

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CENTRO DE  
CONTROL DE MOTORES DE LA PLANTA COMPRESORA  
SAN JOAQUÍN BOOSTER**

REALIZADO POR:

**MILAGROS DEL VALLE SOLÓRZANO CARRASCO**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial  
para optar por el título de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Barcelona, 2025

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CENTRO DE  
CONTROL DE MOTORES DE LA PLANTA COMPRESORA  
SAN JOAQUÍN BOOSTER**

ASESORES:

---

**Asesor Académico**

Ing. Nelson Gil

---

**Asesor Industrial**

Ing. Noel Restrepo

Barcelona, 2025

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CENTRO DE  
CONTROL DE MOTORES DE LA PLANTA COMPRESORA  
SAN JOAQUÍN BOOSTER**

JURADO CALIFICADOR:

El jurado hace constar que asignó a este trabajo de grado la calificación de:

---

**Asesor académico**

Ing. Nelson Gil

---

**Jurado Principal**

Ing. Adriana Méndez

---

**Jurado Principal**

Ing. Manuel Maza

Barcelona, 2025

## RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

***“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”***



## DEDICATORIA

Principalmente, quiero dedicar este logro, a Dios, por jamás dejarme caer, por siempre colocar a las personas indicadas en el camino, y por siempre darme la fortaleza necesaria para seguir adelante, solo tú sabes lo que me costó llegar hasta aquí.

A Rosa Amada, quien hoy brilla en el cielo, por su amor, dedicación, y todos sus consejos, por ti y para ti abuelita.

*Milagros Del Valle Solórzano Carrasco*

## AGRADECIMIENTOS

No sé por dónde empezar porque tengo mucho que agradecer. Este logro no es solo mío, sino de todas las personas que me han acompañado en el camino, aquellas que creyeron en mí incluso cuando yo misma dudaba. Son tantos los nombres que esta página se queda corta, pero hay personas que, sin duda, merecen un reconocimiento especial.

A Dios Todopoderoso, gracias infinitas. Sin ti, no habría llegado hasta aquí. Me sostuviste en los momentos más difíciles, me abrazaste cuando lo necesité y nunca me dejaste sola. Hoy, toda la gloria es para ti.

A mis padres, Mayra y Erick, quienes con esfuerzo y sacrificio creyeron en mí. Sé lo difícil que fue para ustedes apoyarme, pero nunca dudaron en hacerlo. Mamá, gracias a ti soy la mujer que soy hoy; con tu amor y enseñanzas me diste las herramientas para enfrentar la vida. Papá, Dios te llenaba de la sabiduría necesaria para guiarme cuando las cosas no salían bien. Tus palabras, aunque a veces duras, siempre me acompañaron: "Take it easy, calm down, hija". Hoy solo puedo agradecerme por haber tenido la fortuna de ser su hija. La vida no me alcanzará para pagarles todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos, José y Erickmar, gracias por su amor incondicional, por creer en mí y por ser mi complemento perfecto. Erickmar, sin duda te debo parte de mi existencia. Gracias por hacerme reír y sostenerme en los momentos más duros. José Gregorio, gracias a tu noble corazón llegamos juntos hasta la meta final. Eres luz en mi vida, y sé que nunca podré pagarte todo lo que has hecho por mí.

A mi mejor amiga, Arianna Biagioni, "Titi", quien estuvo a mi lado en cada etapa de esta travesía. Gracias por escucharme, acogerme en tu casa, abrazarme cuando lo necesitaba y prestarme tu hombro cuando todo se volvía difícil. Hoy sé que este camino fue más llevadero gracias a ti. La vida jamás me alcanzará para devolverte todo lo hermoso que me has dado.

A José Guaraco y Luis Triana, mis compañeros más valiosos, con quienes compartí risas hasta las lágrimas. Triana, de ti me llevo lo mejor, tu compañía hizo mi vida más fácil. Siempre supe que tenía en ti un hombro y un hogar donde sería bienvenida. Aprendimos que no siempre se tiene la razón, pero aun así, hiciste mi vida más bonita en los momentos complicados. Guaraco, eres ese amigo que, aunque pasen mil años, siempre estará allí. Gracias a ti aprendí que la puntualidad es una virtud. Me recibiste en tu casa, me quisiste como una hermana y, junto a tu familia, me hiciste sentir en hogar. Fuiste uno de los pilares más importantes de mi vida y eso siempre lo agradeceré.

A mis Uditos, les debo parte de mi corazón. No se imaginan cuánto me ayudaron y motivaron a seguir adelante. Gracias a ustedes jamás me rendí. Siempre me repetía: "Si ellos pueden, yo también puedo". La vida me los puso en el camino para enseñarme lecciones valiosas. Girot me demostró que con disciplina y constancia se llega lejos. Maruen, que con ganas y motivación se pueden cumplir los sueños. Mario, que la fuerza y la paciencia conducen a la tranquilidad. Suárez, que debemos aprender a priorizarnos. Y Romero, que a veces no sabemos cómo, pero lo importante es hacerlo.

A todos ustedes, gracias por ser parte de mi historia. Este triunfo no es solo mío, sino de cada uno de ustedes.

## RESUMEN

En este estudio se realizó una evaluación del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores de la planta compresora San Joaquín Booster. El trabajo incluyó una descripción detallada del sistema eléctrico asociado al Centro de Control de Motores y las especificaciones técnicas correspondientes. Se llevó a cabo un estudio de obsolescencia para identificar los riesgos asociados al envejecimiento de los componentes y evaluar su vida útil. Este análisis permitió evidenciar un incremento en los costos de mantenimiento de los activos y la falta de disponibilidad de repuestos por parte de los fabricantes de equipos modulares, lo que resalta la necesidad de actualizar los sistemas y prolongar su funcionalidad. Además, se realizaron estudios de cortocircuito y flujo de carga para analizar el desempeño del sistema conforme a las normativas vigentes. Las simulaciones se ejecutaron utilizando el software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) en su versión 19.0.1. Finalmente, se presentó una propuesta de mejoras centrada en la sustitución de la configuración radial del sistema por una configuración secundaria selectiva. Este cambio garantiza que el sistema opere sin interrupciones ante contingencias, incrementando significativamente su confiabilidad y asegurando un funcionamiento óptimo.

# ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| RESOLUCIÓN .....  | iv   |
| DEDICATORIA .....   | v    |
| AGRADECIMIENTOS .....   | vi   |
| RESUMEN .....   | viii |
| ÍNDICE GENERAL .....  | ix   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | xiii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | xiv  |
| CAPÍTULO I .....  | 16   |
| DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y EL PROBLEMA .....                                 | 16   |
| 1.1. Planteamiento del Problema .....   | 16   |
| 1.2. Objetivos .....  | 17   |
| 1.2.1 Objetivo General .....  | 17   |
| 1.2.2. Objetivos Específicos.....   | 18   |
| 1.3. Justificación.....   | 18   |
| 1.4. Alcance .....  | 19   |
| 1.5.    Reseña Histórica .....  | 19   |
| 1.6.    Petróleos de Venezuela .....  | 20   |
| 1.7.    Estructura de PDVSA GAS.....  | 20   |
| 1.8.    Ubicación del Complejo Criogénico Oriente.....                        | 21   |
| 1.8.1. Ubicación Geográfica de la Planta Compresora San Joaquín Booster ..... | 22   |
| 1.9. Organigrama de la Empresa.....   | 22   |
| 1.10 Misión .....   | 24   |
| 1.11. Visión.....   | 24   |
| 1.12. Objetivos de la Planta San Joaquín Booster .....                        | 24   |
| CAPÍTULO II .....   | 26   |
| MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....  | 26   |
| 2.1.    Antecedentes .....  | 26   |
| 2.2.    Bases Teóricas .....  | 27   |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.1. Sistema eléctrico.....  | 27 |
| 2.2.2. Fallas en el sistema eléctrico .....  | 28 |
| 2.2.3. Tablero Eléctrico .....   | 29 |
| 2.2.4. Centro de Potencia (CP).....  | 32 |
| 2.2.5. Clasificación de los CCM.....   | 34 |
| 2.2.6. Protecciones Eléctricas .....   | 36 |
| 2.2.7. Seccionador.....  | 36 |
| 2.2.8. Transformador .....   | 36 |
| 2.2.9. Interruptor automático.....   | 37 |
| 2.2.10. Contactor .....  | 37 |
| 2.2.11. Definición de Obsolescencia .....  | 37 |
| 2.2.12. Flujo de Potencia.....   | 39 |
| 2.2.13. Conceptos Básicos del Estudio de Cortocircuito.....                                  | 40 |
| 2.2.14. Programa ETAP PowerStation.....  | 42 |
| 2.2.15. Diagrama Unifilar .....  | 42 |
| 3.1. Sistema Eléctrico .....   | 44 |
| 3.1.1. Características Eléctricas de los elementos que conforman el Sistema.....             | 45 |
| 3.1.2. Equipos de Protección .....   | 51 |
| 3.1.3. Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster ....         | 53 |
| 3.2 Descripción del estado actual .....  | 56 |
| 3.3 Requerimientos de operación de los centros de control de motores.....                    | 56 |
| 3.4. Especificaciones de diseños propuestos según normas de PDVSA N-201. ....                | 58 |
| CAPÍTULO IV.....   | 63 |
| 4.1. Fases del Estudio de Obsolescencia.....   | 64 |
| 4.2. Fase I – Validación de la Metodología .....   | 65 |
| 4.2.1. Matriz de Obsolescencia.....  | 66 |
| 4.2.2. Valor total de la Matriz .....  | 67 |
| 4.2.3. Descripción de los factores considerados para la evaluación de la Obsolescencia ..... | 67 |
| 4.3 Fase II – Jerarquización preliminar de equipos en obsolescencia.....                     | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3.1. Jerarquización del Centro de Control de Motores asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster.....              | 77  |
| 4.3.1.2. Desempeño operacional (D.O).....  | 78  |
| 4.3.1.3. Costos asociados al activo.....   | 79  |
| 4.3.1.4. Vigencia Tecnológica.....   | 79  |
| 4.3.1.5. Seguridad del activo.....   | 80  |
| 4.4. Fase III – Aplicación de la metodología.....  | 80  |
| 4.4.1. Consideraciones previas a la aplicación de la metodología.....  | 80  |
| 4.4.2. Aplicación de la metodología al Centro de Control de Motores asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster..... | 81  |
| Tabla 4.1. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Repuestos y sus criterios.....                        | 82  |
| Tabla 4.1. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Repuestos y sus criterios.....                        | 84  |
| 4.4.4. Nivel de Obsolescencia en el Centro de Control de Motores.....  | 86  |
| 4.4.5. Matriz de obsolescencia correspondiente al Centro de Control de Motores.....  | 87  |
| CAPÍTULO V.....  | 89  |
| 5.1. Descripción de los escenarios.....  | 90  |
| 5.2. Estudio de Flujo de Potencia.....   | 91  |
| 5.2.1. Escenario #1 Condición Normal.....  | 91  |
| 5.2.2. Escenario #2 Condiciones de Contingencia.....   | 94  |
| 5.3. Análisis de los Resultados.....   | 94  |
| 5.4. Estudio de Cortocircuito.....   | 96  |
| 5.4.1. Escenario #01 Condición normal.....   | 96  |
| 5.4.2. Análisis de los Resultados.....   | 97  |
| CAPÍTULO VI.....   | 99  |
| PROPUESTA DE ALTERNATIVAS QUE MEJOREN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES.....                             | 99  |
| 6.1. Configuración del secundario selectivo.....   | 99  |
| 6.2. Energizar Barra “B” de la Planta Compresora San Joaquín Booster.....  | 100 |
| 6.3. Esquema Propuesto.....  | 101 |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 6.4.  | Descripción general de la propuesta para el nuevo Centro de Control de Motores. | 101 |
| 6.4.1.  | Ubicación del CCM .....   | 102 |
| 6.4.2.  | Grado de Protección .....   | 103 |
| 6.4.3.  | Arrancadores de los Motores .....   | 103 |
| 6.4.4.  | Método de Arranque de los Motores .....   | 103 |
| 6.4.5.  | Disposición de las Celdas .....   | 103 |
| 6.4.6.  | Protección para cada motor .....  | 104 |
| CONCLUSIONES .....                              |   | 106 |
| RECOMENDACIONES.....                            |   | 108 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                               |   | 109 |
| ANEXOS .....                                    |   | 112 |
| METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ..... |   | 129 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Figura 1.1. Ubicación Geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín...                         | 21                                   |
| Figura 1.2 Ubicación Geográfica de la Planta Compresora San Joaquín Booster. ....                  | 22                                   |
| Figura 1.3 Estructura organizativa de la Planta Compresora San Joaquín Booster. ....               | 23                                   |
| Figura 2. 1 Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster.....          | 33                                   |
| Figura 2. 2. Tipos de Falla. Mérida R., 2007).....   | 41                                   |
| Figura 2. 3. Diagrama Unifilar de la Planta Compresora San Joaquín Booster .....                   | 43                                   |
| Figura 6. 1. Pantalla de la simulación de la herramienta computacional ETAP, Condición normal..... | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Tabla 3. 1. Transformador TX1, 1000 KVA, 13,8 kV/480.....  | 46                                   |
| Tabla 3. 2. Características técnicas de Interruptor de Potencia de Llegada a Barra en 13.8kV.....                            | 48                                   |
| Tabla 3. 3. Características del Interruptor de Potencia de SAN JOAQUÍN BOOSTER.....  | 50                                   |
| Tabla 3. 4. Protección asociada al interruptor principal.....  | 51                                   |
| Tabla 3.5. Descripción de las cargas asociadas a la Barra I del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster.....         | 54                                   |
| Tabla 3.6. Descripción de las cargas futura asociadas a la Barra II del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster..... | 55                                   |
| Tabla 4.1. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Repuestos y sus criterios.....                        | 82                                   |
| Tabla 4.2. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Desempeño Operacional y sus criterios. ....           | 83                                   |
| Tabla 4.3 Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Costos Asociados al Activo y sus criterios. ....       | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla 4.4 Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Vigencia Tecnológica y sus criterios.....              | 85                                   |
| Tabla 4.5 Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Seguridad e integridad del activo.....                 | 86                                   |
| Tabla 5. 1. Variaciones de Voltajes Permisibles según la Norma ANSI.....   | 91                                   |
| Tabla 5. 2. Flujo de Potencia en Barras.....   | 92                                   |
| Tabla 5.3 Flujo de Potencia en Motores Barra A. ....   | 92                                   |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 5. 4. Resultados del estudio de Flujo de Potencia en Conductores. ...  | 93  |
| Tabla 5. 5. Resultados del estudio de cortocircuito del Escenario .....  | 97  |
| Tabla 6.1. Descripción de las cargas futura asociadas a la Barra II del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster..... | 101 |
| Tabla 6. 2. Resultados del estudio de Flujo de Potencia en Barra A y B y el CB-120 abierto.....                              | 101 |
| Tabla 6.3. Protección de los motores. (IEEE C37.96).....   | 105 |

# **CAPÍTULO I**

## **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

El sistema eléctrico en Venezuela ha sufrido un importante deterioro en los últimos años debido a la falta de mantenimiento y la obsolescencia de muchos de sus equipos. Entre las áreas más afectadas se encuentran los centros de control de motores, los cuales suministran energía a los paneles de control de las turbinas y regulan el accionamiento de las máquinas. Debido a la alta importancia que representan estos sistemas para las plantas compresoras del país, su inoperatividad en caso de fallas podría ocasionar un paro total. Además, se han identificado fallas recurrentes en componentes eléctricos, mecánicos y en la transferencia automática del sistema, causando interrupciones en la producción.

