

**MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA ESTACIÓN CHIMITÁ DE LA EMPRESA  
METROGAS S.A. E.S.P. EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA – SANTANDER**

**ADRIÁN GERARDO ROSAS TORRES**

**RONALD JESÚS ORTIZ MALDONADO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA, SANTANDER**

**2023**

**MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA ESTACIÓN CHIMITÁ DE LA EMPRESA  
METROGAS S.A. E.S.P. EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA – SANTANDER**

**ADRIÁN GERARDO ROSAS TORRES**

**RONALD JESÚS ORTIZ MALDONADO**

**Monografía para optar al título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**DIRECTOR**

**MANUEL MARTÍNEZ**

**PhD Mecánica Computacional**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA, SANTANDER**

**2023**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. FORMULACION DEL PROBLEMA.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	14
<b>3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>15</b>
<b>4. MARCO TEORICO .....</b>	<b>16</b>
4.1 MARCO TEORICO .....	16
4.1.1 <i>Análisis de criticidad.</i> .....	16
4.1.2 <i>Técnicas de Análisis de Riesgo.</i> .....	17
4.1.3 <i>Métodos para análisis de criticidad.</i> .....	21
4.2 MARCO CONCEPTUAL .....	25
4.2.1 <i>Abreviaturas</i> .....	26
4.2.2 <i>Definiciones.</i> .....	26
4.2.3 <i>Jerarquía funcional y análisis de criticidad.</i> .....	28
4.2.4 <i>Aplicación del análisis de criticidad.</i> .....	29
<b>5. ANALISIS DE CRITICIDAD METODOLOGIA INTERNACIONAL NORZOCK ESTÁNDAR Z-008 ESTACION CHIMITA. ....</b>	<b>36</b>
5.1 REQUERIMIENTOS BASICOS.....	36
5.1.1 <i>Propósito del análisis.</i> .....	36
5.1.2 <i>Documentación técnica.</i> .....	36
.....	40

.....	40
5.1.3 <i>Identificación de los sistemas de la instalación</i> .....	40
<i>Fuente: Propia para esta monografía</i> .....	41
5.1.4 <i>Criterios de decisión</i> .....	41
5.1.5 <i>Evaluación de los sistemas</i> .....	43
5.1.6 <i>Identificación de los sistemas y codificación</i> .....	45
<b>6. PLAN DE MANTENIMIENTO</b> .....	<b>53</b>
6.1 PROCESO DE FILTRACIÓN.....	53
6.2 PROCESO DE REGULACIÓN.....	54
6.3 PROCESO DE MEDICIÓN.....	56
6.4 PROCESO DE ODORIZACIÓN.....	56
6.5 PROCESO DE CALENTAMIENTO.....	58
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD POR PUNTOS.....	19
FIGURA 2. DETERMINACIÓN DEL RIESGO.....	20
FIGURA 3. DIAGRAMA DE PROCESO PARA DEFINIR LA ESTRUCTURA FUNCIONAL Y EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	29
FIGURA 4: DIAGRAMA DEL PROCESO PARA ESTABLECER UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.....	30
FIGURA 5. ILUSTRACIÓN DE LA JERARQUÍA.....	35
IMAGEN 6. ESTACIÓN CHIMITA.....	37
FIGURA 7. DIAGRAMA P&D ESTACIÓN CHIMITA .....	38
FIGURA 8. DIAGRAMA FLUJO .....	39
FIGURA 9. DIAGRAMA Y PROCESOS .....	41

## Agradecimientos

*Como primera medida al **Todo Poderoso** por brindarme salud y vida, que me permitieran alcanzar este objetivo para crecimiento personal e intelectual.*

*A mi **familia**, mis padres y hermanos; quienes me han brindado su continuo apoyo en todos mis retos de vida, por ser ese pilar importante en mi vida que me impulsa cada día a ser una mejor persona y profesional.*

*Al cuerpo docente del posgrado de la cohorte XXVI en gerencia en mantenimiento.*

*Al equipo de profesionales de trabajo del posgrado.*

*A la gerente, **Claudia Patricia Laguado Escalante**, de la compañía Gases del Oriente S.A. E.S.P.; quién con su apoyo y gestión, generó el inicio de este nuevo objetivo.*

*A nuestro director **Manuel Martínez**, quien fue nuestra guía en el cierre del proyecto.*

**Adrián Gerardo Rosas Torres**

A **Dios** por darme Salud y vida.

A mis **Padres** que han sido un pilar fundamental en todos mis logros.

A mi esposa **Leidy Caicedo** e **hijas** por su apoyo en este proceso.

A la empresa **Metrogas de Colombia** por su colaboración para este logro.

A mi compañero de trabajo **Adrián Rosas**, por su compromiso en el desarrollo de este  
trabajo.

A la **Universidad Industrial de Santander**, a la Escuela de Ingeniería Mecánica, docentes y  
compañeros de posgrados por todo el apoyo brindado, por permitirme conocer personas con  
gran calidad profesional y humana.

**Ronald Jesús Ortiz Maldonado**

## RESUMEN

**TÍTULO:** MODELO DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA ESTACIÓN CHIMITÁ DE LA EMPRESA METROGAS S.A. E.S.P. EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA - SANTANDER<sup>1</sup>

**AUTOR:** ADRIAN GERARDO ROSAS TORRES, RONALD JESÚS ORTIZ MALDONADO<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** CRITICIDAD, DISTRIBUCIÓN, GAS NATURAL, REDUNDANCIA, CLASIFICACIÓN DE LA CONSECUENCIA.

### **DESCRIPCIÓN:**

Esta monografía presenta un análisis metodológico basado en la norma internacional NORZOK STANDAR Z-008, en clasificación de la consecuencia para la criticidad de equipos estáticos y rotativos, con la finalidad de evaluar su nivel funcional dentro de un proceso.

Posteriormente, se propone que, a partir de las condiciones de operación ya existentes en cada uno de los procesos, se logre identificar los equipos críticos que pueden afectar la continuidad del servicio, la cual refiere a la distribución de gas natural; mediante un análisis de consecuencias

---

<sup>1</sup> Monografía como Trabajo de Grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

basada en riesgos para cada uno de los equipos que conforman los procesos en la estación Chimita.

El producto de esta metodología es poder ser aplicable a estructuras semejantes o similares de la compañía y otras empresas del sector.

## ABSTRACT

**TITLE:** CRITICALITY ANALYSIS MODEL FOR STATION CHIMITÁ OF THE COMPANY METROGAS S.A. E.S.P. IN THE CITY OF BUCARAMANGA - SANTANDER <sup>3</sup>.

**AUTHOR:** ADRIAN GERARDO ROSAS TORRES, RONALD JESÚS ORTIZ MALDONADO<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** CRITICALITY, DISTRIBUTION, NATURAL GAS, REDUNDANCY, CLASSIFICATION OF THE CONSEQUENCE.

### DESCRIPTION:

This monograph presents a methodological analysis based on the international norm NORZOK STANDAR Z-008, in classification of the consequence for the criticality of static and rotating equipment, with the purpose of evaluating its functional level within a process.

Subsequently, it is proposed that from the operating conditions already existing in each of the processes, it is possible to identify the critical equipment that can affect the continuity of the service, which refers to the distribution of natural gas; through a risk-based consequences analysis for each of the teams that make up the processes at the station Chimitá.

---

<sup>3</sup> Monograph as specialization degree work.

<sup>4</sup> Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

The product of this methodology is to be applicable to similar structures of the company and other companies in the sector.

---

## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día el ambiente competitivo de las empresas de Gas Natural en mantenimiento está caracterizado por una serie de requisitos en materia de seguridad de procesos que han obligado a las compañías a cambiar su forma tradicional de desarrollar sus operaciones. Es importante que las empresas se esfuercen a adaptarse más rápidamente a realidades nuevas y complejas. La rapidez de los cambios en este ambiente de negocio ha obligado a las organizaciones a invertir y tomar decisiones basadas en información incompleta, incierta o imprecisa y al mismo tiempo, a cumplir con las exigencias de servicio a menor costo y con mayores niveles de calidad y confiabilidad.

Durante muchos años las empresas se han limitado al diseño de sus planes de mantenimiento pensado en las recomendaciones de fabricantes, base de fallas ocurridas, en la experiencia operacional interna y externa. Adicionalmente se separaba al operador de las actividades de mantenimiento de los equipos. Esta práctica ha generado una visión truncada de los requerimientos reales de mantenimientos de los activos y sin considerar los niveles de riesgo asociados (seguridad, higiene y medio ambiente) y su impacto en procesos, así como también la condición de los equipos estáticos para la selección de las estrategias de inspección y frecuencias; en el ámbito del sector de la distribución del gas natural.

El reconocimiento de estas limitaciones de los diseños tradicionales de planes de mantenimiento ha permitido el nacimiento de nuevas metodologías como “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, “Inspección Basada en Riesgo”, “Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento” y “Diseño de Planes y Programas de Activos Basados en Confiabilidad”.

Debido a estos cambios y con el fin de optimizar los planes de mantenimiento mediante la integración de diferentes metodologías mencionadas anteriormente se agruparán métodos que permitan mejorar tiempos de generación en planes de cuidado y a su vez generar una lista jerarquizada de equipos por nivel de criticidad.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Aplicar una metodología del mantenimiento que permita identificar los equipos críticos de una estación de distribución de gas natural por medio de análisis de consecuencias.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Proponer una metodología, que defina el procedimiento para estimar la criticidad y su respectivo desarrollo aplicado a la empresa de distribución de gas natural; facilitando la toma de decisiones y priorización de los recursos sobre los equipos que realmente lo ameriten.

Determinar la criticidad de activos por equipos de la estación puerta ciudad Chimita a través de la metodología establecida.

Proponer plan de mantenimiento a equipos identificados como críticos en los procesos de la estación chimita y estructurar de forma eficiente los recursos.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Considerando el planteamiento del problema se establecerán oportunidades de mejora en la gestión de actividades de operaciones y mantenimiento, basados en las buenas prácticas de la industria. Con la presente monografía en modalidad de trabajo de profundización, se pretende desarrollar y divulgar aquellos elementos, mejores prácticas y actitudes con el propósito de asistir al personal de la compañía, dejando a su disposición un procedimiento práctico, que permita replicar la metodología aplicada en análisis de criticidad para las otras estaciones de distribución de gas natural que sean propiedad de la compañía.

De acuerdo con lo anterior, se busca evaluar el grado de criticidad de cada uno de los elementos y procesos de operación y mantenimiento en la estación Chimitá en el sistema de distribución de gas natural que permita garantizar la operación y optimizar recursos en el proceso operativo de mantenimiento y gestión de integridad como mejoramiento del servicio.

