedan prevenir una sobre presión. En este caso es posible alcanzar la MAPO. No existen equipos para prevenir una sobre presión. (A esta condición se le asigna un puntaje de cero (0) puntos)

- Ø En el Sitio, un solo nivel. Para esta condición, existe un equipo individual, localizado en el sitio que ofrece protección en caso de una sobre presión. (A esta condición se le sugiere un puntaje de tres (3) puntos)

- Ø En el Sitio, dos o más niveles. En este caso más de un equipo de seguridad está instalado en el sitio. Cada equipo debe ser independiente y debe tener fuentes de energía diferentes. (A esta condición se le asigna un puntaje de seis (6) puntos)

- Ø Solamente Observación Remota. En este caso, la presión es monitoreada a partir de una estación remota. El control remoto no es posible, por lo tanto no hay protección automática en caso de una sobre presión. (Esta condición recibe un puntaje de un (1) punto)

- Ø Observación y Control Remoto. Es igual al anterior pero agregándole la condición de control remoto. El control remoto en términos generales implica el cierre o abertura de válvulas, parada de compresores, etc. (A esta condición se le asigna un puntaje de tres (3) puntos)

- Ø Existen los equipos pero no son de propiedad del operador y cuentan con interventoría. En este caso los equipos de prevención de una sobre presión existen, pero no son propios, mantenidos o controlados por el propietario de la Estación. El propietario de la Estación o del gasoducto vigila a través de una interventoría para que el operador y mantenga los equipos de seguridad (A esta condición se le sugiere un puntaje de dos (2) puntos)

- Ø Existen los equipos, no son de propiedad del operador y no tienen interventoría. Este caso es igual al anterior. El propietario no garantiza que los

equipos de seguridad se encuentren listos. Los equipos del propietario son auxiliados. Puntaje sugerido tres (3) puntos.

Ø Sistema de seguridad no es necesario. Bajo este escenario la mayoría de puntos son otorgados. (Esta condición recibe un puntaje de diez (10) puntos)

A.4. Selección de Materiales - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

Si el control de documentos es bueno se otorga un puntaje de dos (2). Si no se utiliza el control de documentos se otorga un puntaje de cero (0). En este caso, el evaluador debe recoger información con respecto a cálculos de tensiones en los componentes de la tubería. Además, incluirá recubrimientos en concreto, recubrimiento interno y externo, tuercas y tornillos, conexiones del sistema, soportes, como también la estructura del sistema (apoyo). Esta documentación debe mostrar los casos de potencial corrosión, incluyendo problemas de material y de soldadura que fueron considerados en el diseño.

A.5. Verificación - Puntaje Sugerido: 0–2 Pts

En esta parte del sistema de evaluación se determina si los cálculos de diseño y las decisiones fueron revisados en aspectos claves durante el proceso de diseño. Lo ideal hubiese sido que un ingeniero con licencia profesional certificara todos los diseños. Los dos (2) puntos son asignados para secciones de tubería de la Estación o del gasoducto en donde los procesos de diseño fueron cuidadosamente monitoreados y revisados.

B. CONSTRUCCIÓN - PUNTAJE SUGERIDO: 0 - 20 PTS

Esta fase, puede ser evaluada considerando los siguientes factores:

B.1. Inspección - Puntaje Sugerido: 0 - 10 Pts

En este caso, se debe verificar que un inspector calificado haya revisado todos los aspectos relacionados con la construcción de la Estación o del gasoducto. Si se comprueba que no se realizó ningún tipo de inspección en la fase de construcción, se le asigna un puntaje de cero (0) puntos. Pero, si se tiene evidencia de que la inspección se realizó con altos niveles de calidad y bien documentada se le puede asignar el máximo puntaje de diez (10)

B.2. Materiales - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

A todos los materiales y sus componentes se les verifica su autenticidad y se comprueba que si cumplen con las especificaciones técnicas previas a la fase de construcción. Si existe evidencia de que se aplicó este procedimiento, recibe dos (2) puntos.

B.3. Juntas - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

La inspección de soldaduras de juntas se realiza utilizando técnicas como rayos X, ultrasonido, etc., en las cuales se aplican procedimientos de supervisión de alta calidad.

Si se verifica que el 100% de las inspecciones de juntas se realizaron utilizando prácticas aceptadas por la industria, se le asigna un puntaje de dos (2) puntos.