La planta compresora San Joaquín Booster, localizada en la vía Santa Ana en la Zona I del Distrito Anaco de PDVSA, tiene como objetivo principal garantizar la compresión de gas mediante el aumento de su presión. El sistema eléctrico de los centros de control de motores de esta planta está compuesto por dos transformadores de potencia de 500 KVA: uno alimentado por el circuito KAKI D-305 y otro por el circuito San Joaquín D-205. Actualmente, solo está operativo el transformador asociado al circuito KAKI D-305, el cual alimenta los motores de enfriamiento del gas y del aceite de las turbinas, compresores de aire y transformadores de servicio.

Es importante resaltar que estos equipos, puestos en operación desde 1999, cumplen con su función básica de proteger y suministrar energía a las cargas asociadas, pero no ofrecen condiciones óptimas de seguridad para el personal técnico ni operan de manera eficiente, ya que han superado su vida útil estimada de 20 años. Por esta razón, se hace necesario implementar modernas modalidades de gestión para mejorar la eficiencia operativa de los equipos en los Centros de Control de Motores (CCM), actualizando sus componentes para garantizar mayor flexibilidad y confiabilidad operacional.

En este contexto, el presente trabajo se enfocará en formular una propuesta para la evaluación del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster. Como parte de este análisis, se procederá a describir el sistema eléctrico existente, realizar un estudio de obsolescencia y llevar a cabo un estudio de flujo de carga y cortocircuito. Éste último se plantea como una herramienta clave para analizar el estado operativo del sistema y detectar posibles fallas o deficiencias, proporcionando los datos necesarios para evaluar y optimizar el CCM. Además, el trabajo considerará las mejores prácticas y normativas nacionales e internacionales aplicables a los centros de control de motores, con el objetivo de ofrecer una solución integral y actualizada que permita garantizar la seguridad, eficiencia y continuidad operativa de la planta.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar el sistema eléctrico del Centro de Control de Motores de la

planta compresora San Joaquín Booster.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

1. Describir el sistema eléctrico asociado al Centro de Control de Motores (CCM) de la planta compresora San Joaquín Booster.
2. Realizar un estudio de obsolescencia al Centro de Control de Motores (CCM).
3. Obtener los niveles de voltaje y corrientes de cortocircuito para la condición de carga actual y futura del Centro de Control de Motores a través de un software computacional.
4. Proponer alternativas que mejoren el sistema eléctrico asociado al Centro de Control de Motores (CCM) de la planta compresora San Joaquín Booster.

### **1.3. Justificación**

La planta compresora San Joaquín Booster es una instalación clave en el proceso de transporte y compresión de gas, donde el Centro de Control de Motores (CCM) desempeña un papel fundamental, garantizar su correcto funcionamiento es esencial para la continuidad operativa de la planta. Sin embargo, debido a que este sistema no ha sido actualizado ni reemplazado por uno más moderno, sufre un aumento en el riesgo de fallos, lo que puede derivar en paradas imprevistas o daños permanentes en los equipos. Como

consecuencia, la confiabilidad en el suministro eléctrico de los motores se ha visto comprometida.

Por esta razón, se llevó a cabo este estudio con el propósito de analizar el sistema eléctrico del CCM y desarrollar propuestas de mejora que aseguren un funcionamiento óptimo, eficiente y confiable en todo momento.

#### **1.4. Alcance**

El presente trabajo tiene como finalidad proponer las mejoras necesarias para optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores de la planta compresora San Joaquín Booster, con el objetivo de garantizar y mejorar la confiabilidad y operatividad del mismo, ofreciendo un servicio seguro, continuo y de calidad en todo momento.

#### **1.5. Reseña Histórica**

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) fue creada en 1976 a través de la nacionalización del petróleo y desde entonces se ha convertido en una de las corporaciones más importantes del mundo. A mediados del año 1960 se realiza la búsqueda de crudos pesados en la faja petrolífera del Orinoco. En el año 1982 se da inicio a la creación del Criogénico de Oriente, que comienza sus actividades en 1985 Para el año 1988 se realizó un proceso de transformación de la industria petrolera el fin de reducir costos y conformar así una sola empresa denominada PDVSA Petróleo y Gas,

que cuenta con las divisiones operacionales: PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, que se encarga de explorar, explotar y producir crudo y gas y PDVSA Manufactura y Mercadeo, encargada del negocio de refinación y venta al mercado interno y/o externo. Ambas divisiones son apoyadas por la división PDVSA servicios que le da aportes a las actividades medulares del negocio.

### **1.6. Petróleos de Venezuela**

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), es una empresa propiedad de la República Bolivariana de Venezuela, regida por la Ley Orgánica que reserva al Estado la Industria y el Comercio de Hidrocarburos. Sus operaciones abarcan la exploración, explotación, refinación, transporte, distribución y comercio de hidrocarburos, así como los negocios de Orimulsión, Petroquímica y Carbón, en los que también promueve la máxima participación privada. Esta posición de liderazgo se soporta en la fortaleza de un recurso humano que trabaja para construir la corporación energética de referencia mundial por excelencia y cuyo talento transforma en progreso para la humanidad la inmensa base de recursos de Venezuela.

### **1.7. Estructura de PDVSA GAS**

La sede principal de PDVSA Gas se encuentra en la avenida Francisco de Miranda, urbanización La Floresta, Caracas, Venezuela. PDVSA Gas dispone de oficinas gerenciales y comerciales a lo largo del territorio nacional donde mantiene sus operaciones. Esta área encargada de la exploración y certificación de las reservas de gas en el territorio venezolano, así como de la distribución y comercialización de dicho producto, está dividida en dos grupos regionales de operación: región oriente y región occidente.

La región oriente lo conforman las plantas: fraccionamiento JOSE, Extracción San Joaquín, Extracción Jusepín y Extracción Santa Bárbara. La región occidental lo conforman las plantas: fraccionamiento Ulé y fraccionamiento Bajo Grande en occidente. A su vez PDVSA Gas posee dos puertos de desembarque: despacho JOSE en oriente y Ulé en Occidente.

Para PDVSA Gas, su misión es satisfacer las necesidades de energía de la sociedad, apoyándose en la excelencia de su gente, basándose en las tecnologías de vanguardia y creando el máximo valor para la nación venezolana.

### **1.8. Ubicación del Complejo Criogénico Oriente**

Ubicado al norte del estado Monagas, está conformado por cuatro (4) Plantas de extracción que procesan diariamente 2.150 millones de pies cúbicos de gas natural y se producen 120 mil barriles diarios de LGN, que son transportados por 288 kilómetros de tuberías o poliductos hasta las instalaciones de la Planta de Fraccionamiento Almacenaje y Despacho Jose ubicada entre Barcelona y Píritu, a orillas del Mar Caribe. Ver la figura 1.1.



**Figura 1.1. Ubicación Geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín**

**Figura 2. 1 Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**  
**Figura 1.2. Ubicación Geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín**

Las plantas que conforman el Complejo Criogénico de Oriente son: Santa Bárbara, Extracción Jusepín, Jose y San Joaquín.

### 1.8.1. Ubicación Geográfica de la Planta Compresora San Joaquín Booster

La Planta Compresora San Joaquín Booster, se encuentra localizada geográficamente al sur del estado Anzoátegui, en la vía Santa Ana, Municipio Anaco. Dentro de esta Planta compresora se encuentra alojada la Planta de Refrigeración San Joaquín (RSJ). En la figura 1.2 se muestra la ubicación geográfica de la Planta.

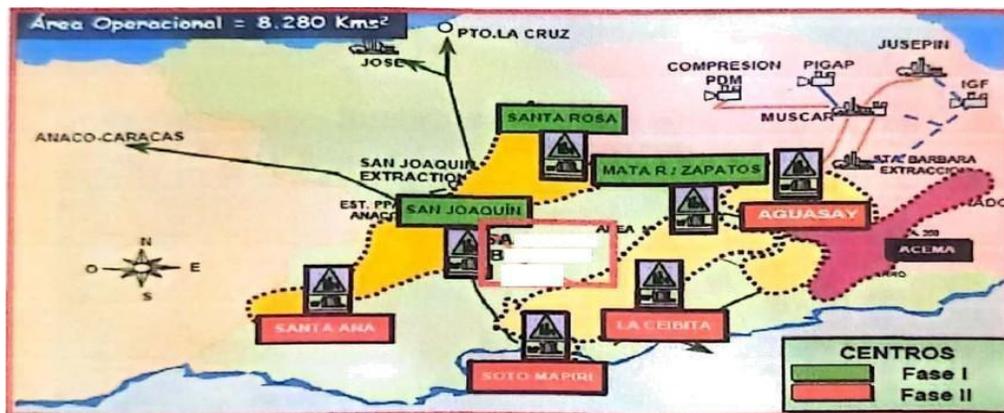
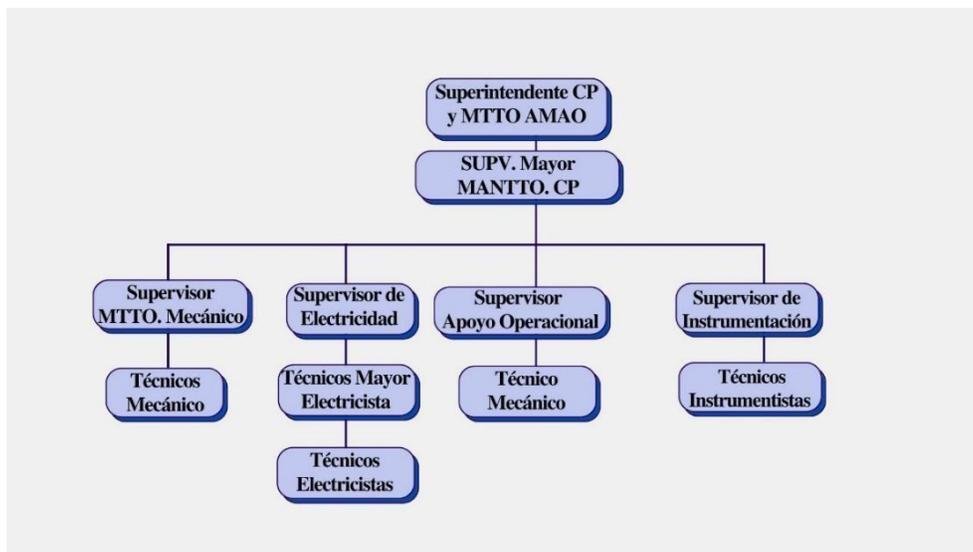


Figura 1.3 Ubicación Geográfica de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

Figura 1.4. Ubicación Geográfica de la Planta de Extracción San Joaquín  
 Figura 1.5 Ubicación Geográfica de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

## 1.9. Organigrama de la Empresa

La Planta Compresora San Joaquín Booster, está estructurada orgánicamente en una Superintendencia CP y Mantenimiento AMAO, de la que se desprenden a su vez cuatro (04) áreas operativas correspondientes a funciones de Supervisión del personal técnico de cada una. En tal sentido, dicha estructura, obedece a las necesidades funcionales y operativas de la Planta Compresora San Joaquín de Booster, como unidad sistemática integral que requiere mantener y optimizar su funcionamiento permanentemente, en la figura 1.5 se puede observar cómo está distribuida la estructura organizativa de la Planta Compresora San Joaquín Booster.



**Figura 1.6 Estructura organizativa de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**

**Figura 1.7 Ubicación Geográfica de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**  
**Figura 1.8 Estructura organizativa de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**

**Fuente (Autora, 2025)**

### **1.10 Misión**

La Planta de Extracción San Joaquín Booster tiene como misión: Fraccionar, Almacenar y Despachar los Líquidos del Gas Natural en forma oportuna, confiable y en calidad, mediante el uso de tecnología actualizada y de las mejores prácticas mundiales, con recursos humanos competentes, dentro de un ambiente organizacional favorable en armonía con el medio ambiente, para aportar el máximo valor a la nación.

### **1.11. Visión**

La Planta de Extracción San Joaquín Booster tiene como visión: alcanzar niveles mundiales de Excelencia Gerencial y Técnica que valoricen el negocio de los Líquidos del Gas Natural para contribuir en forma sostenida al desarrollo socio-económico del país.

### **1.12. Objetivos de la Planta San Joaquín Booster**

La Planta de Extracción San Joaquín Booster, para garantizar la calidad requerida de producción se rige por los siguientes objetivos:

- Implantar y mantener un Sistema de Gestión de la Calidad en la Gerencia de Manejo de Gas, sobre la base de acuerdos de servicios y la mejora continua de los procesos.
- Ejecutar de manera eficaz los procesos de recolección, compresión y transmisión de gas.
- Cumplir con la ejecución presupuestaria anual asignada a operaciones e

inversiones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

#### **2.1. Antecedentes**

González, J. (2019), desarrolló una evaluación del centro de control de motores en 4.16 kV de la unidad de destilación al vacío del proyecto “Conversión profunda” en la Refinería Puerto La Cruz. Este proyecto se basó en la descripción del sistema eléctrico de la Refinería de Puerto La Cruz, y en el análisis del arranque de los motores en 4.16 kV de la Unidad de Destilación al Vacío, a través de la herramienta de cálculo ETAP en su versión 12.6.0, con la finalidad de constatar niveles de voltaje, potencia y cortocircuito, demostrando el comportamiento del sistema eléctrico asociado a la Unidad de Destilación al Vacío ante el arranque de los motores en 4.16 kV. Este trabajo sirvió de base para la descripción del sistema eléctrico asociado al centro de control de motores.