El grado de objetivos y cumplimiento de estos, permitirá ubicar a la organización en una metodología confiable que lleve a la empresa a un nivel de madurez de lo mejor en su clase.

## **4. MARCO TEÓRICO**

En el desarrollo de esta monografía resulta indispensable comprender el marco teórico en el que surge la propuesta de aplicar una metodología de análisis de criticidad en la estación Chimita de distribución de Gas Natural. Bajo este enfoque simplificado se determina la criticidad de los activos.

Cuando se habla de análisis de criticidad se hace referencia a la gestión del riesgo asociado a la ocurrencia de un evento o falla, en la actualidad el análisis de criticidad puede ser desarrollado en diferentes técnicas: Cualitativas, semi cuantitativa y cuantitativa, pero también existen varios métodos que pueden ser empleados dentro de ellos podríamos nombrar (Método de Ciliberti , Método Norzok Z008, Método de flujograma análisis de criticidad, Método de criticidad total por riesgo y proceso de análisis jerárquicos APH).

### **4.1 MARCO TEÓRICO**

#### **4.1.1 Análisis de criticidad.**

El autor Amendola (2006, p. 29) explica que el Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, dirigiendo el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual.

Al respecto Yáñez (2007, p. 20) señala que el análisis de criticidad “Es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen los rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias”.

Por tanto, el Análisis de Criticidad puede ser aplicado en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en los procesos o negocios, resultando una excelente manera para la toma de decisiones con respecto a direccionar los recursos y esfuerzos.

#### **4.1.2 Técnicas de Análisis de Riesgo.**

Existen diferentes técnicas para dimensionar el riesgo, todas ellas enmarcadas en tres modalidades técnicas “Cualitativas”, “Semi-Cuantitativas” y técnicas “Cuantitativas”.

**4.1.2.1 Técnicas cualitativas.** Las técnicas cualitativas como su nombre lo indica, obedecen a razonamiento de naturaleza cualitativa, donde la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos y de sus respectivas consecuencias se realiza utilizando una escala relativa donde no se establecen rangos numéricos explícitos. La estimación del riesgo requiere valorar la probabilidad de ocurrencia de un evento (frecuencia de ocurrencia) y las consecuencias que tendría dicho evento. Las técnicas cualitativas, proponen estimar ambos términos, calificándolos como se muestra a continuación:

Estimación cualitativa de la frecuencia

1. Extremadamente improbable
2. Improbable

3. Algo probable

4. Probable

5. Muy probable

#### Estimación cualitativa de consecuencias

A. No severa

B. Poco severas

C. Medianamente severas

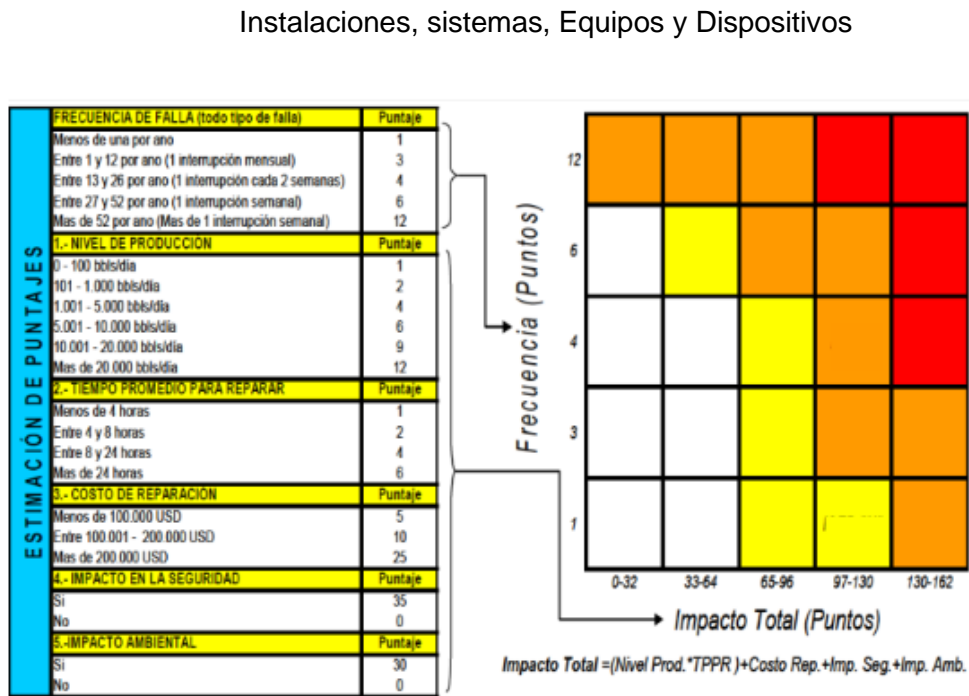
D. Muy severas

E. Extremadamente severas

Una vez que las probabilidades de cada evento han sido estimadas conforme a la escala relativa descrita anteriormente; y además las consecuencias han sido categorizadas dependiendo de su severidad relativa, se puede estimar cualitativamente el riesgo asociado a cada escenario considerado y agrupar los escenarios en diferentes grupos donde las probabilidades y consecuencias sean equivalentes. Una debilidad de esta técnica es que, debido a su naturaleza cualitativa, en ciertas ocasiones y dependiendo de la percepción de los analistas, un mismo evento podría ser categorizado en diferentes escalas; de allí la importancia de establecer cierto esquema referencial para definir en forma más explícita los diferentes niveles de probabilidades y consecuencias, y por otra parte conservar el mismo equipo de trabajo durante todo el desarrollo del análisis de riesgo.

Un ejemplo de esta técnica de análisis cualitativo es la metodología de puntos mostrada en la figura 1.

**Figura 1.** Metodología de análisis de criticidad por puntos, de donde ISED significa:



Fuente: Gutiérrez et al. (2007).

**4.1.2.2 Técnicas Semi-Cuantitativas.** Al igual que las técnicas cualitativas, son técnicas denominadas blandas, de fácil manejo y comprensión, las cuales generan un valor de criticidad, proporcional al riesgo, que permite jerarquizar opciones para tomar una decisión, sobre componentes en un sistema, equipos o subsistemas de una instalación, etc., sin embargo, por su carácter semicuantitativo no permiten obtener valores absolutos de riesgo y por ende no son las más adecuadas para establecer un nivel de tolerancia al riesgo. En las técnicas semi-



### **4.1.3 Métodos para análisis de criticidad.**

Durante el proceso de concepción y diseño de una estructura de criticidad para un sistema, proceso o negocio, se recomienda tomar en cuenta tres aspectos (las tareas que se deben hacer):

- Realizar un exhaustivo análisis estadístico de los eventos de falla y de su impacto global en el negocio, ello es para establecer rangos relativos para las frecuencias de falla y para los impactos o consecuencias de falla.
- Establecer claramente y como un acuerdo aceptado, lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable; lo cual implica un adecuado análisis de “tolerancia al riesgo” en toda la organización, la revisión de las normas, estándares y regulaciones vigentes por tipo de proceso.
- Lograr un “gran acuerdo” el cual debe ser aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la estructura de criticidad y se unifican criterios para su interpretación y correcta utilización.

Las tareas que se deben hacer implican un apropiado y considerable esfuerzo de análisis, que conlleva el consumo de recursos y tiempo; por esta razón, muchas organizaciones deciden buscar entre las estructuras de criticidad ya diseñadas y probadas para adoptar una de estas metodologías (la que mejor se adecue a la naturaleza del proceso o negocio bajo análisis).

A continuación, se describen brevemente algunas de las metodologías de criticidad de más amplia aceptación en la industria de procesos.

**4.1.3.1 Método de Ciliberti.** Este enfoque de carácter cualitativo combina dos matrices de criticidad; una construida desde la óptica de seguridad de los procesos y otra construida desde la óptica del impacto en producción. Ambas matrices se integran en una matriz de criticidad global, para obtener la criticidad total del equipo estudiado. Es el más completo de los métodos, ya que considera las probabilidades y consecuencias en las áreas de SHA y producción separadamente y luego une los resultados

El análisis comienza cuando el analista evalúa las consecuencias y las probabilidades del criterio de seguridad, higiene y ambiente, junto con el criterio de proceso del activo que estará siendo analizado. Los datos de entrada para el análisis son: las condiciones operacionales, la probabilidad de falla, la consecuencia, la pérdida de la producción, otros a considerar. Los valores arrojados por el análisis se introducen en la matriz correspondiente a cada criterio (primera matriz), ello da como resultado la criticidad para el criterio de SHA. Para el criterio de proceso, estos valores se introducen en la segunda matriz para ajustar los niveles de criticidad obtenidos de la matriz anterior, ello con el fin de obtener el nivel de criticidad para el activo analizado. Finalmente, ambos resultados se combinan en una matriz resultante.

**4.1.3.2 Mantenimiento Basado en Criticidad.** Proceso de análisis de criticidad muy similar a la metodología HAZOP (Hazard Analysis Study) para priorizar el mantenimiento de equipo para las industrias del gas y petróleo y las industrias de procesamiento de producto petroquímico. Este método (CBM) sopesa equitativamente el impacto en el proceso y seguridad para establecer la criticidad del activo. Este enfoque optimiza la eficacia de programas de integridad mecánica enfocados en los activos más importantes o críticos. Este método emplea algunos criterios particulares para determinar el nivel de criticidad, como, por ejemplo, disminuye el nivel de criticidad a uno menor si el equipo cuenta con un respaldo o equipo en espera. Todos los equipos del proceso se evalúan con énfasis igual en el peligro (salud, seguridad, y ambiental) y criterios

de proceso. Cada equipo recibe un grado compuesto basado en las entradas del peligro y del proceso. El grado compuesto se utiliza para establecer una graduación de la criticidad del proceso y del peligro (PHCR) para ese equipo. El valor de PHCR es una graduación relativa en una jerarquía total de la criticidad que se utilice para determinar las prioridades para los programas de mantenimiento, las inspecciones y las reparaciones.

**4.1.3.3 Criticidad Basada en NORSOK STANDARD Z-008.** El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho más amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevas y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes, considerando los riesgos relacionados con: personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos.

El estándar NORSOK Z-008 aplica para equipos mecánicos (estáticos y rotativos), instrumentos y equipos eléctricos.