B.4. Rellenos - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

Está relacionado con identificar el tipo de relleno y los procedimientos utilizados en su aplicación, para evitar que se presentaran daños en el recubrimiento de la tubería. El material de relleno tiene que ser firme, uniforme y algunas veces debe ser compactado para soportar la tubería.

El conocimiento y el buen manejo de las técnicas de aplicación de rellenos en la fase de construcción, garantizan un puntaje de dos (2) puntos

B.5. Manejo de Tubería - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

Está relacionado con el manejo o manipulación de los componentes o secciones largas de tubería, con el fin de disminuir los esfuerzos de tensión.

En los casos en donde exista evidencia de que se aplicaron buenas técnicas de manejo y almacenamiento de tubería en las etapas previas a la construcción, se le debe asignar un puntaje de dos (2) puntos

B.6. Recubrimiento - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

En este caso se debe tener evidencia que la aplicación del recubrimiento fue supervisada; es decir, se debe constatar que el recubrimiento fue cuidadosamente inspeccionado y reparado antes de la instalación final de la tubería.

C. OPERACIÓN - PUNTAJE SUGERIDO: 0 – 35 PTS

En términos generales, los elementos que contribuyen a valorar esta fase se muestran a continuación:

C.1. Procedimientos de Operación - Puntaje Sugerido: 0-7 Pts

No solamente se debe verificar que los procedimientos escritos existentes cubran todos los aspectos de la operación de la Estación o del gasoducto; sino que también, se debe comprobar que estos procedimientos son usados, revisados y actualizados de manera permanente.

Los procedimientos de trabajo deben incluir:

- ü Mantenimiento de Válvulas
- ü Inspección y calibración de equipos de seguridad
- ü Arranque y parada de Estaciones o gasoductos
- ü Mantenimiento del derecho de vía
- ü Calibración de medidores de flujo
- ü Mantenimiento de instrumentación

C.2. Sistema de Comunicaciones / SCADA - Puntaje Sugerido: 0-5 Pts

El sistema de control y adquisición de datos (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) transmite datos operacionales (tales como, presión, flujo, temperatura y composición) desde unos puntos localizados a lo largo del gasoducto y de la Estación hasta el centro de control, y también permite la operación remota de válvulas.

Con relación a este sistema, se debe verificar que mínimo exista comunicación de doble vía entre un punto situado a lo largo del gasoducto y de la Estación y el centro de control

C.3. Exámenes Médicos - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

Se debe verificar si existe un programa de vigilancia epidemiológica sobre el abuso de estupefacientes que sirva para detectar problemas de drogadicción en empleados responsables de operación del gasoducto (tal como lo establece parte 199 del DOT)

Los exámenes médicos, pueden incluir:

- ü Exámenes de ingreso
- ü Exámenes posteriores a accidentes
- ü Exámenes rutinarios de acuerdo al trabajo

C.4. Programas de Seguridad - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

En esta acción, se evalúa el nivel de compromiso que tiene la empresa en la seguridad de la Estación y del gasoducto, teniendo en cuenta que el programa de seguridad es un factor intangible en la ecuación de riesgo. Este nivel de compromiso se puede comprobar a través de la existencia de los siguientes elementos:

- ü Una filosofía o política de seguridad escrita y conocida
- ü Un programa de seguridad diseñado con alta participación de empleados
- ü Registros de eficiencia del programa de seguridad
- ü Personal dedicado todo el tiempo

La existencia un programa de seguridad eficiente garantiza 2 puntos

C.5. Inspecciones - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

Las inspecciones a la operación del sistema de transporte, deben incluir:

- ü Inspección Paso a Paso (Close Interval Survey)
- ü Inspección de la condición del recubrimiento
- ü Inspección a los cruces de agua
- ü Detección de defectos por corrida de raspadores inteligentes
- ü Inspección de densidad de población
- ü Inspección de profundidad de tubería
- ü Detección de fugas

La existencia de un programa de inspección regular que incluya buena documentación, la operación profesional y una medida de reducción del riesgo, garantiza 2 puntos.

C.6. Entrenamiento - Puntaje Sugerido: 0-10 Pts

El entrenamiento, se considera como la estrategia de más valor en la reducción del error humano y los accidentes. En este sentido, el entrenamiento que se centra en la prevención de fallas es el más vital. No obstante, debe existir un programa de entrenamiento que varíe de acuerdo con las profesiones y el nivel de experiencia del personal de operaciones. Un programa de entrenamiento efectivo debe tener aspectos claves, a través de los cuales el personal de operación se tiene que capacitar y preparar. Estos aspectos pueden incluir:

Requerimientos mínimos de conocimientos. El programa debe tener los requisitos mínimos de conocimiento que se necesitan para que un empleado lleve a cabo sus funciones dentro de la operación de la Estación o del gasoducto. Además, se debe verificar que el empleado cuenta con los conocimientos suficientes antes de asumir su cargo. (A esta condición se le puede asignar un Puntaje de cinco (5) puntos).