Guerra, G. (2018), elaboró una propuesta de reemplazo al Centro de Control de Motores en 2,4 kV para las bombas de carga de la Refinería El Chaure, el cual se fundamenta principalmente en la importancia de mantener las operaciones constantes dentro de la organización en este caso la refinería El Chaure, a través de la actualización de los sistemas eléctricos de potencia, específicamente los componentes de los Centros de Control de Motores (CCM). Este trabajo sirvió de guía para establecer los criterios que debe portar el centro de control de motores nuevos, especificando así cada una de las características necesarias para la implementación del mismo.

Pérez, M. (2015), efectuó una evaluación de los Centros de Control de

Potencia y Control de Motores de Supermetanol, C.A, donde estima la confiabilidad y criticidad de los equipos existentes en los centros de Control y de Potencia de los motores de la empresa, presentando así una propuesta técnico-económica basada en elementos que servirán como reemplazo. Este trabajo servirá como referencia para realizar la propuesta técnico-económica adecuada para el centro de control de motores y al mismo tiempo contribuirá a la orientación de gran parte de la metodología a emplear.

López, O. (2014), realizó una evaluación al sistema eléctrico de la planta de refrigeración de San Joaquín PDVSA, donde describe las características eléctricas del sistema eléctrico actual, haciendo énfasis en las cargas instaladas y en las fallas que se han presentado, para así verificar las condiciones de funcionamiento del transformador y la carga teniendo en cuenta el incremento ocasionado por el aumento de la producción garantizando al sistema eléctrico de la planta de refrigeración San Joaquín estabilidad y confiabilidad. Este estudio aportará parte de la información de las fallas ocasionadas por falta de mantenimiento al centro de control de motores.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Sistema eléctrico**

El sistema eléctrico se denomina por ser el conjunto de elementos y dispositivos que permiten la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. El sistema eléctrico está compuesto por diferentes elementos, que incluyen generadores, líneas de transmisión, subestaciones, transformadores y redes de distribución. Cada uno de estos elementos tiene una función específica en la cadena de suministro eléctrico, permitiendo a los consumidores recibir la energía eléctrica que necesitan.

### **2.2.2. Fallas en el sistema eléctrico**

Una falla en un sistema eléctrico es considerada como, cualquier anomalía o problema que afecte el correcto funcionamiento del sistema de potencia, generando los siguientes acontecimientos:

- Parada parcial o completa de la planta, o una operación fuera de lo normal.
- Funcionamiento inadmisibles de los equipos alimentados.
- Operación de los relés de protección eléctricos u operación de emergencia del sistema eléctrico asociado a la planta.
- Desenergización de cualquier componente y equipo.

Una falla de equipos dentro de la planta, produce una salida forzada del componente, lo que significa que el componente se inhabilita para cumplir su función hasta que sea reparado o reemplazado. Existen diferentes tipos de falla:

- Fallas Totales: Se definen por ser las que un equipo o sistema deja de funcionar o se detiene por completo.
- Fallas Parciales: Implican que el equipo o sistema puede seguir funcionando, pero de manera limitada o con funcionalidades reducidas debido a algún problema o disfunción.
- Súbitas: Son aquellas que ocurren de manera imprevista y repentina, sin dar indicios previos de su aparición.
- Progresivas: Son aquellas en las que un equipo o sistema presenta síntomas y la falla se presenta gradualmente.

### **2.2.3. Tablero Eléctrico**

Según la norma COVENIN 2783-1998, un tablero eléctrico es un conjunto de una o más celdas conteniendo el equipo necesario para poder controlar y/o distribuir la energía eléctrica. En términos generales, los tableros eléctricos son gabinetes en los que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente. Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el medidor de consumo (mismo que no se puede alterar) e interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.

#### **2.2.3.1 Componentes de un Tablero Eléctrico**

Según la norma COVENIN 2783-1998 los tableros eléctricos constan de los siguientes componentes:

#### **2.2.3.2. Envoltente**

Es una caja envolvente construida para proporcionar un grado de protección a personas contra contacto accidental con el equipo encerrado, así mismo para proporcionar un grado de protección del equipo encerrado contra ciertas condiciones ambientales.

### 2.2.3.3. Caja o Gabinetes

Es una envolvente diseñada para el montaje superficial o empotrado y con un marco, en el cual pueden ubicarse una o varias puertas.

### 2.2.3.4. Celda

Es la división básica de un tablero eléctrico que contiene tramos de entradas y/o salidas de energía eléctrica, para alimentar cargas. Un tablero puede estar compuesto de una o varias celdas. La celda también es conocida como columna, gabinete o armario. Un tablero se divide en celdas, las celdas en compartimentos o cubículos.

#### 2.2.3.4.1 Clasificación de las Celdas

Según la norma ANSI/IEEE C37.20.2-1999 se puede diferenciar los siguientes dos tipos de celdas metálicas:

**Celdas metal-enclosed:** Este tipo de celdas también son conocidas como “metal-enclosed power switchgear”. Esta celda se define como una instalación de maniobra y seccionamiento completamente encerrado en láminas metálicas por todos sus lados, excepto por sus aberturas de ventilación y ventanas de inspección. El acceso al interior se hace a través de puertas o cubiertas removibles.

**Celdas metal-clad:** Una celda metal-clad, es aquella que cumple con las siguientes características:

1. El circuito principal de seccionamiento y el interruptor es de tipo removible, provisto de un mecanismo que permite moverlo entre las posiciones de conectado o desconectado y equipado de rieles de autoalimentación y auto acoplamiento.
2. Las partes principales del circuito primario, es decir, los dispositivos de interrupción, barras, los transformadores de voltaje y los transformadores de control, están completamente encerrado por láminas metálicas puestas a tierra que no tienen aberturas intencionales entre los compartimentos. Específicamente se incluye una lámina de metal en frente de, o una parte del dispositivo de circuito de interrupción para garantizar que, cuando está en la posición conectada, no hay componentes del circuito primario que estén expuestos cuando la apertura de la unidad esté abierta.
3. Todas las partes vivas están encerradas dentro de los compartimentos metálicos puestas a tierra.
4. Persianas automáticas que cubren los elementos del circuito primario (barras, transformadores de potencia, etc.), cuando el elemento extraíble está en el desconectado.
5. Las barras y las conexiones se encuentran cubiertas por material aislante. Los enclavamientos mecánicos se proporcionan para una secuencia de operación adecuada en condiciones normales de funcionamiento.
6. Los instrumentos, medidores, relés, dispositivos de control secundarios, y su cableado se aíslan por láminas metálicas conectadas a tierra de todos los elementos del circuito primario con la excepción de tramos cortos de alambre como en instrumentos terminales del transformador.
7. La puerta a través del cual se accede al dispositivo de interrupción de circuito en el cubículo, puede servir como un panel de instrumentos o

relé y también puede proporcionar acceso a un compartimento secundario o de control dentro de la carcasa.

#### **2.2.3.5. Compartimiento o Cubículo**

Es el volumen delimitado dentro de una celda, que se destina a alojar elementos de un mismo tipo, función o naturaleza. Una celda puede estar dividida en varios compartimentos para barras colectoras, barras de distribución, aparatos, cables u otros. Un compartimiento se divide en varios cubículos. Se aplica principalmente en los CCM, sin que se limite su uso a otras modalidades de tablero.

#### **2.2.3.6. Gaveta**

Es una unidad compacta para controlar y/o distribuir la energía eléctrica dentro de un CCM, destinada a alimentar principalmente a un motor eléctrico. Se caracteriza por ser modular, con facilidades para desincorporar la mecánica y eléctricamente tanto de la fuente de energía como de la carga alimentada, así como de las señales auxiliares que entran o salen de ella.

#### **2.2.3.7. Barra**

Conductor o grupo de conductores sólidos, que sirven como una conexión común para dos o más circuitos.

### **2.2.4. Centro de Potencia (CP)**

Según la norma venezolana (COVENIN 2783-1998, p. 1), es un tablero, el cual consiste de gavetas compartimentadas, que contienen interruptores, generalmente de potencia, para alimentar tableros, centro de arrancadores y

control, centro de fuerza y distribución y centro de control de motores o cargas individuales de importancia.

Es una estructura metálica conformada por una o varias secciones verticales (celdas) que contienen en su interior un “conjunto de equipos eléctricos, electromecánicos, electrónicos o la combinación de ellos, destinado a distribuir energía eléctrica de manera controlada a cargas que son principalmente motores eléctricos”. (COVENIN 2942, 1998, p.1).

En la figura 2.1 se muestra el centro de control de motores instalado en la Planta Compresora San Joaquín Booster.



**Figura 2. 2 Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**

**Figura 2. 3. Tipos de Falla. Mérida R., 2007)Figura 2. 4 Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**

**Fuente: La Autora (2025)**

### 2.2.5. Clasificación de los CCM

Las normas COVENIN 2492 (1998) especifican, “la clasificación de los Centros de Control de Motores por diversos factores, entre ellos, clase de cableado, tipo de ejecución, tipo de construcción y tipo de cableado”.

#### 2.2.5.1. Tipo de Construcción

**Tipo de un frente:** Las gavetas se encuentran ubicadas en un solo frente, teniendo acceso a las partes activas desde el frente, pero a las barras y cableado interno desde la parte posterior.

**Tipo de dos frentes:** Las gavetas se encuentran ubicadas en los dos frentes, es decir, anteriores y posteriores. Las partes activas tienen acceso desde ambos frentes, pero a las barras secundarias y al cableado interno se llega desmontando tabiques y soportes.

#### 2.2.5.2. Tipo de Ejecución

**Tipo extraíble:** Son aquellos que se caracterizan por tener sus gavetas totalmente extraíbles, con la posibilidad de alcanzar las posiciones insertada, extraída y de prueba; en ésta el circuito de control está activado y el circuito de potencia está desacoplado mecánicamente de las barras de fuerza.

**Tipo enchufable:** Son aquellos que se caracterizan por tener sus gavetas enchufables, con la posibilidad de alcanzar las posiciones insertada y extraída

en los cuales el circuito de fuerza se desconecta automáticamente al extraer la gaveta, pero los circuitos de control y carga deben ser desconectados manualmente.

**Tipo fijo:** Son aquellos que se caracterizan por tener sus gavetas o bandejas integradas a la gaveta en forma fija. Todos los circuitos de fuerza, control y carga se desconectan manualmente.

#### **2.2.5.3. Clase de Cableado**

**Clase I:** Cada una de las gavetas o bandejas del CCM posee un cableado individual y no incluye interconexión entre las diferentes gavetas ni enclavamientos con sistemas de control externos.

**Clase II:** Cada una de las gavetas o bandejas del CCM posee un cableado individual, así como interconexiones entre ellas y con enclavamientos a sistemas de control externos.

#### **2.2.5.4. Tipo de Cableado**

**Tipo A:** Son aquellos CCM en los cuales no existen bornes terminales ni para la carga ni para el control.

**Tipo B:** Son aquellos CCM en los cuales existen bornes terminales de control para cada compartimiento, montados sobre o anexo a cada gaveta o bandeja individual.

**Tipo C:** Son aquellos CCM en los cuales existen: Una bornera terminal de los circuitos de control individual para cada compartimiento o común

para cada celda. Bornes de potencia para las salidas de los arrancadores hasta un máximo de 100 Amperios, montados en la sección vertical para cables y fijados a la estructura. No será requerido suministrar bornes de potencias para salidas de interruptores termomagnéticos y seccionadores con fusibles.

### **2.2.6. Protecciones Eléctricas**

Son dispositivos que detectan condiciones anormales en un circuito y actúan para despejar las fallas presentadas.

En la medida que el sistema sea más importante o de mayor nivel de tensión, requerirá de esquemas de protecciones que involucren diferentes funciones que garanticen la detección temprana de fallas en la red, a fin de eliminar cualquier posible anomalía en el menor tiempo posible.

Estos dispositivos se encargan de discontinuar la energía que presenta condiciones inusuales y son capaces de impedir daños que pueden afectar a los equipos y a las personas que se encuentran cerca del área.

### **2.2.7. Seccionador**

Es un dispositivo mecánico de maniobra que se usa para conectar un circuito o equipo de su fuente de alimentación. Así mismo, facilita el aislamiento de un equipo de la red eléctrica o se disminuye el flujo hacia cierto lugar en la red.

### **2.2.8. Transformador**

Rodríguez, M. (1992) explica que, el transformador es el elemento del sistema de potencia que se encarga de transformar los voltajes y corrientes de

un nivel a otro. El transformador en su forma más simple consiste en dos bobinas (primario y secundario) entrelazadas por el mismo circuito magnético, bien sea el transformador monofásico o el transformador trifásico estudiado en forma monofásica.

### **2.2.9. Interruptor automático**

Dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito de manera no automática y abrir el circuito automáticamente cuando se produzca una sobrecorriente predeterminada sin daños para el mismo cuando se aplique adecuadamente dentro de su régimen.

### **2.2.10. Contactor**

Un contactor es un componente eléctrico que se utiliza para controlar el flujo de corriente eléctrica en un circuito eléctrico de potencia., Está formado por un conjunto de contactos fijos o estacionarios, firmemente sujetos a un bastidor o estructura, que en la mayoría de los casos va provista de cámaras de arqueo.

Dependiendo de su operación, los contactores suelen ser manuales y automáticos, en los contactores manuales el medio actuador puede ser un conjunto de mecanismos y varillas que se controlan con una palanca o manivela. En los contactores magnéticos, las operaciones de conexión y desconexión se realizan por medio de bobinas y electroimanes.

### **2.2.11. Definición de Obsolescencia**

La obsolescencia se refiere a la cualidad de un equipo o máquina

volverse antiguo y caer en desuso. Esto se produce como resultado de los avances tecnológicos, lo que hace que un producto o equipo quede obsoleto y necesite ser reemplazado o actualizado.

#### **2.2.11.1. Factores considerados para la evaluación de la obsolescencia**

Existen 5 factores que en conjunto determinan la obsolescencia de un equipo. Estos factores engloban aspectos funcionales, operacionales y económicos importantes, para evaluar el comportamiento y rentabilidad del mismo dentro del proceso operacional de la instalación a la cual pertenece.

A continuación, se indican cada uno de los factores que tienen influencia en el nivel de obsolescencia de un activo:

- **Obsolescencia por repuestos:** Este factor se define como la condición en la que el fabricante del activo no garantiza el suministro de su repuesto o notifica la no continuidad de la producción del mismo. La indisponibilidad de repuesto al momento de ser necesitado para una reparación causaría el paro definitivo del activo.
- **Obsolescencia por desempeño laboral:** Este factor se define como la condición en la cual el activo no puede operar bajo la capacidad de diseño debido a un aumento del grado de deterioro, desgaste del mismo, alta frecuencia de fallas, disminución de su vida útil, y disminución del tiempo disponible del equipo en estado operativo, entre otros.
- **Obsolescencia por costos asociados al activo:** Este factor se define como la condición en la cual el costo total de mantenimiento de un activo para un tiempo determinado (1, 2, 3, 4, 5, n años) es mayor al costo de adquirir un activo nuevo, o en su defecto, cuando el costo por mantenimiento correctivo es mayor que el costo por mantenimiento

preventivo. Con el uso de los equipos, sus ciclos de mantenimiento, por regla general, van disminuyendo en cuanto al período entre servicios y aumentando sus requerimientos en lo que respecta a la magnitud y calidad de los servicios de mantenimiento preventivo.