**4.1.3.4 Método del flujograma.** Este método fue propuesto por uno de los autores mencionados anteriormente (Crespo-Márquez, 2007), en el mismo se presenta una técnica que hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de equipos de producción. Como se puede

observar en la figura 1.5 el resultado del proceso es una clasificación de los equipos en tres categorías: A, B, C siendo los equipos del tipo A los de mayor prioridad. Para llegar a esa clasificación final se procede de forma secuencial a realizar una serie de preguntas al equipo natural de trabajo conformado en la empresa para tal fin. La secuencia marca la importancia que da el equipo de trabajo a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad de este. De alguna forma, el orden en la secuencia marca el peso que se le da en su gestión a cada atributo. De cada pregunta existen tres respuestas posibles A, B y C que sirven para caracterizar el equipo. Modelo de criticidad semicuantitativo "CTR" (Criticidad Total por Riesgo) Este modelo constituye un proceso de análisis semicuantitativo soportado en el concepto de riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad de este. Este método ha sido ampliamente desarrollado por consultoras y empresas internacionales y adaptadas a un número importante de industrias.

**4.1.3.5 Inspección Basada en Riesgo (IBR).** Este análisis de criticidad se basa en la aplicación de la etapa inicial (fase de análisis cualitativo) del estudio de IBR (inspección basada en riesgo), fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581. Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

La metodología es específica para el análisis de criticidad en equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

La metodología permite la ubicación de los equipos analizados en una matriz de 5x5 (Ver figura 2) con cinco niveles de clasificación.

La metodología de IBR además de permitir determinar el nivel de riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema sometidos a procesos de corrosión, también permite evaluar la efectividad del plan de inspección para reducir dicho riesgo.

En dicha metodología se define la falla como cualquier evento que ocasione la rotura de los límites del equipo. Por lo cual se puede afirmar que la falla considerada en IBR es la pérdida de la función de contención del fluido presurizado, dicho en otras palabras, la fuga del fluido presurizado al medio ambiente.

Un programa exhaustivo de IBR debe incluir todos los equipos estáticos que componen la barrera de contención de presión del sistema en evaluación, de acuerdo con las necesidades del usuario.

## **4.2 MARCO CONCEPTUAL**

Con el propósito de generar una metodología y crear un procedimiento son aplicables los términos y definiciones de la Norma Norzok-08, que se incluirán en esta monografía como facilidad de consulta y metodología aplicable.

#### 4.2.1 Abreviaturas

H	Oculto – se refiere a fallo no visible durante la operación
C	Costo
D	Distribución – se refiere a afectación a la continuidad del servicio
MF	Función principal
FF	Fallo funcional
AMEF	Análisis de modos efecto falla
EFS	Elementos funcionalmente significativos
END	Ensayo no destructivo
RCM	mantenimiento centrado en la confiabilidad (del inglés Reliability Centered Maintenance)

#### 4.2.2 Definiciones

**Mantenimiento bajo condiciones:** Mantenimiento preventivo que consiste en la supervisión del rendimiento y de los parámetros y las acciones posteriores (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Análisis de criticidad:** análisis cuantitativo de eventos y fallas y la clasificación de estos en orden de gravedad de sus consecuencias (BS 3811) (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Fallo:** Es la terminación de la capacidad de un elemento para realizar una función requerida (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Mecanismo de Falla:** Son aquellos procesos físicos, químicos o de otro tipo que conducen o han llevado al fallo (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Tasa de fallas:** Es el número de fallas de un elemento en un intervalo de tiempo dado dividido por el intervalo de tiempo (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Modo de Falla:** Se refiere a uno de los posibles estados de un elemento defectuoso, para una determinada función requerida (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Análisis y efecto de la falla:** Es un método cualitativo de análisis de confiabilidad que involucra el estudio de los modos de falla que pueden existir en cada subelemento del elemento y los efectos de cada modo de falla en otros subelementos del elemento y en las funciones requeridas del elemento (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Análisis de modos, efectos y criticidad de fallas:** Es un método cuantitativo de análisis de confiabilidad que implica un análisis de modos y efectos de falla junto con una consideración de la probabilidad de modos de falla, sus consecuencias y clasificación de efectos y la gravedad de las fallas (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Fallo oculto:** Es el fallo que no es evidente para el operador durante el funcionamiento normal (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Peligro:** Es aquella situación que podría ocurrir durante la vida útil de un producto, sistema o planta que tiene el potencial de causar lesiones humanas, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o pérdidas económicas (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Mantenimiento:** Es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, incluida las acciones de supervisión, durante el ciclo de vida de un elemento con la intención de mantenerlo o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar la función requerida (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Análisis de mantenimiento:** Es un análisis sistemático para la identificación y evaluación de las actividades de mantenimiento requeridas, incluida la estimación del tiempo y los recursos necesarios para el desempeño del mantenimiento (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Gestión de mantenimiento:** Son todas las actividades la gestión que determina los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y las implementa por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control y la supervisión del mantenimiento, la mejora de los métodos en la organización, incluidos los aspectos económicos (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

**Mantenimiento preventivo:** Es el mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescritos y destinado a reducir la probabilidad de falla o la degradación de la función de un elemento (NORSOK STANDARD Z-008, 2001).

#### **4.2.3 Jerarquía funcional y análisis de criticidad**

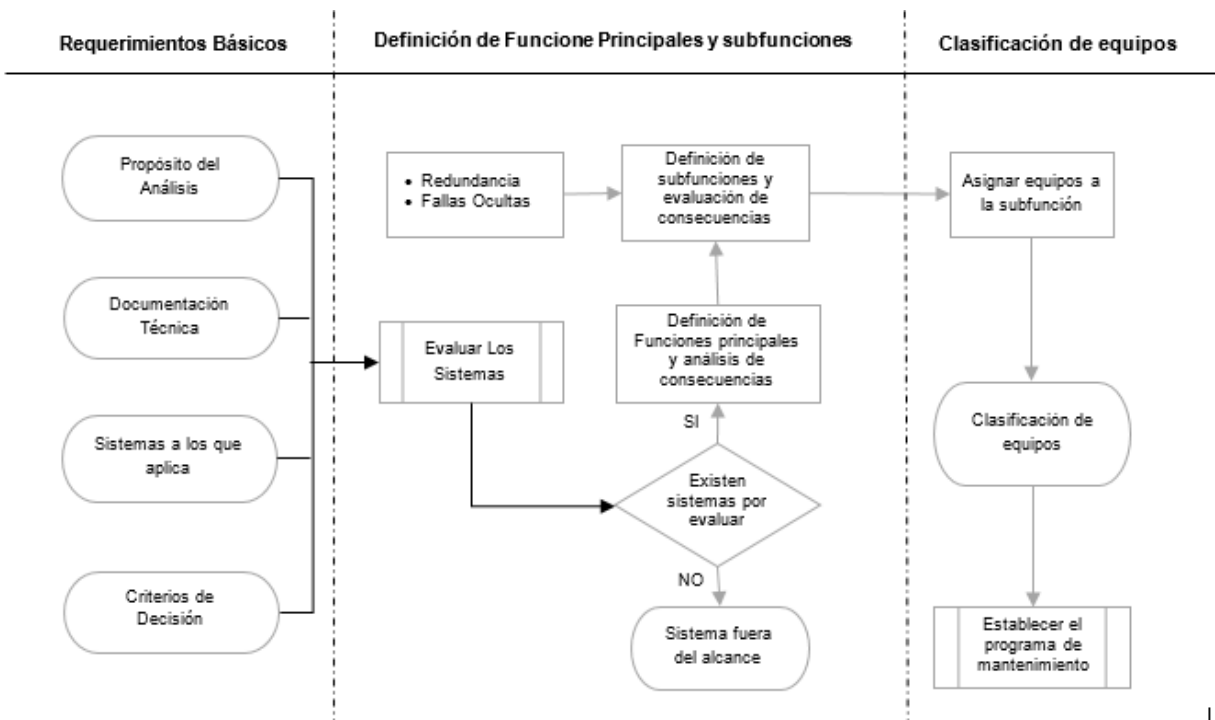
A continuación, se describen los pasos para definir una jerarquía funcional y llevar a cabo el análisis de criticidad, que permite establecer una base para decisiones basadas en los riesgos relacionadas con la gestión de mantenimiento.

El proceso general, que se muestra en la (figura 3), describe sistemáticamente el desglose de los sistemas de la facilidad o instalación en los elementos adecuados para el análisis de criticidad.

Para comprender mejor la aplicación práctica del desglose sistemático de los sistemas e el análisis de criticidad, en el numeral 4.2.4 se describe los lineamientos para establecer un

programa de mantenimiento basado en conceptos de mantenimiento genérico o en métodos RCM

**Figura 3.** Diagrama de proceso para definir la estructura funcional y el análisis de criticidad



Fuente: - Tomado de figura 1 de Norzok Estándar 08 – traducción propia

#### 4.2.4 Aplicación del análisis de criticidad

##### 4.2.4.1 Programa de mantenimiento

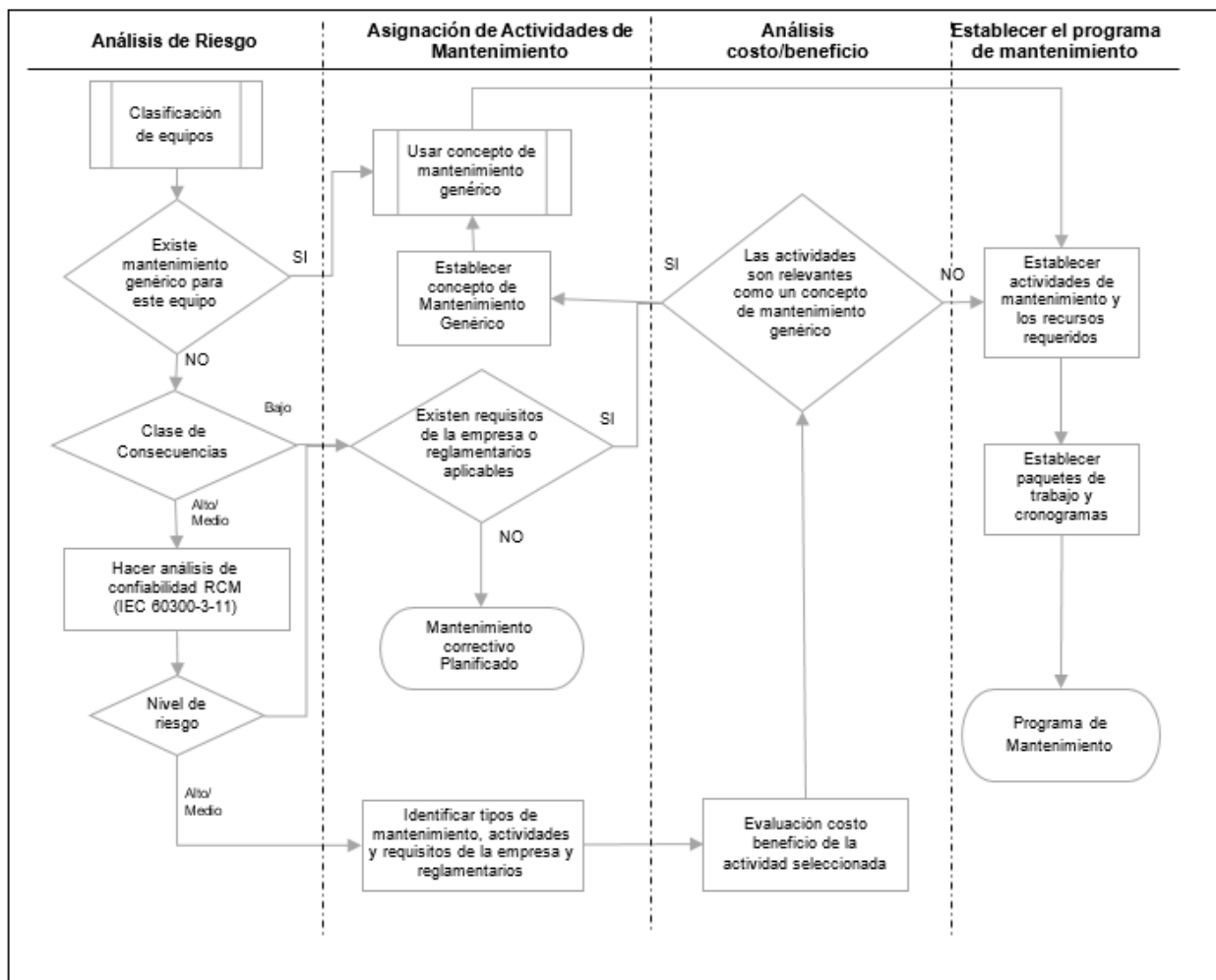
**4.2.4.1.1 Diagrama de proceso.** El diagrama de proceso para establecer un programa de mantenimiento se muestra en la figura 4.