Pruebas. Se debe verificar que exista un programa en donde se evalúe los conocimientos del operador y se identifique deficiencias que experimentan ante situaciones de amenazas al sistema de transporte. (Esta condición recibe un puntaje de cinco (5) puntos)

C.7. Equipos Mecánicos - Puntaje Sugerido: 0-7 Pts

Algunos equipos mecánicos se utilizan para prevenir los errores operacionales y por ende reducir el riesgo. Entre los equipos que más se utilizan tenemos:

Ø Válvulas de tres vías	4 Pts
Ø Disyuntores de Cierre Impedido (Lock-out)	2 Pts
Ø Programa de secuencia de Llaves de cierre (Key-lock)	2 Pts
Ø Control por computadores facultativos	2 Pts
Ø Realce de instrumentos críticos	1 Pts

D. MANTENIMIENTO - PUNTAJE SUGERIDO: 0 – 15 PTS

Para valorar el programa de mantenimiento, se debe tener en cuenta los siguientes factores, con sus respectivos puntajes:

D.1. Documentación - Puntaje Sugerido: 0-2 Pts

En este factor, se debe verificar que existe un programa normalizado en donde se lleve una base de datos sobre todos los aspectos del mantenimiento. Cabe anotar, que con la ejecución de mantenimientos en la Estación o en el gasoducto se genera bastante información que puede ser utilizada por el programa para mejorar las prácticas de mantenimiento.

D.2. Guías generales o Inventarios - Puntaje Sugerido: 0-3 Pts

Se debe verificar que se están llevando un plan general o inventarios regulares sobre los mantenimientos rutinarios a la Estación y al gasoducto, y que estos planes reflejen la historia operacional en la actualidad.

D.3. Procedimientos - Puntaje Sugerido: 0-10 Pts

No solamente se debe verificar que los procedimientos sobre reparaciones y mantenimiento rutinario existan; sino, se debe comprobar que están listos para ser usados en cualquier momento por el personal de mantenimiento.

En resumen, las condiciones, con sus respectivos pesos y puntajes que intervienen en la valoración de este índice se muestran a continuación (Tabla 13):

Tabla 11. Atributos y Prevenciones para el cálculo del ICO

FASE DE LA ESTACIÓN	FACTOR A CALIFICAR	INTERVALO DE PUNTUACIÓN	% SOBRE EL ICC
DISEÑO (0-30 Pts.)	1. Identificación de Peligros asociados con la Estación y su operación	0-4 Pts. P	4%
	2. Potencial para alcanzar la Presión de Operación Máxima	0-12 Pts. P	12%
	3. Sistemas de Seguridad	0-10 Pts. P	10%
	4. Selección del Material	0-2 Pts. P	2%
	5. Verificaciones a la fase de diseño	0-2 Pts. P	2%
CONSTRUCCIÓN (0-20 Pts.)	1. Inspección de todos los aspectos de construcción	0-10 Pts. P	10%
	2. Materiales y componentes del sistema	0-2 Pts. P	2%
	3. Juntas	0-2 Pts. P	2%
	4. Rellenos	0-2 Pts. P	2%
	5. Manejo de Materiales	0-2 Pts. P	2%
	6. Aplicación de Recubrimiento	0-2 Pts. P	2%
OPERACIÓN (0-35 Pts.)	1. Procedimientos	0-7 Pts. P	7%
	2. Comunicaciones / Sistema SCADA	0-5 Pts. P	5%
	3. Chequeos Médicos	0-2 Pts. P	2%
	4. Programas de Seguridad	0-2 Pts. P	2%
	5. Inspecciones	0-2 Pts. P	2%
	6. Entrenamiento al personal de operación	0-10 Pts. P	10%
	7. Prevención con Equipos Mecánicos	0-7 Pts. P	7%
MANTENIMIENTO (0-15 Pts.)	1. Documentación	0-2 Pts. P	2%
	2. Inventarios	0-3 Pts. P	3%
	3. Procedimientos	0-10 Pts. P	10%
TOTAL		0-100 Pts.	100%