- **Obsolescencia por vigencia de tecnología:** Este factor se define como la condición en la cual existe el descubrimiento de nuevos procedimientos de producción y/o el perfeccionamiento de los equipos, provocando una tendencia a sustituir las actuales tecnologías por otras que presenten mayor rendimiento, funcionamiento más seguro y reducción en los costos de mantenimiento.
- **Obsolescencia por seguridad del activo:** Este factor se define como la condición en la cual la integridad del activo no garantiza una operación confiable y segura del mismo.

### 2.2.12. Flujo de Potencia

Flujo de potencia (load flow o power flow en lengua inglesa), consiste en obtener las condiciones de operación en régimen permanente de un sistema de energía eléctrica. Más concretamente, dados los consumos en cada nudo, y la potencia generada por los alternadores, se trata de encontrar las tensiones en los nudos y los flujos de potencia por las líneas y transformadores.

En la operación diaria, constituye la base del análisis de seguridad del sistema. Esta herramienta se ejecuta periódicamente para identificar posibles problemas de sobrecargas o tensiones inaceptables, como consecuencia de la evolución de la carga, o cuando ocurre algo cambio brusco (inesperado o programado) en la topología de la red. En la planificación, permite simular el estado en que se encontrarán los distintos escenarios que se están analizando, ante una demanda estimada.

### **2.2.13. Conceptos Básicos del Estudio de Cortocircuito**

Un cortocircuito es un fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial se ponen en contacto entre sí, caracterizándose por elevadas corrientes circulantes hasta llegar al punto de falla.

Un aspecto importante a considerar en la operación y planeación de los sistemas eléctricos de potencia es su comportamiento en condiciones transitorias y un caso de interés especial lo representa el comportamiento en condiciones de cortocircuito, la condición normal de operación de un sistema eléctrico es sin falla en las instalaciones por distintas causas muchas de ellas fuera del control humano.

Los estudios de cortocircuito, coordinación de protecciones y flujos de Potencia son fundamentales para la correcta selección y aplicación de fusibles, interruptores, interruptores termomagnéticos, relevadores, cables y otros equipos eléctricos. La protección adecuada para los equipos (motores, transformadores, cables) depende de la información obtenida de estos estudios.

Estos estudios son de singular importancia. Estos deberán ser parte fundamental para las decisiones dentro del sistema eléctrico para que los tamaños y ajustes de los dispositivos de desconexión y/o de protección puedan ser verificados como adecuados y para asegurar que los rangos de corriente en los equipos (interruptores, controles, alambrado, entre otros.) no sean excedidos.

Estos estudios requieren muchos datos. Esto incluye la placa de los equipos, tableros, desconectadores, fusibles, interruptores termomagnéticos, cables, transformadores, generadores, motores, control de motores, y todas las cargas de la planta.

La oposición que presenta el propio circuito de distribución al flujo de la corriente de cortocircuito se denomina "impedancia" en términos eléctricos y depende de la configuración del sistema eléctrico, y se calcula a partir de la impedancia de cada uno de los componentes del sistema.

En sistemas eléctricos trifásicos se pueden producir distintos tipos de fallas, como se muestran en la figura 2.2.

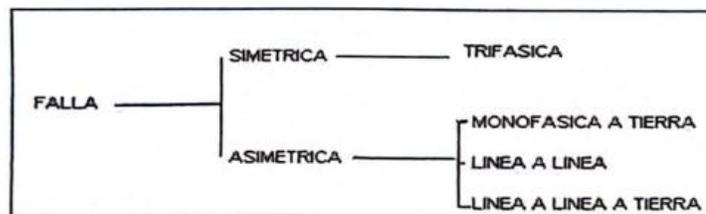


Figura 2. 5. Tipos de Falla. Mérida R., 2007)

Figura 2. 6. Diagrama Unifilar de la Planta Compresora San Joaquín Booster  
Figura 2. 7. Tipos de Falla. Mérida R., 2007)

Siendo la falla de mayor ocurrencia, la de línea a tierra y en orden descendente la de línea a línea quedando en último término la falla trifásica la cual se presenta principalmente por causas accidentales. En las fallas simétricas la corriente de las tres fases del sistema son iguales en el instante del Cortocircuito. Entre ellas tenemos:

- **Cortocircuito trifásico:** Se ponen en contacto las tres fases en un mismo punto del sistema. Es el cortocircuito más severo en la mayoría de los casos.
- **Cortocircuito trifásico a tierra:** Se ponen en contacto las tres fases y

tierra en un mismo punto del sistema. En las fallas asimétricas la corriente en las tres fases del sistema no es igual en el instante del cortocircuito. Entre ellas se tiene:

- **Cortocircuito bifásico ( fase a fase):** Entran en contacto dos fases cualesquiera del sistema.
- **Cortocircuito bifásico a tierra (dos fases a tierra):** Entran en contacto dos fases cualesquiera y la tierra del sistema.
- **Cortocircuito monofásico (fase a tierra):** Ocurre al ponerse en contacto una fase cualquiera con la tierra del sistema. Es el cortocircuito más frecuente.

#### **2.2.14. Programa ETAP PowerStation**

ETAP PowerStation, es un programa que permite el análisis de sistemas eléctricos de potencia de manera gráfica, desarrollado para los sistemas operativos Microsoft® Windows® 2000 y XP, ha logrado establecerse como la herramienta estándar de los profesionales de la ingeniería eléctrica, debido a sus múltiples aplicaciones, y la más completa de análisis y control para el diseño, simulación y operación de sistemas de potencia eléctricos de generación, distribución e industriales.

Se considera PowerStation, como una base de datos finalmente integrada para sistemas eléctricos, permitiendo tener vistas o presentaciones múltiples de un sistema para propósitos diferentes de diseño o análisis.

#### **2.2.15. Diagrama Unifilar**

Un esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella. El diagrama unifilar se distingue de otros tipos de diagramas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea.

El propósito de un diagrama unifilar es el de suministrar en forma concisa información significativa acerca del sistema. En la figura 2.3 se puede observar el diagrama unifilar de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

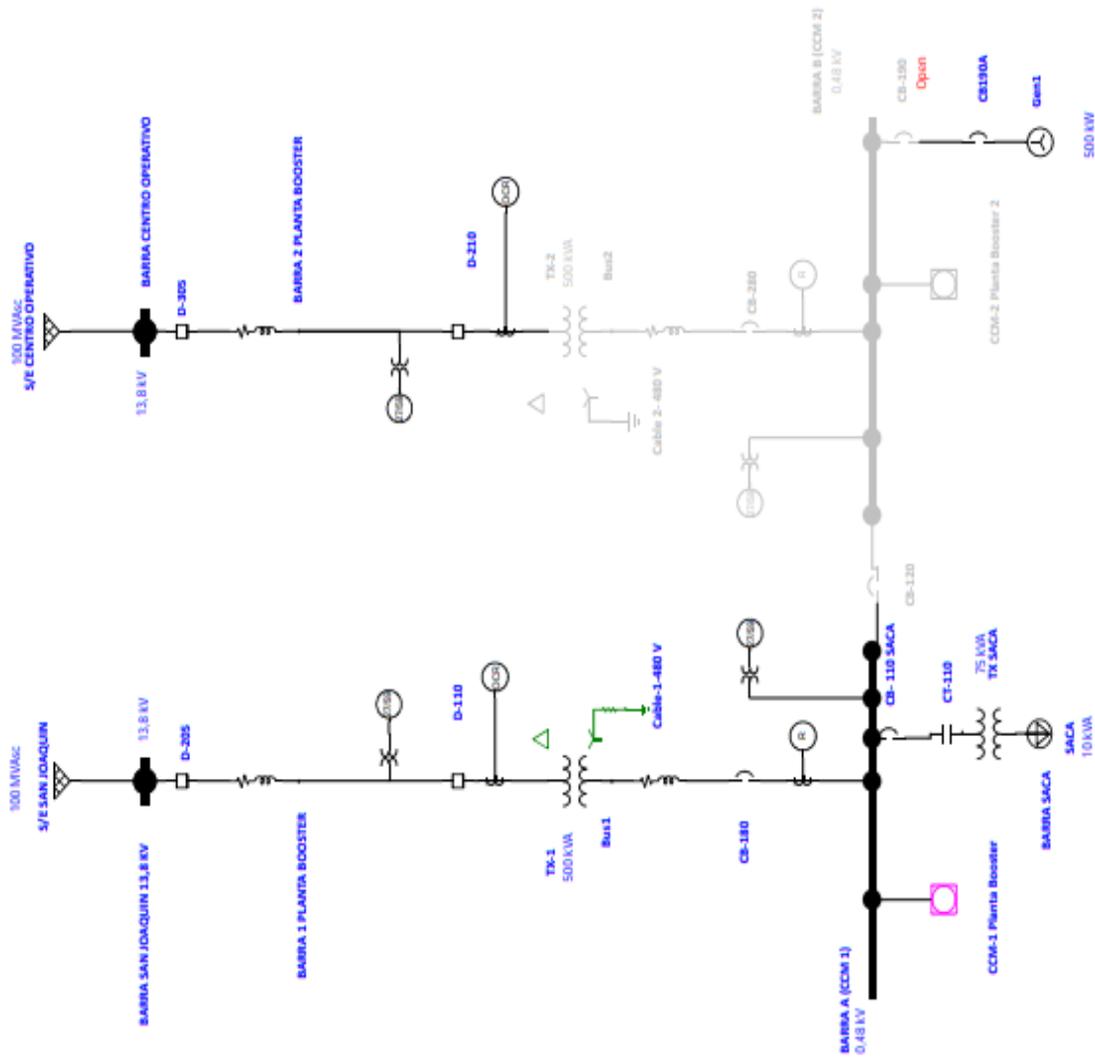


Figura 2. 8. Diagrama Unifilar de la Planta Compresora San Joaquín Booster

## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ASOCIADO AL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE LA PLANTA COMPRESORA SAN JOAQUÍN BOOSTER**

#### **3.1. Sistema Eléctrico**

El sistema eléctrico de transmisión de PDVSA San Joaquín está localizado en la región central del estado Anzoátegui, el cual es supervisado por la Gerencia de Servicios Eléctricos Gas Anaco, encargada de distribuir la energía a los centros de carga pertenecientes a PDVSA. La planta compresora San Joaquín Booster se encuentra localizada en la vía Santa Ana, en el municipio Anaco, estado Anzoátegui, con niveles de voltaje de 13,8kv Y 480V, con una capacidad proyectada de 1000 KVA, pero que actualmente solamente tiene 500 kVA desde un transformadores que tiene una alimentación en esquema de línea sencilla, no redundante, dependiente de un solo circuito atendido por la Gerencia de Servicios Eléctricos (SEGA), este único transformador de 13,8kV/480V energizan dos centros de control de motores uno principal de 480 V denominados Fase 2, y con un enlace para una segunda barra para así alimentar las cargas y equipos futuros.

El CCM de la planta compresora San Joaquín Booster se encuentran alimentados por dos líneas de 13,8 kV, provenientes de las subestaciones eléctricas San Joaquín y Centro Operativo 69 kV/13,8 kV, la cual consta de una capacidad instalada de 24 MVA y 40 MVA respectivamente, los cuales

reciben un suministro de 69 kV a través de cuatro líneas interconectadas con las subestaciones Tigre 1, Alfredo Salazar y Jose, pertenecientes al Sistema Eléctrico Nacional. Está previsto que, en caso de falla de una fuente, la subestación sea aislada de la fuente dañada y la sección de la barra desenergizada, es conectada a la fuente que queda en servicio. Esta transferencia de cargas puede ser manual o automática.

La barra I y II del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster poseerá un (1) transformador por barra con una relación de transformación de 13,8/0,48 kV y capacidad de 1000 KVA, con una configuración delta-estrella puesta a tierra; este transformador se encarga de alimentar el CCM denominado Fase II, el cual está compuesto por (15) motores.

### **3.1.1. Características Eléctricas de los elementos que conforman el Sistema**

Las cargas instaladas en la Planta son: El transformador de potencia, transformador auxiliar, interruptores de potencia y sus protecciones asociadas.

#### **3.1.1.1. Transformador de Potencia**

La Planta Compresora San Joaquín Booster posee una unidad de transformación reductora conectado en delta-estrella puesto a tierra, y dispone de capacidad adicional con enfriamiento de aire por circulación forzada y una temperatura del transformador por encima de 65° C.

El transformador de potencia actualmente alimenta la carga de las dos barras a la cual está asociado el sistema. Actualmente para casos en que se tenga que hacer un enlace de barra y sacar al transformador de servicio, no se cuenta con un transformador de respaldo. En la tabla 3.1 se muestran las características del transformador TX1.

**Tabla 3. 1. Transformador TX1, 1000 KVA, 13,8 kV/480.****Autor: La Autora (2025)**

|                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| <b>FABRICANTE</b>                 | COSTEL          |
| <b>SERIAL</b>                     | 97381           |
| <b>FECHA DE FABRICACIÓN</b>       | 26/01/1998      |
| <b>NORMA BÁSICA</b>               | COVENIN 536-69  |
| <b>NÚMERO DE FASES</b>            | 03              |
| <b>BIL A.T</b>                    | 95KV            |
| <b>BIL B.T</b>                    | 30 KV           |
| <b>TEMPERATURA DE SUBIDA</b>      | 65°C            |
| <b>MATERIAL DE CONDUCTOR</b>      | COBRE           |
| <b>NÚMERO DE DEVANADOS</b>        | 02              |
| <b>CAPACIDAD NOMINAL</b>          | 500 KVA         |
| <b>VOLTAJE LADO ALTA</b>          | 13, 8 KV        |
| <b>VOLTAJE LADO BAJA</b>          | 480 V           |
| <b>RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN</b> | 13,8 kV / 480 V |
| <b>CONEXIÓN</b>                   | DYn5            |
| <b>VOLUMEN ACEITE</b>             | 1650 LITROS     |
| <b>PESO TOTAL</b>                 | 4300 KG         |
| <b>NIVEL</b>                      | 34              |
| <b>AISLAMIENTO</b>                | 10              |
| <b>LUGAR DE FABRICACIÓN</b>       | VENEZUELA       |
| <b>FRECUENCIA</b>                 | 60 HZ           |
| <b>ENFRIAMIENTO</b>               | OA              |
| <b>IMPEDANCIA %</b>               | 6,661           |

### **3.1.1.2. Interruptores de Potencia**

#### **3.1.1.2.1. Interruptores de Potencia en 480V**

La Planta Compresora San Joaquín Booster cuenta en la Barra 1 y en la Barra 2, con un interruptor principal con rangos de operación de:

- Intensidad nominal (15 a 1600) A
- Voltaje de Operación (120 a 600) Vac
- Capacidad de Interrupción (10 a 100) Ka

Este interruptor contiene una unidad de disparo magnética fija, termomagnético intercambiable y de estado sólido intercambiable. Tiene baja condición de sobrecarga o cortocircuito, una barra común de disparo, desconecta todos los hilos del interruptor simultáneamente, eliminando así la posibilidad de conexión de conexión de una única fase.