**4.2.4.1.2 Establecer las actividades de mantenimiento preventivo.** Las actividades de mantenimiento preventivo se pueden establecer de dos maneras diferentes:

- Mediante el uso de un análisis de mantenimiento detallado.
- Mediante el uso de conceptos de mantenimiento genéricos relevantes, como se describe a continuación.

Ambos métodos se aplican al análisis de criticidad.

**Figura 4:** Diagrama del proceso para establecer un programa de mantenimiento.



Fuente: Tomado de Norzok-Z008 Traducción Propia

**4.2.4.1.3 Requisito para el análisis de mantenimiento.** Para garantizar que los equipos importantes se mantengan correctamente, se requieren decisiones suficientemente documentadas.

Para los equipos clasificados como "Bajo" no se requiere documentación. Si está clasificado como "Medio" o "Alto" la documentación debe basarse en un análisis de mantenimiento.

Si el análisis de mantenimiento se ha realizado previamente en equipos idénticos o similares (grupo de equipo tipo genéricos) y documentados como un concepto de mantenimiento genérico, solo es necesario documentar lo siguiente:

*Baja consecuencia:*

- Verificar si los requisitos específicos de la empresa o reglamentarios son aplicables.
- Verificar que las actividades de servicio básico sean adecuadas y rentables.

*Medio y alto:*

Un análisis de mantenimiento que consta de los siguientes elementos:

- Si se aplican requisitos específicos de la empresa o reglamentarios (incluidos los supuestos y los requisitos de o para el análisis de riesgos).
- Modos de falla predominantes con probabilidad aproximada de la falla.
- Mecanismos de falla con probabilidad aproximada.
- Tiempo de reparación (aproximado).
- Actividades de mantenimiento seleccionadas para reducir la probabilidad de que dicho mecanismo de falla cause una falla en el intervalo.
- Que tan detectable es la falla.

Experiencia al usar una estrategia de mantenimiento conocida junto con un monitoreo periódico del resultado:

- Si esta alternativa se usa en un equipo, que realiza funciones críticas de seguridad donde no hay una falla evidente para el operador, se definirá el requisito de disponibilidad y se verificará el cumplimiento por pruebas documentadas
- El porcentaje de pruebas periódicas que resultan en "Falla en operar bajo demanda" puede usarse como el indicador de rendimiento.

También se recomienda incluir:

- Competencia requerida del personal de mantenimiento.
- Horas de trabajo estimadas para actividades de mantenimiento.
- Tiempo de reparación.
- Repuestos esenciales y plazos de entrega.

#### **4.2.4.1.4 Concepto de mantenimiento genérico**

**4.2.4.1.4.1 Generalidades.** Un concepto de mantenimiento genérico es un conjunto de acciones de mantenimiento, que demuestra un método de mantenimiento costo-eficiente para un grupo genérico de equipos definidos que funcionan en forma y condiciones similares.

El uso del concepto de mantenimiento genérico debe garantizar que todos los requerimientos definidos de HSE, distribución del gas, costos y otros requisitos operativos se cumplen. El concepto debe incluir diseño relevante y entornos operativos.

Se deben definir los indicadores de desempeño apropiados y los correspondientes criterios de aceptación para asegurar las funciones críticas

**4.2.4.1.4.2 Aplicación de conceptos de mantenimiento genérico.** Se pueden desarrollar conceptos de mantenimiento genéricos para:

- Reducir el esfuerzo en la implementación del programa de mantenimiento.
- Asegurar actividades de mantenimientos uniformes y consistentes.
- Facilitar el análisis de grupos de equipos.
- Proporcionar la documentación adecuada de las estrategias de mantenimiento seleccionadas.

Se puede utilizar un concepto de mantenimiento genérico cuando:

- El grupo de equipos tiene un diseño similar.
- El equipo tiene modos de falla y frecuencias de falla similares.
- La cantidad de equipos similares justifica un concepto genérico.

**4.2.4.1.4.3 Documentación del concepto de mantenimiento genérico.** El alcance de la documentación diferirá según la complejidad del equipo y el riesgo asociado. El concepto debe permitir el ajuste de las actividades de mantenimiento de acuerdo con los cambios en las condiciones operativas establecidas

Además de lo que se define en el requisito de análisis de mantenimiento (véase 3.1.19), la documentación debe describir:

- Generalidades
- Descripción de la clase de equipo genérico.
- Funcionamiento físico y condiciones operativas.
- Experiencias operativas.
- Normativa y requisitos de la empresa.

- Definición de pérdida de función y cuantificación del nivel de aceptación para funciones críticas de seguridad.

**4.2.4.1.5 Preparación de paquetes de mantenimiento e inspección.** Para lograr una gestión eficaz de los recursos utilizados para fines de mantenimiento, todos los equipos deben organizarse en una jerarquía.

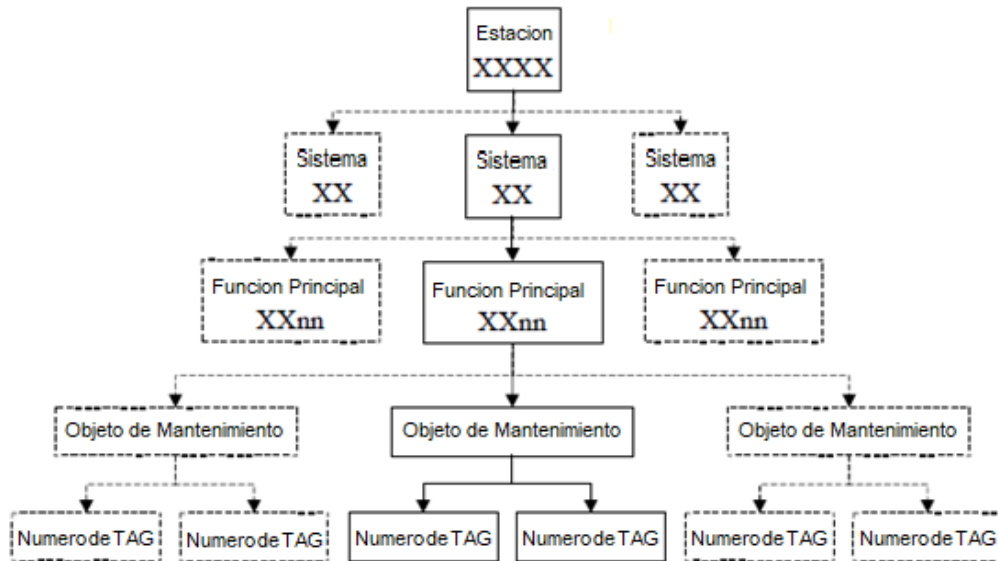
Un programa de mantenimiento se divide en paquetes de trabajo programados de tamaño adecuado para adaptarse a la organización y los recursos disponibles. Estos paquetes se asignan a objetos de mantenimiento (ver Figura 4) haciendo que el nivel más bajo en la jerarquía conlleve el costo del programa de mantenimiento. Por eso, todos los elementos a mantener deben identificarse antes de establecer el programa de mantenimiento.

El nivel en el que se establecen los objetos de mantenimiento se rige por la ejecución práctica y la necesidad individual de monitorear y controlar los diferentes programas de mantenimiento.

Para el mantenimiento correctivo donde las órdenes de trabajo pueden asignarse a cualquier equipo etiquetado, el costo será rastreable a un nivel inferior, pero incluso este costo debería ser posible rastrearlo al mismo nivel que para los objetos de mantenimiento utilizados en los programas de mantenimiento.

Esta información es parte de los datos necesarios para realizar una evaluación y optimización de la estrategia de mantenimiento. Si los datos están vinculados al nivel del TAG más bajo, la jerarquía hará posible resumir esta información al nivel apropiado, que podría ser el objeto de mantenimiento o MF como se muestra en la Figura 2.

**Figura 5.** Ilustración de la Jerarquía.



Fuente: Tomado de Norzok-Z008 Adaptación Propia

**4.2.4.1.6 Equipo crítico sin redundancia.** Todas las funciones secundarias y las etiquetas asociadas que podrían conducir al cierre de un sistema (o de toda la planta) se pueden identificar por medio de los datos establecidos durante el análisis de criticidad. Esto podría aplicarse para la priorización de recursos y atención hacia los equipos vulnerables con respecto a HSE y producción.

## **5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD METODOLOGÍA INTERNACIONAL NORZOCK ESTÁNDAR Z-008 ESTACIÓN CHIMITA.**

El presente aplica a los equipos que se consideren críticos para asegurar las condiciones de seguridad de la operación y la continuidad del servicio.

### **5.1 REQUERIMIENTOS BÁSICOS.**

Basados en el marco conceptual numeral 4.2.3 continuación, se describen las condiciones necesarias para el análisis de criticidad estación Chimita.

#### **5.1.1 Propósito del análisis.**

Establecer los lineamientos para el análisis de criticidad de equipos y procesos de la estación Chimita del sistema de distribución de Metrogas S.A. E.S.P. como base para establecer el plan y programa de mantenimiento en la optimización de recursos.

#### **5.1.2 Documentación técnica.**

**5.1.2.1 Descripción detallada de la facilidad y sus sistemas.** La estación Chimita está ubicada en la ciudad de Bucaramanga, en la cual se recibe el gas natural del sistema Nacional de transporte a presiones entre 750 psig y 1200 psig, como punto de transferencia y custodia.

Está compuesta de 5 etapas de procesos: Filtración, Calentamiento, regulación, medición y odorización del gas.

**Figura 6.** Estación Chimita



Fuente: Propia

#### **5.1.2.1 Requerimientos de Capacidad.**

Está diseñada para una capacidad de suministro de 10.000 m<sup>3</sup>/h.

#### **5.1.2.2 Condiciones de operación:**

- Presión de entrada: **750 a 1200 psig**
- Presión de salida regulación: **250 psig**
- Temperatura entrega del gas: **16 y 20 Celsius.**
- Nivel de odorización: **18 a 20 mg/m<sup>3</sup>.**

### 5.1.2.3 Descripción de los equipos.

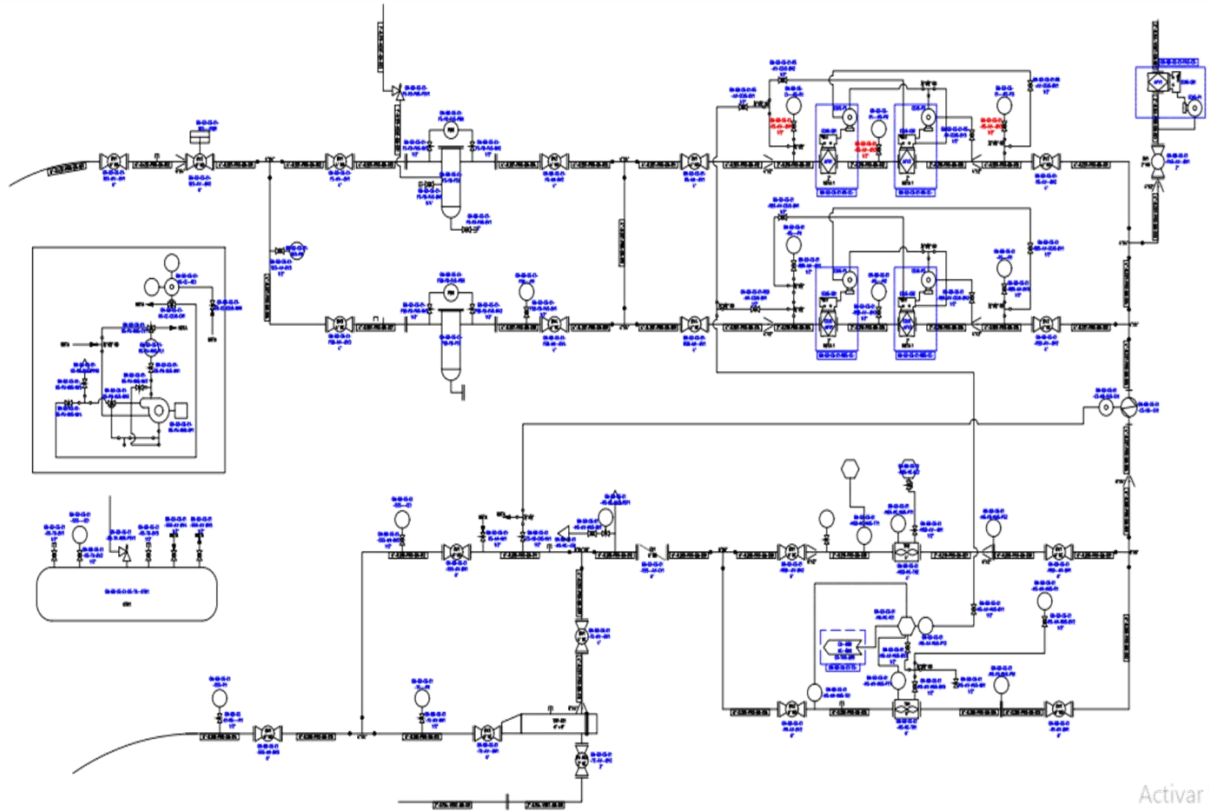
De acuerdo con el numeral 5.2.1 se realiza una breve descripción de los procesos:

- **Filtración:** Encargado de filtrar el flujo de gas para remoción de condensados y partículas que resulten dentro del sistema de tuberías.
- **Calentamiento:** Transmite calor al gas logrando su expansión para mantener la demanda prevista.
- **Regulación:** Regula la presión de entrada usando válvulas reguladoras en configuración monitor – trabajador.
- **Medición:** Registra el volumen de gas que fluye por el sistema realizando corrección por temperatura, presión y calidad del gas.
- **Odorización:** Añade compuesto químico con olor característico para permitir su detección.

### 5.1.2.4 P&D.

A continuación, se muestra en la figura 7. El diagrama de tuberías e instrumentación relacionados del flujo de un proceso físico.

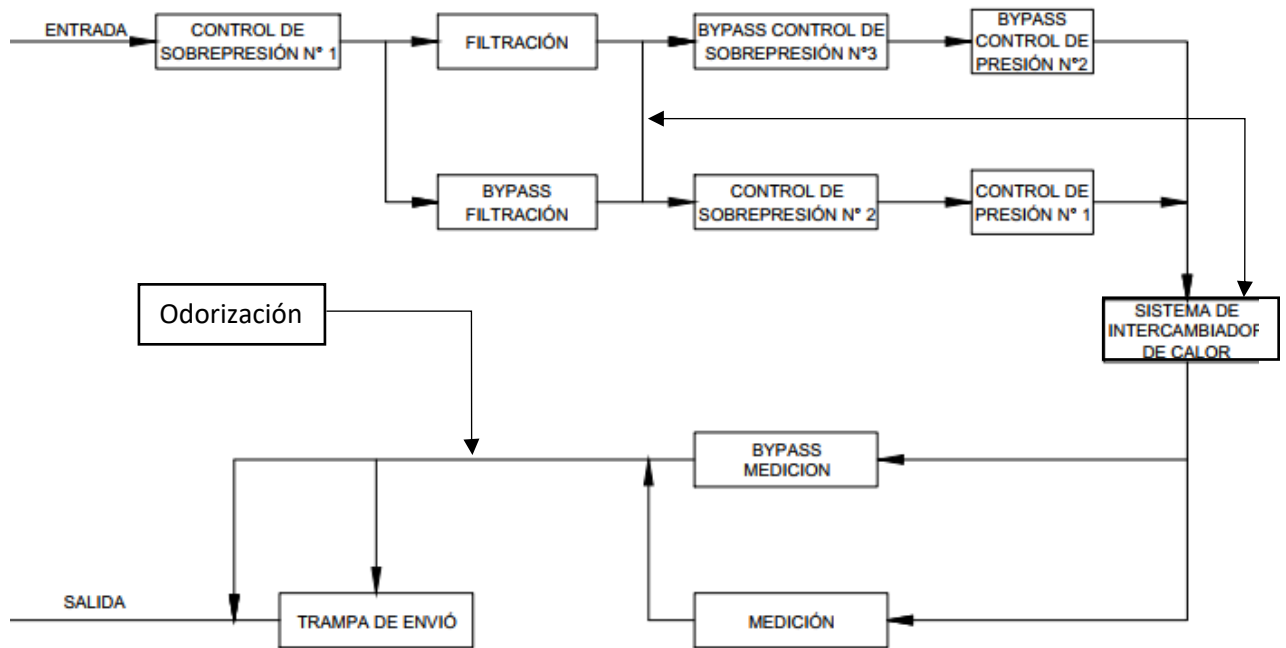
**Figura 7.** Diagrama P&D Estación Chimita



Fuente: Propia METROGAS S.A. E.S.P.

### 5.1.2.5 Diagrama de flujo.

Figura 8. Diagrama flujo

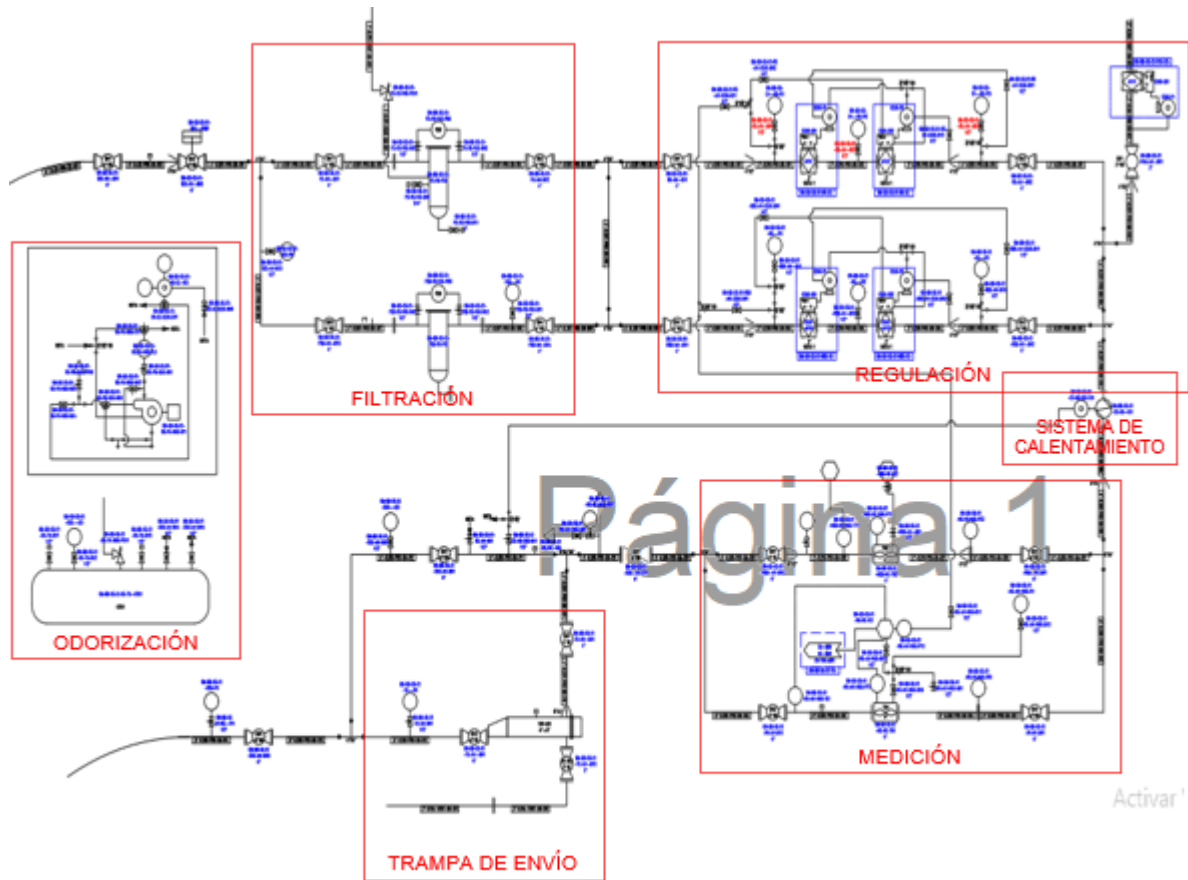


Fuente: Propia METROGAS S.A. E.S.P.