#### **3.1.1.2.2 Interruptores de Potencia en 13,8kV**

Las especificaciones técnicas de los interruptores de potencia de la barra de 13,8 kV se presentan de manera detallada en la tabla 3.2. Asimismo, en las tablas 3.3 y 3.4 se detallan las características del circuito San Joaquín Booster, proporcionando información fundamental sobre su configuración, capacidades operativas, valores nominales y cualquier otro aspecto técnico necesario para evaluar su eficiencia y adecuación a las exigencias de la planta

compresora. Estos datos permiten una mejor comprensión del comportamiento del sistema y sirven como base para el análisis de su desempeño, su mantenimiento y la planificación de futuras mejoras.

**Tabla 3. 2. Características técnicas de Interruptor de Potencia de Llegada a Barra en 13.8kV.**

**Autor: La Autora (2025)**

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| <b>MECANISMO DE OPERACIÓN</b>      | MOTOR RESORTE |
| <b>TIPO</b>                        | 691C716C10    |
| <b>NUMERO DE POLOS</b>             | 03            |
| <b>VOLTAJE</b>                     | 13800V        |
| <b>FRECUENCIA</b>                  | 60            |
| <b>CORRIENTE NOMINAL</b>           | 2000 AMP      |
| <b>FABRICANTE</b>                  | WESTINGHOUSE  |
| <b>SERIE</b>                       | SER 549       |
| <b>VOLTAJE MÁXIMO DE DISEÑO</b>    | 15 KV         |
| <b>VOLTAJE DE OPERACIÓN</b>        | 13.8 KV       |
| <b>NIVEL DE AISLAMIENTO BÁSICO</b> | 95 KV         |
| <b>CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO</b> | 18 KA         |

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| <b>NÚMERO DE FASES</b>        | 03             |
| <b>MECANISMO DE OPERACIÓN</b> | MOTOR RESORTE  |
| <b>TIPO</b>                   | 150 VCP-W R500 |

**Tabla 3. 3. Características del Interruptor de Potencia de SAN JOAQUÍN BOOSTER.**

**Autor: La Autora (2025)**

|                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| <b>MECANISMO DE OPERACIÓN</b>      | MOTOR RESORTE      |
| <b>TIPO</b>                        | DHP                |
| <b>NÚMERO DE POLOS</b>             | 03                 |
| <b>VOLTAJE</b>                     | 13800V             |
| <b>FRECUENCIA</b>                  | 60                 |
| <b>CORRIENTE NOMINAL</b>           | 1200 AMP           |
| <b>FABRICANTE</b>                  | WESTINGHOUSE       |
| <b>SERIE</b>                       | 69IC716GO1 SER 514 |
| <b>VOLTAJE MÁXIMO DE DISEÑO</b>    | 15 KV              |
| <b>VOLTAJE DE OPERACIÓN</b>        | 13.8 KV            |
| <b>NIVEL DE AISLAMIENTO BÁSICO</b> | 95 KV              |
| <b>CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO</b> | 18 KA              |
| <b>NÚMERO DE FASES</b>             | 03                 |

### 3.1.2. Equipos de Protección

En la Planta Compresora San Joaquín Booster existen equipos de protección asociados a los interruptores y barras, que serán descritos con sus especificaciones técnicas a continuación:

#### 3.1.2.1 Protección Asociada a Interruptores en 480 V

En la planta en estudio, las protecciones asociadas al interruptor principal son de marca: GENERAL ELECTRIC Micro Versa Trip Unit, de tipo de mando local, remoto desde la casa de mando y punto de Telemando, con voltaje de servicio de 480V y corriente de 85 miliamperios respectivamente, para las llegadas a las barras y salida hacia el transformador que se encarga de proteger los equipos de la Planta Compresora San Joaquín Booster. La unidad de disparo del relé tiene un conector trasero de 5<sup>o</sup> pines que proporciona las principales conexiones de la unidad de disparo al interruptor de potencia y a las señales de control del equipo. En la tabla 3.4 se muestran las características de las protecciones asociadas al interruptor principal.

**Tabla 3. 4. Protección asociada al interruptor principal.**

**Autor: La Autora (2025)**

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Marca</b>             | Micro Versa Trip Plus Trip United (General Electric) |
| <b>Listed</b>            | 667E   |
| <b>Lugar de Creación</b> | USA  |
| <b>Catálogo</b>          | SPST120  |
| <b>Voltaje</b>           | 120 VAC  |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| Frecuencia        | 60 Hz |
| Corriente Nominal | 85 Ma |

### 3.1.2.2 Protección Asociada a Interruptores en 13,8kV

El sistema de alimentación MULTILIN SR760 tiene la capacidad de aislar a la protección primaria y los alimentadores de distribución. Tiene características específicas para entornos industriales, incluyendo un caso extraíble para limitar el tiempo de inactividad durante el mantenimiento y revestimiento de conformación de ambientes hostiles.

### 3.1.2.3 Protección asociada a las Barras de 480V

La Barra 1 y la Barra 2 tienen un relé digital de protección asociada a las barras para sobreintensidad marca GENERAL ELECTRIC, el cual se ha diseñado para medir en la línea, las corrientes del sistema a puesta tierra del RMS bajo condiciones normales o bajo disturbios. Las señales actuales se detectan a través de los transformadores de corrientes (TC) de cada línea. Esta información interna es procesada por el microprocesador, para tomar medidas actuales de protección, definidas bajo estándar del ANSI, del IAC o del IEC. Las diversas funciones proporcionadas por el IPR-A se pueden clasificar como se muestra a continuación:

#### Usos:

- Protección primaria y de reserva para los sistemas de distribución de las centrales eléctricas, para uso general e industriales.
- Protección de transformadores, de líneas aéreas de cables y de generadores.
- Permite la abertura del interruptor, dejando la interrupción del

circuito a los fusibles de reserva.

**Protección:**

- Cociente primario del TC seleccionable en los pasos de 10A a 5000A.
- Sobreintensidad de corriente inversa de la fase de tiempo (ANSI 51) y sobreintensidad de corriente de tierra del tiempo inverso (ANSI 51N/51G).
- Sobreintensidad de corriente instantánea (ANSI 50).
- Sobreintensidad de corriente de tierra instantánea.
- Ajuste de alarma de la sobrecarga en un nivel.
- KA acumulado por fase en la interrupción.
- 1 relé de viaje y un relé de alarma.

**3.1.3. Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín  
Booster**

Este CCM marca Cutler-Hammer, tiene un sistema de Barra Principal seccionada, alimentada cada una de las secciones desde una acometida principal a través de los interruptores 52-1 (San Joaquín) y 52-2 (Centro Operativo), los cuales se entrelazan a través de un interruptor de enlace (D120) Los interruptores 52-1, 52-2 (Caja Moldeadora SACE 800 A, Catálogo SH 800 R 800) son usados para la alimentación desde las dos líneas principales, el interruptor de enlace denominado 24 (D120) (Marca Cutler Hammer, 800 A, Catálogo DS-206) es utilizado para enlazar las dos barras con las cuales consta el CCM.

### 3.1.3.1. Características de las cargas que se encuentran en la Planta Compresora San Joaquín Booster

Las cargas que se encuentran asociadas al CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster están asociadas a (2) motores por cada turbina. La composición de los (17) motores se encuentra dada por (8) motores de 15 HP para (4) turbinas, 2 motores de 40 HP para (1) turbina, (5) motores de 5 HP que se utiliza como extractor de gases, (1) motor eléctrico de 5 HP para enfriador de aceite, y también se encuentra asociado al CCM (1) motor de compresión de aire de 25 HP. El motor de compresión de aire tiene un arranque estrella-triángulo con arranque suave, los otros motores mencionados, son trifásicos 480 V, tipo jaula de ardilla, todos los motores tienen la misma característica (explosión proof enclosures). La descripción de los motores se observa en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Descripción de las cargas asociadas a la Barra I del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster**

**Autor: La Autora (2025)**

| UBICACIÓN | DESCRIPCIÓN   | CONDUCTOR |
|-----------|---|-----------|
| ATS-1 T6  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP<br>1 | THW #4    |
| ATS-1 T7  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP<br>1 | THW #4    |
| ATS-1 T8  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP<br>1 | THW #4    |
| ATS-1 T9  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP<br>1 | THW #4    |

|   |  |              |
|---|--|--------------|
| ATS-1 T10                                       | Motor de Enfriador de Aceite<br>40 HP, 480 V                           | THW #2       |
| ATS-1 T7  | Motor Extractor de gases de<br>5 HP, 480 V, 9 A, 1780 rpm,<br>FP 1     | THW #6       |
| ATS-1 T8  | Motor Extractor de gases de<br>5 HP, 480 V, 9 A, 1780 rpm,<br>FP 1     | THW #6       |
| ATS-1 T7  | Motor Enfriador de aceite de<br>5 HP, 480 V, 9 A, 1780 rpm,<br>FP 1    | THW #6       |
| Complejo San Joaquín<br>Booster                 | Motor Compresor de aire de<br>60 HP, 480 V, 73 A, 3560 rpm,<br>FP 0.83 | THW #4/0     |
| Transformador Seco<br>(servicios<br>auxiliares) | 75 KVA, Trifásico, 480 a<br>240/120 V                                  | TH W 500 MCM |

Las características de las cargas futuras que se encuentran asociadas a la Barra II en el CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster se describen en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Descripción de las cargas futura asociadas a la Barra II del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster**  
Autor: La Autora (2025)

| UBICACIÓN | DESCRIPCIÓN  | CONDUCTOR |
|-----------|--|-----------|
| ATS-2 T6  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #4    |
| ATS-2 T7  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #4    |
| ATS-2 T8  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #4    |
| ATS-2 T9  | Motor Enfriador de gas, 15 HP, 480 V, 21 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #4    |

|           |  |        |
|-----------|--|--------|
| ATS-2 T10 | Motor de Enfriador de Aceite 40 HP, 480 V                    | THW #2 |
| ATS-2 T19 | Motor Extractor de gases de 5 HP, 480 V, 9 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #6 |
| ATS-2 T6  | Motor Extractor de gases de 5 HP, 480 V, 9 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #6 |
| ATS-2 T9  | Motor Extractor de gases de 5 HP, 480 V, 9 A, 1780 rpm, FP 1 | THW #6 |

### 3.2 Descripción del estado actual

El estado de obsolescencia y deterioro en el cual se encuentra el Centro de Control de Motores de la planta compresora San Joaquín Booster, mantiene en un riesgo constante al personal de mantenimiento eléctrico, operadores, que a diario laboran en la planta, debido a sus características de construcción originales, por ser paneles con un prolongado tiempo de operación (24 años, ya que la misma inició sus operaciones en el año 1999), y por la falta de mantenimiento que requieren los dispositivos/componentes que los conforman.

### 3.3 Requerimientos de operación de los centros de control de motores

Se observarán los requerimientos de operación de los centros de control de motores, los cuales son exigidos por la gerencia de mantenimiento operacional para cumplir con la propuesta.

Los requisitos de operación del Centro de Control de Motores, se describen a continuación:

1. Sistema de servicio continuo: Los principios de confiabilidad aplicados por la empresa, planifican que la operación de los centros de control de motores será sin interrupciones hasta que sea necesario el mantenimiento o actualización del sistema eléctrico.
2. Arranque consecutivo temporizado a 5 minutos: El arranque debe permitir que los motores no enciendan simultáneamente permitiendo la libertad de graduar el tiempo en arranques consecutivos.
3. Arranque automático bajo condiciones de pérdida y reconexión del servicio: En caso de interrupciones del servicio eléctrico, el sistema debe ser capaz de iniciar la secuencia de arranque temporizado automáticamente.
4. Barras, cableado de salida, cableado de medición y control, separado físicamente, con barreras de seguridad que faciliten la manipulación de alguna falla.
5. Trabajar bajo normativa PDVSA N-201, según las especificaciones sobre los centros de control de motores y la operación de la protección de los mismos.
6. El cálculo de sobrecarga debe ser elemental para la selección de la capacidad de interrupción de los equipos de protección. Según lo que establece el CEN 200:2004, sección 430.32 (1), no es más que el 115% de la corriente nominal.
7. El cálculo de servicio debe ser elemental para conocer la corriente de operación de los equipos de protección, que no es más que el 70% de la corriente nominal, es decir:
8. En el esquemático control para el arranque, debe usarse un

interruptor on-off, con la finalidad que el operador coloque el interruptor en posición on y se lleve a cabo la secuencia de arranque de los motores.

9. Emplear luces pilotos o indicadores de estado del circuito de control, las cuales deben estar instaladas en las puertas del CCM, en conjunto con el interruptor on-off. Las funciones y códigos de colores de las luces se muestran a continuación:
  - **Rojo:** Indica que el motor está parado.
  - **Verde:** Indica que el motor está encendido.
  - **Amarillo:** Indica que se disparó la protección de sobrecarga.
10. Es indispensable especificar las características eléctricas de los componentes seleccionados para el reemplazo, la marca y el modelo, especificando las gavetas de ubicación de los mismos.
11. El fabricante solicitado es General Electric (GE), ya que se destacan por su respuesta rápida, flexibilidad de ubicación en el mercado.

### **3.4. Especificaciones de diseños propuestos según normas de PDVSA N-201.**

El centro de control de motores San Joaquín Booster está, para operar en un sistema trifásico de 480 V, 60Hz, 800 A. Los requerimientos del CCM vienen dados por la norma de PDVSA N-201.

#### **a) Estructura y gavetas**

- El CCM debe estar compuesto por una serie de unidades verticales autosoportadas, metal-clad tipo switchgear.