### 5.1.3 Identificación de los sistemas de la instalación

Los sistemas y sus límites están definidos mediante el uso de un sistema de numeración aplicado en la ingeniería entregada por la empresa.

Figura 9. Diagrama y procesos



Fuente: Propia para esta monografía.

#### 5.1.4 Criterios de decisión.

Para el análisis de criticidad que evalúa las consecuencias de las fallas y el grado de redundancia en el funcionamiento, se deben definir correctamente las clases de consecuencia antes de realizar el análisis. La definición de las clases de consecuencias debe hacerse de acuerdo con los criterios generales de seguridad de la empresa y el medio ambiente, y deben reflejar la operación real de la facilidad cuando se trata de pérdidas económicas.

Para clasificar el efecto más grave de pérdida de funcionalidad (tanto pérdida de MF como de subfunciones) se debe aplicar las clases de consecuencias definidas en la tabla 1, a menos que se especifique lo contrario.

Se debe tener en cuenta que la pérdida de la capacidad de distribución también genera un valor monetario que se debe tener en cuenta en el cálculo del 'Costo'<sup>5</sup> dentro de cada clase.

**Tabla 1 Clasificación general de las consecuencias.**

Clasificación General de las Consecuencia			
Clase	Salud, Seguridad y Medio Ambiente (HSE)	Distribución	Costo (Pérdida de distribución)
<b>Alta</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
	Posibilidad de graves lesiones al personal Evento de sistemas críticos de seguridad inoperable Riesgos de incendio en zonas clasificadas.	Parada en la distribución Reducción significativa del caudal de distribución que exceda 1 hora	8% ≤ Pérdidas < 10% del EBITDA Total.
<b>Medio</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
	Posibilidad de lesiones que requieren tratamiento medico Efecto limitado sobre los sistemas de seguridad No hay riesgo de incendio en zonas	Breve parada en la distribución o Reducción en el caudal de distribución de duración	2% ≤ Pérdidas < 5% del EBITDA Total.
<b>Baja</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
	No hay posibilidad de lesiones No hay riesgo de incendio o efecto sobre los sistemas de seguridad No hay posibilidad de contaminación	Ningún efecto sobre la distribución en un periodo de tiempo definido	Pérdidas < 2% del EBITDA Total.

**Fuente:** Propia de monografía, Tomado de Norzok-Z008

<sup>5</sup> Los intervalos de costo que se establecen en la tabla 1 fueron tomados de los parámetros generales de clasificación de riesgos de la compañía

De la misma manera, la pérdida de la subfunción "Contención", es decir, fuga de gas al ambiente, requiere una evaluación separada para reflejar las mejores prácticas para planificación de la inspección. Esto se aplica a las consecuencias para la salud, la seguridad y el medio ambiente, mientras que las consecuencias para la pérdida de distribución y otros costos son similares para todo tipo de fallas. La Tabla 3 proporciona pautas para la evaluación de las consecuencias para la seguridad del personal, mientras que las consecuencias para el ambiente externo en el contexto ambiental se consideran para el gas natural que es un hidrocarburo inflamable y en algunos casos para el odorante, ambos considerados con nivel de consecuencias ALTA respecto a HSE.

**Tabla 2. Consecuencias para pérdidas de contención**

Clasificación de las Consecuencia por escape (no hermeticidad) o pérdida de contención			
Clase	Salud, Seguridad y Medio Ambiente (HSE)	Distribución	Costo (Pérdida de Producción)
Alta	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
	Cuando la sustancia es:	En cuanto a la distribución, la clase "Alta" en la tabla 1	En cuanto a Costo, la clase "Alta" en la tabla 1
	Hidrocarburos (altamente inflamables gases y aceite no estabilizado) y otro material inflamable		
	Líquidos y gases tóxicos.		
Líquido/vapor, superior a 50 °C o 10 bares.			
Medio	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
	Cuando la sustancia es:	En cuanto a la distribución, la clase "Media" en la tabla 1	En cuanto a Costo, la clase "Media" en la tabla 1
	Aceite estabilizado, diésel y otros menos gases y líquidos inflamables		
	Líquido/vapor, inferior a 50 °C y 1 bar		
	Sustancia tóxica en pequeño volumen.		
Diésel			
Baja	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
	Cuando la sustancia es:	En cuanto a la distribución, la clase "Baja" en la tabla 1	En cuanto a Costo, la clase "Baja" en la tabla 1
	Medios no inflamables.		
	Los gases atmosféricos y líquidos inocuos para los seres humanos y el medio ambiente		
Efectos tóxicos Insignificantes			

**Fuente:** Propia de monografía, Tomado de Norzok-Z008.

### 5.1.5 Evaluación de los sistemas

La primera actividad es seleccionar los sistemas que deben incluirse en el análisis. Los criterios de clasificación para los equipos de control del sistema de distribución de Metrogas S.A. E.S.P. fueron aquellos que se consideran como principales relacionados con la continuidad del servicio y el aseguramiento de las condiciones operacionales seguras del sistema de distribución. Incluidos sus sistemas de cierre, filtración, regulación, medición, odorización y control de la sobrepresión.

**5.1.5.1 General.** Cada estación debe dividirse en una serie de funciones principales (MF de las siglas en inglés “Main Function”) que cubran todo el sistema. Los MF son caracterizados por ser tareas principales como inyección, medición, intercambio de calor, regulación, compresión, almacenamiento, etc.

Cada MF recibe una designación única que consiste en un número (podría ser o coincidir con un TAG si corresponde) y un nombre que describa la tarea y el proceso. Los límites de la MF deben estar claramente definido en un P&ID u otra documentación relevante.

**5.1.5.2 Redundancia en las funciones principales.** La redundancia de las MF se debe especificar con respecto a la pérdida de la función de acuerdo con la tabla 4.

**Tabla 3. Consecuencias para pérdidas de contención.**

Clasificación de la Redundancia	
<b>A</b>	No hay redundancia, es decir, toda la Función Principal es necesaria para evitar cualquier pérdida de funcionalidad
<b>B</b>	Una unidad paralela puede sufrir un fallo sin influir en la función.
<b>C</b>	Dos o mas unidades paralelas pueden sufrir un fallo al mismo tiempo sin afectar la función.

**Fuente:** Propia de monografía, Tomado de Norzok-Z008.

### 5.1.6 Identificación de los sistemas y codificación.

Basados en la Figura 9, se establecen las funciones o procesos principales con una breve descripción para luego determinar la criticidad de cada uno de ellos.

**Tabla 4. Descripción de funciones de procesos**

IDENTIFICACION	PROCESO	DESCRIPCION
101	FILTRACIÓN	Filtra el flujo de gas para remoción de condensados que resulten dentro del sistema de tuberías
102	REGULACIÓN	Regula la presión de 750 psi a 250 psi usando válvulas axiales en configuración monitor – trabajador.
103	MEDICIÓN	Registra el volumen de gas que fluye por el sistema realizando corrección por temperatura y presión
104	ODORIZACIÓN	Añade compuesto químico con olor característico al gas para permitir su detección
105	SISTEMA CALENTAMIENTO	Trasmite calor al gas logrando su expansión para mantener la demanda prevista
106	TRAMPA DE ENVÍO	Sistema que permite el envío de elemento PIG de limpieza e inspección, a través del sistema de tuberías del gasoducto.

Una vez identificados los sistemas procedemos a evaluar su nivel de criticidad basados en la metodología aplicada referenciado los niveles según tabla 1, tabla 2 y tabla 3 de esta monografía.

### 5.1.6.1 Filtración

Se crea un formato basado en la metodología para realizar el análisis

Formato 1: Filtración (101).

		CRITICIDAD DE LAS FUNCIONES PRINCIPALES Y SUB-FUNCIONES (BASADO EN NORZOK Z-008)						FMT-001 11/11/2022 VERSION 1			
<b>Sistema</b>	ESTACION DE REGULACION DE GAS NATURAL		ERPC CHIMITA								
<b>Función Principal</b>	101	FILTRACIÓN		Unidades Paralelas	1	Capacidad por Unidad	100%	Grado de Redundancia		A	
<b>Documentos</b>	CÓDIGO ARCHIVO: AS-ERPCCHIMITA-RE-D-PL-005			REVISIÓN: (0)		Última actualización					
Fallo crítico con afectación del sistema en		1	Horas con 100% de reducción					<b>Criticidad</b>			
<b>Modo de falla</b>	<b>Efecto en el sistema</b>			<b>Efecto en las redes de distribución</b>				<b>HSE</b>	<b>Distr</b>	<b>Costo</b>	<b>Oculto</b>
Elemento filtrante inadecuado	No filtra/Impurezas en el fluido de gas.			Obstrucción en los elementos y/o asientos de los mismos, aguas abajo del filtro.				1	2	1	Y
Saturación de elemento filtrante	Caudal de gas reducido.			Restricción en el suministro de gas.				1	2	1	N
No indica presión diferencial	Sin indicación de la saturación del filtro			Sin efectos inmediatos				1	1	1	Y
Fuga de gas	Falta de torque o avería en los empaques			Restricción en el suministro de gas.				1	2	1	Y
Rotura del recipiente	Escape de gas, explosión o incendio			Interrupción del servicio				3	3	3	N
<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Crítico</b>					
101-FILTRACIÓN	Limpieza del fluido	100%	1	121-N	111-Y	121=>2A					
<b>Sub-Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Crítico</b>					
Presión diferencial	Manómetro de presión diferencial	0%	0	111-N	111-Y	111=>1A					
Drenaje de filtro	Línea de remoción de condensados	100%	0	111-N	--	111=>1A					
Contención	Hermeticidad del sistema	100%		333-N	--	333=>3A					

Fuente: Creado para esta monografía

El sistema, aunque cuenta con una unidad paralela esta no es automática ante una falla funcional del sistema, llegando a producir una restricción o interrupción del servicio.

Por ser un recipiente almacenador de presión presenta una criticidad alta frente a una rotura de este, provocando avería en otros sistemas cercanos, provocando interrupción total del servicio con daño al medio ambiente, propiedad planta y equipo y la vida humana.

#### **5.1.6.2 Regulación**

Formato 2. Regulación (102).

		CRITICIDAD DE LAS FUNCIONES PRINCIPALES Y SUB-FUNCIONES (BASADO EN NORZOK Z-008)					FMT-001				
							11/11/2022				
							VERSION 1				
<b>Sistema</b>	ESTACION DE REGULACION DE GAS NATURAL		ERPC CHIMITA								
<b>Función Principal</b>	102	REGULACIÓN		<b>Unidades Paralelas</b>	1	<b>Capacidad por Unidad</b>	100%	<b>Grado de Redundancia</b>	B		
<b>Documentos</b>	CÓDIGO ARCHIVO: AS-ERPCCHIMITA-RE-D-PL-005			REVISIÓN: (0)	Última actualización						
Fallo critico con afectación del sistema en		Horas con 100% de reducción						<b>Criticidad</b>			
<b>Modo de falla</b>	<b>Efecto en el sistema</b>			<b>Efecto en las redes de distribución</b>				<b>HSE</b>	<b>Distr</b>	<b>Costo</b>	<b>Oculto</b>
Cierre total	Sin salida de gas.			Ausencia de gas natural para su distribución				1	2	1	N
Cierre parcial	Baja presión en el suministro			Sin presión de operación				1	2	1	N
Apertura total	Flujo excesivo/Alta presión en el suministro			Sobrepresión. Expulsión de gas en el ambiente por activación de válvula de seguridad				3	2	2	N
<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Critico</b>					
102-REGULACIÓN	Regulación de presión	100%	0	322-N	121-N	322=>3B					
<b>Sub-Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Critico</b>					
Control de sobrepresión	Regulador monitor de presión para respaldo	100%	0	221-N	121-N	221=>2B					
Control de presión de salida	Regulador Piloto	100%	0	221-N	121-N	221=>2B					
Trasmisión y sensado de presión	Linea de sensado	100%	0	121-N	111-Y	121=>2B					
Indicador local de presión	Manómetro indicador de presión	0%	0	111-N	111-Y	111=>1B					
Alivio de presión	Válvula de seguridad control sobrepresión	0%	0	311-Y	111-N	311=>3B					
Cierre manual	Válvula manual de cierre	100%	0	232-N	--	232=>3B					
Contención	Hermeticidad del sistema	100%	--	333-N	--	333=>3B					

Fuente: Creado para esta monografía.

El sistema presenta una unidad paralela como sistema redundante que ante una falla o cierre inesperado no afectaría la función principal.

Sin embargo, como son equipos sometidos alta presión, pueden sufrir roturas y alterar las condiciones de procesos cercanos produciendo interrupción del servicio.

### 5.1.6.3 Medición

#### Formato 3. Medición (103)

		CRITICIDAD DE LAS FUNCIONES PRINCIPALES Y SUB-FUNCIONES (BASADO EN NORZOK Z-008)					FMT-001			
							11/11/2022			
							VERSION 1			
<b>Sistema</b>	ESTACION DE REGULACION DE GAS NATURAL		ERPC CHIMITA							
<b>Función Principal</b>	103	MEDICIÓN		Unidades Paralelas	1	Capacidad por Unidad	100%	Grado de Redundancia	B	
<b>Documentos</b>	CÓDIGO ARCHIVO: AS-ERPCCHIMITA-RE-D-PL-005			REVISIÓN: (0)	Última actualización					
Fallo critico con afectación del sistema en			Horas con 0% de reducción				<b>Criticidad</b>			
<b>Modo de falla</b>	<b>Efecto en el sistema</b>			<b>Efecto en las redes de distribución</b>			<b>HSE</b>	<b>Distr</b>	<b>Costo</b>	<b>Oculto</b>
Sin registro del volumen de gas	Sin medición y control de la demanda de gas			Sin efectos inmediatos			1	2	1	N
Registro parcial del volumen de gas	Sin medición y control real de la demanda de gas			Sin efectos inmediatos			1	2	1	Y
<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Critico</b>				
103-MEDICIÓN	Medición de volumen de gas	0%	0	121-N	121-Y	121=>2B				
<b>Sub-Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Critico</b>				
Corrección de volumen	Corrector electronico de volumen	0%	0	111-N	111-Y	111=>1A				
Monitoreo temperatura	Sensor temperatura	0%	0	111-N	111-Y	111=>1B				
Monitoreo de presión	Transmisor de presión	0%	0	111-N	111-Y	111=>1B				
Contención	Hermeticidad del sistema	100%	--	333-N	--	333=>3A				

Fuente: Creado para esta monografía.

El sistema de medición, aunque corresponde a un proceso importante en la distribución ya que es el registro de la cantidad de gas que se recibe del transportador, no produce una alteración en la función general del proceso o interrupción del servicio.

Además, cuenta con un sistema en paralelo en caso de mantenimiento o avería de sus elementos primarios (Medidor), secundarios (Transmisores) y terciarios (Computador de flujo).

Al igual que los dos anteriores procesos es delicado en cuanto a eventos de contención y/o hermeticidad del sistema.

#### 5.1.6.4 Odorización

#### Formato 4. Odorización (104)

		CRITICIDAD DE LAS FUNCIONES PRINCIPALES Y SUB-FUNCIONES (BASADO EN NORZOK Z-008)						FMT-001		
								11/11/2022		
								VERSION 1		
Sistema	ESTACION DE REGULACION DE GAS NATURAL		ERPC CHIMITA							
Función Principal	104	ODORIZACIÓN		Unidades Paralelas	0	Capacidad por Unidad	100%	Grado de Redundancia	A	
Documentos	CÓDIGO ARCHIVO: AS-ERPCCHIMITA-RE-D-PL-005			REVISIÓN: (0)	Última actualización					
Fallo critico con afectación del sistema en		Horas con 0% de reducción						Criticidad		
Modo de falla	Efecto en el sistema			Efecto en las redes de distribución			HSE	Distr	Costo	Culto
Sin odorización	Sin odorización de gas.			Ausencia de olor característico para detección del gas natural			3	2	1	N
Nivel de odorización bajo	Concentración de odorante por debajo de 1/5 del LIE			Dificultad para detección del gas natural			3	2	1	N
Función	Descripción	Reducción	Tiempo crit	No trabaja	Trabaja Regular	Critico				
104-ODORIZACIÓN	Odorización de gas natural	0%	0	321-N	321-N	321=>3A				
Sub-Función	Descripción	Reducción	Tiempo crit	No trabaja	Trabaja Regular	Critico				
Controlador de Inyección	Control electrónico del nivel de odorización	0%	0	221-N	221-N	221=>2A				
Monitoreo del sistema	Monitoreo del sistema de inyección y notificación de alarmas	0%	0	211-N	--	211=>2A				
Control de presión	Trasmisión y sensado de presión de operación	0%	0	321-N	--	321=>3A				
Indicador local de presión	Manómetro indicador de presión	0%	0	111-N	111-Y	111=>1A				
Alivio de presión	Válvula de seguridad, control sobrepresión del tanque de almacenamiento de químico odorante	0%	0	311-Y	111-N	311=>3A				
Cierre manual	Válvula manual de cierre del proceso	0%	0	311-N	--	311=>3A				
Contención	Hermeticidad del químico odorante	0%	0	333-N	--	333=>3A				

Fuente: Creado para esta monografía.

Este proceso sirve para añadir un compuesto químico con olor característico, aunque es crítico ante un derrame de este, no provoca una restricción o interrupción del servicio, afectando la función principal del sistema.

En caso de mantenimiento se debe tener cuidado al iniciar proceso y controlar los niveles de odorización.

### 5.1.6.5 Sistema de Calentamiento

#### Formato 5. Sistema de Calentamiento (105)

		CRITICIDAD DE LAS FUNCIONES PRINCIPALES Y SUB-FUNCIONES (BASADO EN NORZOK Z-008)						FMT-001 11/11/2022 VERSION 1			
<b>Sistema</b>	ESTACION DE REGULACION DE GAS NATURAL		ERPC CHIMITA								
<b>Función Principal</b>	105	CALENTAMIENTO		Unidades Paralelas	0	Capacidad por Unidad	100%	Grado de Redundancia	A		
<b>Documentos</b>	CÓDIGO ARCHIVO: AS-ERPCHIMITA-RE-D-PL-005			REVISIÓN: (0)	Última actualización						
Fallo critico con afectación del sistema en		Horas con 0% de reducción						<b>Criticidad</b>			
<b>Modo de falla</b>	<b>Efecto en el sistema</b>			<b>Efecto en las redes de distribución</b>				<b>HSE</b>	<b>Distr</b>	<b>Costo</b>	<b>Culto</b>
No enciende / Sin calentamiento	Sin intercambio de calor / Presencia de condensados en las superficies metalicas y/o Formación de hidratos al interior de los elementos instalados aguas abajo			Erosión en los elementos metálicos de la estación por presencia de condensados en la superficie. Restricción del flujo de gas en elementos aguas abajo del sistema de calentamiento (alivios, medidores, reguladores, etc.)				2	2	2	N
<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Critico</b>					
105-CALENTAMIENTO	Intercambiador de calor catalitico	0%	0	222-N	222-N	222=>2A					
<b>Sub-Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Tiempo crit</b>	<b>No trabaja</b>	<b>Trabaja Regular</b>	<b>Critico</b>					
Presión de alimentación	Suministro de gas para la operación normal	0%		222-N	--	222=>2A					
Termostato	Control de temperatura para la operación normal	0%		222-N	222-N	222=>2A					
Contención	Hermeticidad del sistema	100%	--	333-N	--	333=>3A					

Fuente: Creado para esta monografía.

El sistema se enfoca en calentar el gas a la temperatura adecuada con el fin de no producir hidratos una vez el gas es regulado.

Sin embargo, al manejar hermeticidad en el sistema podría provocar una restricción en el servicio y daño en equipos cercanos.

#### **5.1.6.6 Trampa de envió (106)**

Una vez revisado el proceso hace parte del sistema de tuberías que sirve para realizar un mantenimiento a la red de acero, aguas debajo de la estación; No interrumpiendo la función principal.

## 6. PLAN DE MANTENIMIENTO

Realizado el análisis de criticidad para cada uno de los procesos funcionales de la estación Chimitá, se propone el plan de mantenimiento para cada uno de sus procesos estableciendo frecuencias conforme al grado de criticidad resultante.