- Las dimensiones del CCM deben ser de 2.32 m de altura, 2.28 m de ancho y 89 cm de profundidad.
- Las dimensiones para las gavetas, deben ser de aproximadamente 62.8 x 44.2 cm, 62.8 x 44.2 cm y 31.4 x 44,2 cm respectivamente, con una profundidad de 88 cm, en el que, 65 cm sólo estarán los equipos arrancadores y 23 cm como compartimiento donde se encontrará el cableado de salida y las barras verticales.
- Cada cubículo debe tener puerta de acceso sin exponer a los circuitos de protección.
- Toda pieza de material ferroso tendrá una protección contra la corrosión de acuerdo a las condiciones ambientales.
- Todas las piezas metálicas estarán totalmente pintadas usando un proceso electrodeposición.
- Tanto la acometida como las salidas, entrarán a la estructura por el techo canalizadas a través de bandejas porta-cables.

## **b) Barras**

### Aislamiento de las barras y conexiones

- Seguridad eléctrica: Evita contactos accidentales y reduce el riesgo de cortocircuitos o descargas eléctricas.
- Cumplimiento normativo: La mayoría de las normativas eléctricas exigen aislamiento en componentes conductores expuestos.

Material de las barras: cobre electrolítico de alta conductividad (99.9%)

- Eficiencia eléctrica: El cobre con esta pureza minimiza la resistencia eléctrica, reduciendo las pérdidas de energía y mejorando el rendimiento del sistema.
- Durabilidad: Alta resistencia a la corrosión y excelente capacidad de conducción térmica y eléctrica.

#### Fijación rígida de las barras mediante aisladores

- Estabilidad mecánica: Garantiza que las barras no se desplacen por vibraciones o esfuerzos eléctricos.
- Seguridad: Previene movimientos que puedan generar fallos eléctricos, arcos eléctricos o cortocircuitos.

Soporte adecuado de las barras y uniones para soportar una capacidad de cortocircuito de 31,5 kA

- Resistencia mecánica: La estructura debe soportar fuerzas electromagnéticas generadas en cortocircuitos de alta intensidad.
- Continuidad del servicio: Reduce el riesgo de fallos estructurales y desconexiones imprevistas.

#### Fijación firme de las barras que alimentan las bandejas a la barra principal

- Conexión segura y confiable: Minimiza puntos de falla y garantiza una correcta distribución de la corriente eléctrica.
- Evita sobrecalentamientos: Uniones flojas pueden generar resistencias adicionales y puntos calientes.

#### Dimensiones de las barras principales y secundarias

- Capacidad de corriente adecuada: El dimensionamiento de las barras garantiza que pueden manejar la carga de corriente sin sobrecalentarse.
- Cumplimiento de normativas: Se establecen dimensiones estándar en función de la carga eléctrica esperada y las regulaciones técnicas.
- Las barras principales/horizontales: Deben ser de 10.16 x 0,7 cm y las barras secundarias/verticales de 5.12 x 0,7 cm.

#### **c) Unidad de Arranque de Motores**

- El sistema de servicio debe ser continuo.
- El control se llevará a cabo con un interruptor on-off, el cual está instalado con las luces pilotos en la parte frontal del CCM, específicamente en las puertas de cada gaveta.
- El transformador toroidal, debe estar protegido mediante dos fusibles limitadores.
- El primario del transformador debe estar conectado a la carga del interruptor.
- Para la protección de los motores los relés de sobrecarga deben estar conectados directamente al contactor principal.

#### **d) Sistemas de Protección**

- El sistema de protección consistirá de un transformador de corriente toroidal y un relé con ajuste de operación.

#### **e) Cables**

- El calibre de los cables de potencia debe oscilar entre AWG #8 y #4 y el aislamiento de estos será de 600 V y a 90° C.

- El calibre de los cables de control debe ser AWG #14 y el aislamiento de estos será de 600 V y a 75° C.

**f) Placa de Identificación**

- Cada una de las gavetas que conforman el CCM, debe contar con una placa de identificación correspondiente al motor asociado, y estar hecha de material resistente a la corrosión.
- El CCM cuenta con una placa principal en su frente con las características generales.
- Las placas serán atornilladas o remachadas.

**g) Requisitos de instalación**

- La instalación debe contar con la remoción de los componentes que conforman las gavetas eléctricas.
- Las posiciones de los componentes deben ser igual o similar a las posiciones anteriores a la instalación.

**h) Inspección y pruebas:**

- Cada una de las gavetas serán inspeccionadas y aprobadas de acuerdo a la norma COVENIN 540:1998. Grados de protección proporcionados por los envoltentes (Cajas y gabinetes) utilizados en media y baja tensión.

## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO DE OBSOLESCENCIA**

La realidad actual apunta hacia la necesidad de cambios, desde las áreas de desarrollo en diferentes campos como la economía, la tecnología y el medio ambiente, entre otras. Por lo que, se hace relevante considerar implementar estudios de obsolescencia de manera periódica, los cuales se refieren al proceso por el que un producto o tecnología se vuelve obsoleto o desactualizado, ya sea debido a avances tecnológicos, cambios en las preferencias del consumidor o estrategias de los fabricantes. De allí que, este tipo de estudio sea fundamental para comprender cómo los avances tecnológicos, las estrategias de los fabricantes y las preferencias del consumidor influyen en la vida útil y en la relevancia de los productos y tecnologías. Además, permite analizar las implicaciones económicas, sociales y ambientales de la obsolescencia en las instituciones y organizaciones.

La presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar el sistema eléctrico del Centro de Control de Motores, de la Planta Compresora San Joaquín Booster. Estas áreas conocidas como CCM, que son un tablero diseñado para alimentar, controlar y proteger circuitos, especialmente aquellos que involucran motores eléctricos. De allí que su utilidad esté orientada a supervisar, proteger y controlar el funcionamiento seguro y eficiente de los motores eléctricos. Por consiguiente, al abordar la situación actual de la Planta Compresora San Joaquín Booster, con el propósito de observar la relación calidad/tiempo de operación de la misma, desde 1999, se logra apreciar que la obsolescencia se manifiesta de diferentes maneras, en cuanto a los avances tecnológicos que hacen que los equipos utilizados en el Centro de Control de Motores, sean menos eficientes, en comparación con productos de

tecnologías más innovadoras. Esto permite inferir la necesidad de incorporar nuevas tecnologías de control de motores de mayor eficiencia, o la mejora de los sistemas de supervisión y protección.

En consecuencia, este proceso de observación permite vislumbrar la importancia de realizar un estudio de obsolescencia en el centro de control de motores (CCM), de la Planta Compresora San Joaquín Booster para identificar los riesgos que pueden establecerse, y evaluar así la vida útil de los componentes. Paralelamente, dicho proceso permite identificar la existencia de incrementos en los costos de mantenimiento de los activos, además de la ausencia de repuestos por parte de fabricantes de equipos modulares, lo que refuerza y justifica la necesidad de llevar a cabo los estudios de obsolescencia.

#### **4.1. Fases del Estudio de Obsolescencia**

El estudio de obsolescencia involucra varias fases para comprender y evaluar la problemática tanto a nivel estructural como funcional. Para ello, debe definirse una metodología cuyo alcance integre aspectos que abarquen desde el mantenimiento, hasta lo tecnológico, economía, tecnología, desempeño operacional y seguridad, con el fin de precisar el nivel de obsolescencia que presenta el equipo estudiado. Esto, permitirá ejecutar acciones que conlleven a generar los resultados requeridos desde las normativas vigentes de PDVSA, en pro de garantizar la estabilidad y operabilidad efectiva y segura de cada componente correspondiente al CCM.

Para el alcance de los objetivos propuestos en esta investigación, se plantea trabajar en base a la siguiente estructura, siendo desarrollado el estudio en las siguientes fases:

- **Fase I:** Validación de la Metodología
- **Fase II:** Jerarquización preliminar de equipos en Obsolescencia
- **Fase III:** Aplicación de Metodología

#### **4.2. Fase I – Validación de la Metodología**

El propósito de esta fase consiste en generar una herramienta, por parte del equipo laboral del área, que facilite la comparación de enfoques hacia el mejoramiento de la propuesta metodológica, así como los parámetros y enfoques que permiten orientar su curso, con el propósito de evaluar de manera sistemática el estatus de obsolescencia que presenta el área en estudio y sus componentes, como es el Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

En este orden, es necesario asegurarse de que los equipos del CCM en estudio se encuentran en un nivel de obsolescencia o en vía. Para ello, se requiere conocer los factores que ejercen influencia en su operabilidad. Esto garantiza resultados confiables conducentes a consolidar posteriormente la toma de decisiones.

En tal sentido, para determinar la obsolescencia del CCM (Matriz de Evaluación), debe considerarse los 5 factores de influencia relevante en aquella, según la naturaleza de la problemática. Tales factores, abarcan aspectos funcionales, operacionales y económicos, según la operabilidad de la instalación a la cual pertenecen, lo que permite evaluar el comportamiento y rentabilidad de los equipos en estudio.

Los factores que influyen en el nivel de obsolescencia son:

- Obsolescencia por repuestos.
- Obsolescencia por desempeño operacional.
- Obsolescencia por costos asociados al activo.
- Obsolescencia por vigencia tecnológica.
- Obsolescencia por seguridad del activo.

El impacto de estos factores en la obsolescencia de los equipos, conlleva a la generación de la “Matriz de obsolescencia de activos”, la cual facilita su evaluación. Luego de ésta, se jerarquizan de acuerdo a los niveles de obsolescencia que correspondan. Según los resultados obtenidos, este proceso permite seleccionar e implementar estrategias, hacia la optimización de la funcionalidad, operacionalidad, confiabilidad, y eficiencia esperados.

#### **4.2.1. Matriz de Obsolescencia**

En el estudio diagnóstico de los equipos del CCM, la Matriz de Obsolescencia, constituye un proceso compuesto de 5 factores que es primordial en la verificación del estado actual de los equipos en servicio o funcionamiento.

Cada uno de estos factores, se asocia a distintas condiciones que deben ser considerados individualmente para su correcta evaluación por lo que se dividen en criterios, los cuales, a su vez, contienen una serie de ítems que representan los diferentes rangos.

Estos rangos, están designados en cada criterio con una ponderación específica para cada uno de ellos. De acuerdo al ítem seleccionado y a la condición del activo, se aportará mayor o menor valor al grado de

obsolescencia del equipo evaluado.

En lo que respecta a la matriz, esta tiene un valor máximo de 100 puntos. Además, cuenta con 3 niveles de obsolescencia según el puntaje obtenido. Si el valor total de la matriz es mayor o igual a 34 y menor a 67, se considera en vía de obsolescencia y se requiere un estudio para evaluar la condición del mismo y tomar decisiones con anticipación. Por último, cuando el valor de la matriz es menor a 34, el equipo se mantiene en su condición de regular.

#### **4.2.2. Valor total de la Matriz**

El valor total de la matriz es generado mediante el valor aportado por cada factor, de acuerdo a la influencia de este factor en el nivel de obsolescencia y la condición actual del activo.

#### **4.2.3. Descripción de los factores considerados para la evaluación de la Obsolescencia**

A fin de concretar la evaluación de la Obsolescencia, se procede a realizar una descripción de los factores que son considerados en la matriz para el debido estudio de obsolescencia del Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster

##### **4.2.4.1. Repuestos**

Desplegados de este factor se consideran dos (2) criterios a evaluar: la disponibilidad de repuestos (en almacén y en el mercado) y el tiempo de colocación en sitio.

**a) Disponibilidad de Repuestos (en almacén y en el mercado):**

Este criterio, es evaluado en función de la disposición del repuesto en almacén o en el mercado. Esto se traduce en términos de factibilidad y facilidad para hacer la reparación necesaria, con el fin de optimizar las condiciones de funcionamiento del activo. Para ello, se recomienda verificar la disponibilidad de repuestos en el orden que a continuación se presenta:

- Verificación de Stock a nivel de PDVSA.
- Almacén de la planta a la cual pertenece el equipo.
- Almacenes de plantas en zonas aledañas.
- Almacenes en el resto del país.
- Verificación de disponibilidad de repuestos con entes externos.
- Fabricante original de la marca o representante.
- Fabricante de la marca, competencia o representante.
- Fabricantes generales del tipo de pieza, equipo o representantes.

Este criterio muestra los siguientes ítems:

1. No existe disponibilidad en el mercado (sin opción de fabricación de repuestos). **(Puntaje 100)**
2. No existe disponibilidad en el mercado (con opción de fabricación de repuestos). **(Puntaje 17)**
3. Disponibilidad en el mercado menor a 5 años. **(Puntaje 12)**
4. Disponibilidad en el mercado desde 5 y hasta 10 años. **(Puntaje 7)**

#### 5. Disponibilidad en el mercado mayor a 10 años. **(Puntaje 0)**

En caso de seleccionarse el primer ítem, es decir, no existe disponibilidad en el mercado (sin opción de fabricación de repuestos), la matriz muestra un aviso como indicativo para no continuar con la evaluación, debido a que esta condición es predominante, pues en caso que, en el mercado no existan repuestos para el centro de control de motores y no haya la opción de fabricación, cuando estos fallen no podrán ser reparados, quedando fuera de servicio el sistema en el cual operan. Con la selección de este ítem se hace necesaria la evaluación inmediata del reemplazo de los equipos, siempre y cuando sea justificado operacionalmente dentro de un marco de utilización inmediata y futura. Si este primer ítem no es elegido debe seleccionarse cualquiera de las otras cuatro opciones que darán la ponderación (valor) de este criterio a la evaluación de obsolescencia.

#### **b) Tiempo de colocación en Sitio:**

Es el tiempo transcurrido desde el momento en que se solicita el repuesto al proveedor hasta el momento de entrega al solicitante. Por consiguiente, vale destacar la relevancia de este criterio, puesto que, si la entrega de los repuestos es segura, se facilita la planificación de su adquisición a corto plazo. En caso de que la entrega sea a plazos inexactos o muy extensos es esencial mantener un amplio stock de repuestos, lo que implica a su vez altos costos de almacenamiento.

En cuanto al tiempo de colocación en sitio, este varía según el tipo de equipo (dinámico o estático). Para este caso en estudio, como se evidencia comúnmente, el tiempo de colocación es extenso, puesto que se trata de equipos estáticos. En la matriz de evaluación se reflejan ambas opciones.

Este criterio contiene los siguientes ítems:

- Para los equipos dinámicos:
  1. Mayor de 6 meses. **(Puntaje 8)**
  2. Mayor de 3 meses y hasta 6 meses. **(Puntaje 5)**
  3. Mayor a una semana y hasta 3 meses. **(Puntaje 2)**
  4. Menor a una semana. **(Puntaje 0)**
  
- Para los equipos estáticos:
  1. Mayor de 12 meses. **(Puntaje 8)**
  2. Mayor a 6 meses y hasta 12 meses. **(Puntaje 5)**
  3. Mayor a 3 meses y hasta 6 meses. **(Puntaje 2)**
  4. Menor a 3 meses. **(Puntaje 0)**

El factor de repuestos equivale a un máximo de 25 puntos en la evaluación de la matriz de obsolescencia. Este puntaje considera la suma de los valores máximos de cada criterio; el criterio A “Disponibilidad de Repuestos” (cuyo mayor valor es 17), y el criterio B “Tiempo de colocación en Sitio” (con 8 puntos).