### 6.1 Proceso de filtración

Conforme al resultado obtenido posterior al análisis y dado que el proceso cuenta con una unidad paralela pero no de igual función, se establece el plan de mantenimiento del proceso.

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Cambio del elemento filtrante	Semestral
1.1.	<i>Reemplazo del o-ring de tapa de cierre</i>	
1.2.	<i>Lubricación de sin fin de tapa de cierre</i>	
1.3.	<i>Verificación y operación de válvulas de entrada y salida</i>	
1.4.	<i>Inspección de fugas</i>	
2	Calibración manómetro diferencial	Semestral
2.1.	<i>Purga de líneas de sensado</i>	
2.2.	<i>Inspección de fugas</i>	
3	Drenaje de filtro	Trimestral
3.1.	<i>Verificación de indicadores de nivel</i>	
3.2.	<i>Operación de válvula de drenaje</i>	
3.3.	<i>Reemplazo de empaque flexometálico</i>	
3.4.	<i>Mantenimiento a brida ciega</i>	
3.5.	<i>Reemplazo de espárragos. Sí requiere</i>	
3.6.	<i>Inspección de fugas</i>	
4	Medición espesores filtro	Anual
4.1.	<i>Ensayo de tintas penetrantes soldaduras de filete</i>	
4.2.	<i>Phased Array a juntas</i>	
4.3.	<i>Mantenimiento al recubrimiento</i>	
4.4.	<i>Inspección de fugas</i>	

Fuente: Creado para esta monografía.

## **6.2 Proceso de regulación**

Conforme al resultado obtenido posterior al análisis y dado que el proceso cuenta con una unidad paralela de igual función y que esta tiene relevancia en la continuidad del servicio, se establece el plan de mantenimiento del proceso.

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Prueba de operación regulación	Cada 4 meses
1.1.	Revisión de líneas de control o sensado	
1.2.	Prueba de accionamiento de trabajadora	
1.3.	Prueba de accionamiento de monitora	
1.4.	Inspección de fugas	
2	Cambio elemento filtrante bloque de control	Semestral
2.1.	Purga del bloque de control	
2.2.	Reemplazo de o-ring de acople	
3	Reemplazo Kit piloto	Semestral
3.1.	Reemplazo de o-ring	
3.2.	Lubricación de tornillo de ajuste	
3.3.	Reemplazo de tornillos de cuerpo. <i>Sí requiere.</i>	
3.4.	Inspección de fugas	
4	Verificación elementos regulación (D/M)	Semestral
4.1.	Inspección visual del cuerpo	
4.2.	Limpieza de galería	
4.3.	Reemplazo de o-ring de canastillas de cuerpo	
4.4.	Reemplazo de empaques flexometálicos	
4.5.	Reemplazo de espárragos. <i>Sí aplica</i>	
4.6.	Inspección de fugas	
5	Prueba de accionamiento alivio	Semestral
5.1.	Revisión de líneas de control o sensado	
5.2.	Prueba de accionamiento de alivio	
5.3.	Inspección de fugas	
6	Calibración manómetro	Anual
6.1.	Purga de punto de conexión	
6.2.	Reemplazo de glicerina	
6.3.	Inspección de fugas	
7	Calibración transmisor de presión	Anual
7.1.	Purga de línea de sensado	
7.2.	Retorqueo de conexiones eléctricas	
7.3.	Validación de voltaje y corriente del transmisor	
7.4.	Inspección de fugas	
8	Cambio de manga	Anual
8.1.	Verificación y operación de válvulas de entrada y salida	
8.2.	Inspección visual del cuerpo	
8.3.	Limpieza de galería	
8.4.	Reemplazo de o-ring de canastillas de cuerpo	
8.5.	Reemplazo de empaques flexometálicos	
8.6.	Ajuste de setting	
8.7.	Inspección de fugas	

Fuente: Creado para esta monografía.

### 6.3 Proceso de medición

Conforme al resultado obtenido posterior al análisis y dado que el proceso cuenta con una unidad paralela de igual función y que esta no genera afectación en la continuidad del servicio, se establece el plan de mantenimiento del proceso.

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Lubricación medidor	Semestral
1.1.	<i>Verificación nivel de reservorio de lubricante</i>	
1.2.	<i>Inspección de fugas</i>	
2	Prueba de tiempo de giro (STT)	Anual
2.1.	<i>Verificación y operación de válvulas de entrada y salida</i>	
2.2.	<i>Verificación de líneas de control de instrumentación</i>	
2.3.	<i>Verificación de señal de emisión de pulsos</i>	
2.4.	<i>Limpieza de cuerpo y bridas de conexión</i>	
2.5.	<i>Cambio de empaques flexometálicos</i>	
2.6.	<i>Reemplazo de espárragos. Sí aplica</i>	
2.7.	<i>Inspección de fugas</i>	
3	Verificación y Calibración	Triannual
3.1.	<i>Verificación y operación de válvulas de entrada y salida</i>	
3.2.	<i>Verificación de líneas de control de instrumentación</i>	
3.3.	<i>Cambio de empaques flexometálicos</i>	
3.4.	<i>Reemplazo de espárragos. Sí aplica</i>	
3.5.	<i>Inspección de fugas</i>	

Fuente: Creado para esta monografía.

### 6.4 Proceso de odorización

Conforme al resultado obtenido posterior al análisis y dado que el proceso cuenta con un alto riesgo a nivel de HSE por el tipo de sustancia contenida, se establece el plan de mantenimiento del proceso.

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Verificación del nivel del tanque	Mensual
1.1.	<i>Verificación de nivel de lubricante en reservorio</i>	
1.2.	<i>Verificación de inyección de odorante</i>	
2	Verificación y Control de fugas	Semestral
2.1.	<i>Verificación de inyección de odorante</i>	
3	Mantenimiento bomba de inyección	Anual
3.1.	<i>Verificación de nivel de odorante</i>	
3.2.	<i>Verificación de presión de control</i>	
3.3.	<i>Reemplazo de o-ring de bomba</i>	
3.4.	<i>Lubricación de piestón de bomba</i>	
3.5.	<i>Reemplazo de filtro carbonado de venteo</i>	
3.6.	<i>Reemplazo de lubricante de reservorio</i>	
3.7.	<i>Inspección de fugas</i>	
4	Mantenimiento controlador lógico	Anual
4.1.	<i>Medición de voltajes y corriente de módulo</i>	
4.2.	<i>Reemplazo de baterías</i>	
4.3.	<i>Actualización de firmware</i>	
4.4.	<i>Retorqueo de conexiones</i>	
4.5.	<i>Verificación de modem de comunicaciones</i>	
5	Calibración de manómetro	Anual
5.1.	<i>Purga de punto de conexión</i>	
5.2.	<i>Reemplazo de glicerina</i>	
5.3.	<i>Inspección de fugas</i>	
6	Mantenimiento y calibración válvula seguridad	Anual
6.1.	<i>Revisión de líneas de control o sensado</i>	
6.2.	<i>Prueba de accionamiento de alivio</i>	
6.3.	<i>Inspección de fugas</i>	
7	Reposición de odorante	Anual
7.1.	<i>Verificación de nivel de odorante</i>	
7.2.	<i>Purga de líneas inyección y retorno</i>	
7.3.	<i>Lavado de tanque de almacenamiento</i>	
7.4.	<i>Inspección de fugas</i>	
8	Medición de espesores del tanque de almacenamiento	Anual
8.1.	<i>Ensayo de tintas penetrantes soldaduras de filete</i>	
8.2.	<i>Phased Array a juntas</i>	
8.3.	<i>Mantenimiento al recubrimiento</i>	
8.4.	<i>Inspección de fugas</i>	

Fuente: Creado para esta monografía.

## 6.5 Proceso de calentamiento

Conforme al resultado obtenido posterior al análisis y dado que el proceso no representa una afectación considerable a la continuidad del servicio, se establece el plan de mantenimiento del proceso.

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Mantenimiento controlador lógico	Anual
1.1.	<i>Medición de voltajes y corriente de módulo</i>	
1.2.	<i>Reemplazo de baterías</i>	
1.3.	<i>Actualización de firmware</i>	
1.4.	<i>Retorqueo de conexiones eléctricas</i>	
2	Verificación líneas de sensado de presión	Anual
2.1.	<i>Purga de líneas de control de presión</i>	
2.2.	<i>Verificación de presión de control</i>	

Fuente: Creado para esta monografía.

## CONCLUSIONES

El procedimiento desarrollado permite determinar la criticidad de cada proceso, tomando como referencia la metodología aplicada y clasificando la redundancia del proceso para así determinar el mantenimiento a realizar.

Una vez definido el mantenimiento bajo el análisis de criticidad se puede obtener ahorros en la frecuencia del cambio de elementos en el sistema de regulación ya que este proceso cuenta con un sistema redundante que permite que el sistema continúe funcionando una vez falle el elemento.

Se puede observar que la contención es parte crítica de los procesos en general por lo cual se adopta al mantenimiento pruebas de espesores en los elementos.

Es importante resaltar que este procedimiento puede ser replicado a la infraestructura en general de la empresa, dejando como resultado un plan de mantenimiento basado en una metodología específica a infraestructuras de gas permitiendo una optimización de costos en mantenimiento

## BIBLIOGRAFÍA

NORSOK STANDARD Z-008; 2001, Análisis de criticidad con fines de mantenimiento.

American Petroleum Institute. API 580 Risk Based Inspection. 2002.

The Hendrix Group, Introduction to Risk Based Inspection, Primera Edición Agosto 1996.

Ingeniería de mantenimiento: análisis de criticidad. <https://enovalevante.es/ingenieria-de-mantenimiento-analisis-de-criticidad-parte-1/>

El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. (n.d.). Retrieved from <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-decriticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>

Amendola, L. (2006). Gestión de Proyectos de Activos Industriales, Asset Management. Universidad Politécnica de Valencia.

Arata, A. (2008). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Santiago: RiL editores.

Huerta, R. (2005). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Club de Mantenimiento. Reliabilityweb. Recuperado de <http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimientoarchivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf>.

Huerta, R. (2010). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional, 12–16.

AENOR (2018), Norma ISO 31000: Gestión de Riesgo. Madrid, España. Recuperado de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-denormas/une/?c=N0059900>

Rivero, L. (2008). Jerarquización de los elementos de un sistema mediante la fusión de medidas de importancia. Universidad Central de Venezuela.

Condo, S. Homero, C. (2016), Desarrollo de un modelo de análisis de fallas, jerarquización de activos críticos y riesgos para el mejoramiento de la eficiencia en la gestión del mantenimiento de la estación de bombeo Amazonas de OCP Ecuador (Tesis de Maestría), Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.