Se resalta que en la evaluación de este factor no se consideran los costos de reemplazo de repuestos. Estos costos son considerados en el tercer factor de la matriz (costos asociados al activo).

#### **4.2.4.2. Desempeño Operacional**

Para la evaluación que compete a este factor, se toma en cuenta un

(1) criterio: la frecuencia de falla.

En este factor, los ítems se presentan separados por tipo de equipo. Sin embargo, es necesario resaltar que los equipos estáticos y los dinámicos no presentan el mismo comportamiento en lo que respecta a la frecuencia de fallas. Tomando en cuenta que, el Centro de Control de Motores es un equipo estático, la frecuencia de fallas se evalúa a partir de los ítems de equipos estáticos.

#### **a) Frecuencia de Falla**

Aspecto vinculado al número de fallas que presenta un equipo en un plazo específico de tiempo. Los valores necesarios para el cálculo de la frecuencia de falla, se extraerán de la data histórica del centro de control de motores realizada y almacenada por el custodio de los mismos y el equipo laboral de las distintas disciplinas.

En este criterio se pueden detectar los siguientes ítems:

- Para los equipos dinámicos:
  1. Más de dos fallas por año. **(Puntaje 22)**
  2. Hasta dos fallas por año. **(Puntaje 15)**
  3. Hasta una falla por año. **(Puntaje 11)**
  4. Menos de una falla por año. **(Puntaje 0)**
  
- Para los equipos estáticos:
  1. Una falla en 2 años. **(Puntaje 22)**
  2. Una falla de 3 a 4 años. **(Puntaje 16)**

3. Una falla de 5 a 7 años. **(Puntaje 7)**
4. Una falla de 7 a 10 años. **(Puntaje 5)**
5. Una de más de 10 años. **(Puntaje 0)**

El factor de desempeño operacional equivale a un máximo de 22 puntos en la evaluación de la matriz de obsolescencia. Este puntaje considera la selección del ítem correspondiente a un equipo dinámico o estático, tomando en consideración que debe ser seleccionado solo un (1) ítem para el caso representativo.

#### **4.2.4.3. Costos asociados al activo**

Significa que:

- CMP: Costo de Mantenimiento Preventivo
- CMC: Costo de Mantenimiento Correctivo
- CMDA: Costo del Mantenimiento del Activo
- CMDNA: Costo del Mantenimiento del Nuevo Activo

En el marco de este factor se estiman dos (2) criterios a evaluar: los costos de mantenimiento preventivo vs. costos de mantenimiento correctivo, y los costos de mantenimiento del activo vs. costos del nuevo activo.

#### **a) Costos de Mantenimiento Preventivo vs. Costos de Mantenimiento Correctivo**

Factor relacionado con el costo generado por mantenimiento programado al centro de control de motores (Mantenimiento Preventivo, MP), para un tiempo específico (1, 2, 3, 4, 5, n años), el cual se compara con el

valor generado por mantenimiento correctivo (MC) de estos, para el mismo tiempo de estudio. Este valor, puede revelar desviaciones en la ejecución del mantenimiento, o fallas del equipo con cierta recurrencia. Esto muestra como efecto resultante ciertas implicaciones negativas desde el punto de vista económico para la empresa. De este modo, se toman como valores normales de costos de mantenimiento de un activo, aquellos en donde los costos de mantenimiento equivalen en un 70 % al Mantenimiento Preventivo y un 30% al Mantenimiento Correctivo.

Los ítems que corresponden a este criterio son los siguientes:

1. Desde 0 hasta 30% el MP; desde 70 hasta 100% el MC. **(Puntaje 12)**
2. Desde 31 hasta 49% el MP; desde 50 hasta 69% el MC. **(Puntaje 8)**
3. Desde 50 hasta 69% el MP; desde 31 hasta 49% el MC. **(Puntaje 4)**
4. Desde 70 hasta 100% el MP; desde 0 hasta 30% el MC. **(Puntaje 0)**

#### **b) Costos de Mantenimiento del Activo vs. Costos del Nuevo Activo**

Comprende la relación entre el costo de mantenimiento correctivo generado por el centro de control de motores a causa de fallas o averías, a fin de restablecerlo a condiciones aceptables de operación, para un tiempo específico (1, 2, 3, 4, 5, n años), y el valor del costo de adquisición y puesta en sitio del nuevo activo a adquirir.

Esta relación demuestra un indicativo de la rentabilidad de conservar los equipos actuales con respecto a su reemplazo.

En este criterio, se cuenta con los siguientes ítems:

1. Costo de mantenimiento mayor al costo del activo nuevo. **(Puntaje 8)**
2. Costo de mantenimiento igual al costo del activo nuevo. **(Puntaje 5)**
3. Costo de mantenimiento menor al costo del activo nuevo. **(Puntaje 0)**

El factor de costos asociados al activo equivale a un máximo de 20 puntos en la evaluación de la matriz de obsolescencia. Este puntaje considera la suma de los valores máximos de cada criterio. El criterio A “Costos de Mantenimiento Preventivo vs. Costos de Mantenimiento Correctivo” (cuyo valor es de 12 puntos) y el criterio B “Costos de Mantenimiento del Activo vs. Costos del Nuevo Activo” (el cual es de 8).

#### **4.2.4.4. Vigencia Tecnológica**

Este factor toma en cuenta tres criterios (3) para evaluar: el uso de la tecnología en la industria, la oferta de la tecnología en el mercado y las normas.

##### **a) Uso de la tecnología en la Industria**

Para conocer el nivel de uso de la tecnología que interesa al estudio de obsolescencia, debe llevarse a cabo una comparación a través de un benchmarking entre las diferentes industrias afines a PDVSA. Esto, permite detectar qué porcentaje de ellas utiliza la misma tecnología que se está evaluando en el centro de control de motores

Entre los ítems que contiene este criterio se encuentran los siguientes:

1. Uso exclusivo. **(Puntaje 7)**
2. Hasta el 50 % de la industria usa la tecnología. **(Puntaje 4)**
3. La tecnología es de uso generalizado. **(Puntaje 0)**

##### **b) Oferta de la Tecnología en el Mercado**

Se realiza un benchmarking (estudio que sirve para realizar un análisis comparativo de los productos, servicios o procesos que ofrece la competencia y que demuestran las mejores prácticas y su aplicación sobre un área en interés, con el propósito de transferir dicho conocimiento), para determinar qué

porcentaje del mercado ofrece la misma tecnología que se evalúa en el centro de control de motores

Los ítems que encierra este criterio son los siguientes:

1. Ningún fabricante lo ofrece. **(Puntaje 7)**
2. Por lo menos el 50 % del fabricante la ofrece en catálogo actualmente.
3. **(Puntaje 4)**
4. El fabricante la ofrece en catálogo actualmente. **(Puntaje 0)**

### **c) Normas**

El centro de control de motores de las instalaciones de la empresa, debe cumplir de manera estricta con las normativas establecidas y en correspondencia con la naturaleza y funciones del mismo, ya que de esto depende en gran parte la garantía de seguridad operativa y la disminución de riesgos que pudieran implicar costos incalculables e irrecuperables para la empresa.

En este criterio se incluyen los siguientes ítems:

1. No cumple con las Normas vigentes de PDVSA. **(Puntaje 6)**
2. Cumple con las Normas vigentes de PDVSA. **(Puntaje 0)**

El factor de vigencia tecnológica equivale a un máximo de 20 puntos en la evaluación de la matriz de obsolescencia. Este puntaje considera la suma de los valores máximos de cada criterio. El criterio A “Uso de la tecnología en la industria” (cuyo valor es de 7 puntos), el criterio B “Oferta de la tecnología en el mercado” (con un valor ponderado de 7 puntos) y el tercer criterio o criterio C “Normas” (el cual es de 6 puntos).

#### **4.2.4.5. Seguridad**

En función de garantizar la seguridad de funcionamiento, a través de

este factor, se evalúa la condición física que presenta el centro de control de motores. Este factor se constituye de un (1) criterio a evaluar, como es la integridad del activo.

#### **a) Integridad del Activo**

Este criterio apunta hacia uno de los objetivos principales de la empresa como es la prevención de accidentes cuyas posibles causas pueden ser el estado de la infraestructura de los centros de control de motores envejecida y su condición de deterioro. De allí que, en lo que respecta a seguridad, la garantía de integridad de los activos es un elemento clave en las estrategias de seguridad.

En consecuencia, con el propósito de garantizar que los equipos críticos de seguridad estén en condiciones óptimas para lo que han sido diseñados hacia el provecho de su vida útil, se implementan programas de inspección a los mismos, y otras acciones como ensayos y verificaciones necesarias que confirmen este fin.

Ítems que se condensan en este criterio:

1. El activo opera bajo condición insegura. (**Puntaje 13**)
2. El activo opera bajo condición segura. (**Puntaje 0**)

Para determinar las condiciones de seguridad de los equipos, es necesario precisar que el factor de seguridad del activo es equivalente a un máximo de 13 puntos en la evaluación de la matriz de obsolescencia. Este puntaje toma como punto de partida, el total del valor máximo de los ítems, es decir, cuando el activo opera bajo condiciones inseguras.

#### **4.3 Fase II – Jerarquización preliminar de equipos en obsolescencia**

A esta fase corresponde un proceso que comprende la elaboración del listado preliminar de los equipos en obsolescencia. Estos equipos se clasifican según el factor más relevante que los causó. Para esto, se toma en cuenta la opinión del personal en su área de ubicación, el personal de los departamentos, de mantenimiento mayor y mantenimiento operacional, y el personal de trabajo de otras áreas de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

Un aspecto de preponderancia en esta fase de jerarquización se basa en que, los resultados no dependen sólo de la matriz de evaluación, sino exclusivamente de la opinión del equipo natural de trabajo. De allí que el objetivo de la misma sea obtener un listado preliminar de los dispositivos en obsolescencia, avalado por el encargado de la instalación, el cual servirá de insumo para iniciar la evaluación a través de la matriz. Luego, se aborda el proceso de jerarquización a partir del fundamento por el que la matriz para determinar el nivel de obsolescencia de activos, presente en este documento, aplica para equipos dinámicos, estáticos, eléctricos y electrónicos de las plantas de PDVSA Gas, y que el estudio se centra en el centro de control de motores. El procedimiento para dicha jerarquización, debe cumplirse de la siguiente manera:

#### **4.3.1. Jerarquización del Centro de Control de Motores asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster.**

##### **Datos recolectados:**

- a) Empresa: Planta Compresora San Joaquín Booster – PDVSA Gas
- b) Equipo: Centro de Control de Motores.

c) Tipo: Eléctrico

d) Factores relevantes: repuestos, desempeño operacional, costos asociados al activo, vigencia tecnológica, seguridad del activo.

La gestión eficiente de un activo industrial depende de varios factores clave. La disponibilidad de repuestos minimiza tiempos de inactividad, mientras que un buen desempeño operacional optimiza la productividad y reduce fallos. Los costos asociados deben evaluarse considerando inversión, mantenimiento y retorno. La vigencia tecnológica es crucial para evitar obsolescencia y garantizar compatibilidad con nuevas soluciones. Por último, la seguridad del activo previene accidentes y cumple con normativas. Analizar estos aspectos asegura eficiencia, rentabilidad y continuidad operativa.

#### **4.3.1.1. Repuestos**

En el área de almacenaje, lugar donde reposan los repuestos del Centro de Control de Motores, el cual cuenta con el personal especializado en su área de ubicación, se constató la ausencia de repuestos requeridos ante su solicitud, así como el stock de la empresa presenta la misma situación. Esto genera como consecuencia la desestabilización de los procesos de operacionalización e incide en la ineficiencia sistemática del centro de control de motores.

#### **4.3.1.2. Desempeño operacional (D.O)**

El Centro de Control de Motores, de la planta San Joaquín Booster, fue instalado en el año de 1999. Tomando en cuenta que el tiempo de vida útil es de 25 años, se evidencia que este CCM, ha superado su límite. Sin embargo, en la actualidad, 25 años después, esta planta continúa funcionando bajo

condiciones operacionales de cierto riesgo, debido a su deterioro, desgaste, fallas, entre otros factores que restringe su condición de operación óptima.

#### **4.3.1.3. Costos asociados al activo**

Al revisar el factor vinculado a los costos asociados al activo, se logró detectar que debido al uso continuo del área del CCM, los ciclos de mantenimiento en un periodo determinado han disminuido con el transcurso de los años, mientras que, por otro lado, han aumentado los requerimientos relacionados a magnitud y calidad de servicio del mantenimiento preventivo; al considerar este factor, se verificó junto al personal de electricidad, las cotizaciones de la empresa que engloba la relación entre el costo de mantenimiento preventivo vs. el costo de mantenimiento correctivo, así como también, el costo de mantenimiento del activo vs el costo del nuevo activo del Centro de Control de Motores.

Esto permite comprobar un cambio de rumbo o desviación en lo que refiere a la ejecución del mantenimiento o fallas recurrentes en el Centro de Control de Motores, que resulta contraproducente para la empresa, al ser a su vez un indicativo de rentabilidad para conservar el activo actual con respecto a su reemplazo.

#### **4.3.1.4. Vigencia Tecnológica**

Para abordar el estudio de la vigencia tecnológica, del Centro de Control de Motores es necesario precisar objetivos como la oferta de la tecnología en el mercado, el uso de la tecnología en la industria y las normas vigentes de PDVSA Gas.

Se llevó a cabo una comparación a través de un benchmarking, entre las diferentes industrias afines a PDVSA, para observar qué porcentaje de dichas industrias emplea la misma tecnología que se evalúa, y se evidenció que el diseño del CCM es un modelo Eaton Cutler-Hammer Freedom 2100, modelo que por lo general es empleado a nivel industrial, el cual es muy poco

catalogado por su fabricante dado su antigüedad; posteriormente, se verificó el estado actual del Centro de Control de Motores.

#### **4.3.1.5. Seguridad del activo**

Con respecto a la seguridad del activo, su criterio examina la condición física y la integridad que presenta el activo. Al acudir al área correspondiente de la instalación donde opera el Centro de Control de Motores, con el personal responsable de los departamentos de electricidad y mantenimiento operacional, se constató un marcado nivel de irregularidad en las condiciones ambientales, en consecuencia, se presenció que no cuenta con un sistema de refrigeración. Igualmente, el abandono de acciones de desmalezamiento de las áreas aledañas al CCM, transmite una imagen y genera condiciones de higiene y seguridad desfavorables para la empresa.

Asimismo, físicamente, algunas gavetas del centro de control de motores presentan averías en puertas, botones, luces piloto, identificación, señalización del área, del mismo modo, tampoco poseen los candados de seguridad que se requieren al momento de sacar de servicio un motor para realizar algún trabajo o reparación. Por consiguiente, se concluye que los activos operan bajo condiciones inseguras.

### **4.4. Fase III – Aplicación de la metodología**

Esta fase comprende la revisión y análisis de los datos recolectados para la aplicación de la metodología descrita al Centro de Control de Motores, generada anteriormente en la Fase II. La información que se produce en esta fase consiste en un informe detallado de condición de obsolescencia, el mismo engloba la aplicación de la matriz de obsolescencia.

#### **4.4.1. Consideraciones previas a la aplicación de la metodología**

La metodología de la Matriz de Obsolescencia al Centro de Control de Motores, se aplicará tomando en cuenta algunos aspectos fundamentales como:

- a) No se cuenta con los repuestos necesarios en los stocks de la planta al momento de ser requeridos ante una posible anomalía.
- b) Su desempeño varía de acuerdo a las fallas que ha presentado, en un lapso de tiempo correspondiente a su instalación, en el año de 1999, hasta la actualidad.
- c) Los costos asociados al activo tienen como base las propuestas y sugerencias dictadas por la gerencia de electricidad, ente encargado de realizar los programas de mantenimiento a dicho equipo.
- d) La vigencia tecnológica está basada en un estudio realizado con el personal de electricidad de la planta compresora San Joaquín Booster.
- e) El factor correspondiente a la seguridad del activo se basa en las visitas realizadas al área en conjunto al personal del taller de electricidad, y a la revisión de normas relacionadas al diseño y seguridad de los Centros de Control de Motores a nivel industrial.

#### **4.4.2. Aplicación de la metodología al Centro de Control de Motores asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster**

Se procede entonces con el desarrollo de los cinco (5) factores que conforman la matriz de obsolescencia, junto a su ponderación correspondiente, basada en la revisión y análisis de los datos recolectados:

#### 4.4.2.1 Repuestos

Es un hecho la escasez referente a disponibilidad de repuestos en el almacén, debido a que han sido utilizados aproximadamente en un 80%. Cabe resaltar que, actualmente no hay disponibilidad en el mercado, no obstante, el fabricante (Eaton) ofrece la posibilidad de fabricación de los mismos bajo pedido anticipado sujeto a un tiempo determinado. La tabla 4.1 detalla los ítems y los valores correspondientes al factor Repuestos.

**Tabla 4.1. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Repuestos y sus criterios. Fuente (La Autora, 2025)**

| FACTOR           | CRITERIO  | ITEMS   |                                    | PUNTOS |   |
|------------------|---|---|------------------------------------|--------|---|
| Repuestos        | a) Disponibilidad de repuestos (en almacén y en el mercado) | No existe disponibilidad en el mercado (sin opción de fabricación del repuesto) |                                    | 0      |   |
|                  |   | No existe disponibilidad en el mercado (Con opción de fabricación del repuesto) |                                    | 17     |   |
|                  |   | Disponibilidad en el mercado menor a 5 años                                     |                                    | 0      |   |
|                  |   |   |                                    | 0      |   |
|                  |   | Disponibilidad en el mercado desde 5 y hasta 10 años                            |                                    | 0      |   |
|                  | b) Tiempo de colocación en sitio                            | Estático  | Mayor a 12 meses                   |        | 0 |
|                  |   |   | Mayor a 6 meses y hasta 12 meses   |        | 5 |
|                  |   |   | Mayor a 3 meses y hasta 6 meses    |        |   |
|                  |   |   | Menor a 3 meses                    |        | 0 |
|                  |   |   |                                    |        | 0 |
|                  |   | Dinámico  | Mayor a 6 meses                    |        | 0 |
|                  |   |   | Mayor a 3 meses y hasta 6 meses    |        | 0 |
|                  |   |   | Mayor a una semana y hasta 3 meses |        |   |
|                  |   |   | Menor a una semana                 |        | 0 |
|                  |   | 0   |                                    |        |   |
| Valor del factor |   |   | 22                                 |        |   |

#### 4.4.2.2. Desempeño operacional (D.O)

El criterio que analiza este factor es la frecuencia de fallas que ha presentado el Centro de Control de Motores en un lapso de tiempo particular, desde su inicio de operaciones en el año 1999 hasta la actualidad; al ser un equipo estático, se evalúa la frecuencia de fallas según los ítems de equipos estáticos. Los valores requeridos para observar la frecuencia de falla que presentan los equipos, los ofreció el custodio responsable de tales datos y el personal de las diferentes disciplinas, de igual manera fueron tomados de la data histórica del centro de control de motores.

La tabla 4.2 puntualiza los ítems y los valores correspondientes al factor desempeño operacional, para el centro de control de motores.

**Tabla 4.2. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Desempeño Operacional y sus criterios.**

**Fuente: (La Autora, 2025)**

| FACTOR                  | CRITERIO               | ITEM     | PUNTOS                      |   |
|-------------------------|------------------------|----------|-----------------------------|---|
| Desempeño Ocupacional   | a) Frecuencia de falla | Estático | Una falla en 2 años         | 0 |
|                         |                        |          | Una falla de 3 a 4 años     | 0 |
|                         |                        |          | Una falla de 5 a 7 años     | 7 |
|                         |                        |          | Una falla de 8 a 10 años    | 0 |
|                         |                        |          | Una falla en más de 10 años | 0 |
|                         |                        | Dinámico | Más de dos fallas por año   | 0 |
|                         |                        |          | Hasta dos fallas por año    | 0 |
|                         |                        |          | Hasta una falla por año     | 0 |
|                         |                        |          | Menos de una falla por año  | 0 |
| <b>Valor del Factor</b> |                        |          | <b>7</b>                    |   |

#### 4.4.2.3. Costos asociados al activo

Aborda los datos necesarios, mediante el estudio de la superintendencia de gerencia de electricidad, las cotizaciones de la empresa que engloba la relación entre el costo de mantenimiento preventivo vs. el costo de mantenimiento correctivo, de igual forma el costo de mantenimiento del activo vs el costo del nuevo activo del Centro de Control de Motores.

En la tabla 4.3 se observan los ítems y los valores pertinentes al factor Costos Asociados al Activo.

**Tabla 4.1. Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Repuestos y sus criterios. Fuente (La Autora, 2025)**

| FACTOR                     | CRITERIO         | ITEMS  | PUNTOS |
|----------------------------|------------------|--|--------|
| Costos Asociados al Activo | a)CMP vs. CMC    | Desde 0 hasta 30% el <b>MP</b> ; desde 70 hasta 100% el <b>MC</b>    | 0      |
|                            |                  | Desde 31 hasta 49% el <b>MP</b> ; desde 50 hasta 69% el <b>MC</b>    | 8      |
|                            |                  | Desde 50 hasta 69% el <b>MP</b> ; desde 31 hasta el 49% el <b>MC</b> | 0      |
|                            |                  | Desde 70 hasta 100% el <b>MP</b> ; desde 0 hasta el 30% el <b>MC</b> | 0      |
|                            | b)CMDA vs. CMDNA | Costos de mtto mayor al costo del activo nuevo                       | 8      |
|                            |                  | Costos de mtto igual al costo del activo nuevo                       | 0      |
|                            |                  | Costos de mtto menor al costo del activo nuevo                       | 0      |
| <b>Valor del Factor</b>    |                  |  | 16     |

#### 4.4.2.4. Vigencia Tecnológica

Se evaluó la oferta a nivel tecnológico en el mercado que corresponde al Centro de Control de Motores como elemento fundamental de este criterio. Consecuentemente, el análisis de dichos estudios implica que, el diseño Eaton Cutler-Hammer Freedom 2100 de los equipos, ha sido discontinuado por al menos un 50% de fabricantes y que, a su vez, estos no operan en condiciones

óptimas; debido al desgaste observado en su entorno físico y componentes, causados por el uso continuo y fallas presentes desde el momento que fueron instalados hasta la actualidad. De tal modo, se genera como efecto resultante el incumplimiento de la normativa vigente de PDVSA Gas.

La tabla 4.4 puntualiza los ítems y los valores correspondientes al factor Vigencia Tecnológica.

**Tabla 4.4 Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Vigencia Tecnológica y sus criterios.**

**Fuente (La Autora, 2025)**

| FACTOR               | CRITERIO                                 | ITEMS  | PUNTOS |
|----------------------|--|--|--------|
| Vigencia Tecnológica | a) Uso de la tecnología en la industria  | Uso exclusivo  | 0      |
|                      |  | Hasta el 50% de la industria usa la tecnología                       | 4      |
|                      |  | La tecnología es de uso generalizado                                 | 0      |
|                      | b) Oferta de la tecnología en el mercado | Ningún fabricante lo ofrece  | 0      |
|                      |  | Por lo menos el 50% de fabricantes la ofrece en catálogo actualmente | 4      |
|                      |  | Fabricante la ofrece en catálogo actualmente                         | 0      |
|                      | c) Normas                                | No cumple con normas vigentes de PDVSA                               | 6      |
|                      |  | Cumple con normas vigentes de PDVSA                                  | 0      |
|                      | <b>Valor del Factor</b>                  |  |        |

#### 4.4.2.5. Seguridad del Activo

Durante las visitas de campo realizadas, se pudo percibir que las condiciones de las instalaciones donde opera el Centro de Control de Motores son regulares. De la misma manera, se refleja así que los equipos manifiestan gran desgaste a nivel físico detallado, se concluye entonces que los activos operan bajo condiciones inseguras.

En la tabla 4.5, se señalan los ítems y los valores relativos al factor Seguridad.

**Tabla 4.5 Aplicación de la metodología al factor de obsolescencia por Seguridad e integridad del activo.**

**Fuente (La Autora, 2025)**

| FACTOR           | CRITERIO              | ITEM                                    | PUNTOS |
|------------------|-----------------------|---|--------|
| Seguridad        | Integridad del Activo | El activo opera bajo condición insegura | 13     |
|                  |                       | El activo opera bajo condición segura   | 0      |
| Valor del Factor |                       |   | 13     |

#### **4.4.4. Nivel de Obsolescencia en el Centro de Control de Motores**

Dentro del proceso de determinación del nivel de obsolescencia de los activos, se requiere desarrollar un estudio contentivo de tres (03) fases, validación de la metodología, jerarquización preliminar de equipos en obsolescencia y finalmente la aplicación de la metodología.

Luego de la realización de este estudio, este proceso condujo al levantamiento la matriz de obsolescencia, constituida por tres (03) niveles: **NIVEL BAJO 0 – 33 puntos** (activo no obsoleto), **NIVEL MEDIO 34 – 66 puntos** (activo en vía de obsolescencia), y **NIVEL ALTO 67 – 100 puntos** (activo en obsolescencia).

El Centro de Control de Motores, diseño Eaton Cutler-Hammer Freedom 2100, presenta una puntuación total de **72 puntos**, que lo ubica en:

**NIVEL ALTO 67 – 100 puntos.**

En conclusión, el activo se considera como: **ACTIVO EN OBSOLESCENCIA.**

A continuación, se presenta en la tabla 4.6, la matriz para determinar el nivel de Obsolescencia del Centro de Control de Motores.

#### 4.4.5. Matriz de obsolescencia correspondiente al Centro de Control de Motores

|  | MANTENIMIENTO MAYOR<br>INGENIERIA DE MANTENIMIENTO<br>INGENIERIA DE CONFIABILIDAD<br>PROCESAMIENTO DE GAS<br>PDVSA GAS OCCIDENTE | MATRIZ PARA DETERMINAR EL NIVEL DE OBSOLESCENCIA   |                                    |   |
|---|--|--|------------------------------------|---|
|   |  | PLANTA: PLANTA COMPRESORA SAN JOAQUIN BOOSTER<br>EQUIPO: CCM – Eaton Cutler- Hammer Freedom 2100 |                                    |   |
| FACTOR  | CRITERIO   | ITEM   | Selección en una casilla           |   |
| Repuestos   | a) Disponibilidad de repuestos (en almacén y en el mercado)  | No existe disponibilidad en el mercado (Sin opción de fabricación del repuesto)                  | 0                                  |   |
|   |  | No existe disponibilidad en el mercado (Con opción de fabricación del repuesto)                  | 17                                 |   |
|   |  | Disponibilidad en el mercado menor a 5 años  | 0                                  |   |
|   |  | Disponibilidad en el mercado desde 5 y hasta 10 años   | 0                                  |   |
|   |  | Disponibilidad en el mercado mayor a 10 años   | 0                                  |   |
|   | b) Tiempo de colocación en sitio   | Estático   | Mayor a 12 meses                   | 0 |
|   |  |  | Mayor a 6 meses y hasta 12 meses   | 5 |
|   |  |  | Mayor a 3 meses y hasta 6 meses    | 0 |
|   |  |  | Menor a 3 meses                    | 0 |
|   |  | Dinámico   | Mayor a 6 meses                    | 0 |
|   |  |  | Mayor a 3 meses y hasta 6 meses    | 0 |
|   |  |  | Mayor a una semana y hasta 3 meses | 0 |
| Menor a una semana  |  |  | 0                                  |   |
| Desempeño Operacional   | a) Frecuencia de Falla   | Estático   | Una falla en 2 años                | 0 |
|   |  |  | Una falla de 3 a 4 años            | 0 |
|   |  |  | Una falla de 5 a 7 años            | 7 |
|   |  |  | Una falla de 8 a 10 años           | 0 |
|   |  |  | Una falla en más de 10 años        | 0 |
|   |  | Dinámico   | Más de dos fallas por año          | 0 |
|   |  |  | Hasta dos fallas por año           | 0 |
|   |  |  | Hasta una falla por año            | 0 |
|   |  |  | Menos de una falla por año         | 0 |
| Costos asociados al Activo  | a) CMP vs. CMC   | Desde 0 hasta 30% el MP; desde 70 hasta 100% el MC   | 0                                  |   |
|   |  | Desde 31 hasta 49% el MP; desde 50 hasta 69% el MC   | 8                                  |   |
|   |  | Desde 50 hasta 69% el MP; desde 31 hasta el 49% el MC  | 0                                  |   |
|   |  | Desde 70 hasta 100% el MP; desde 0 hasta el 30% el MC  | 0                                  |   |
|   | b) CMDA vs. CMDNA  | Costos de mtto mayor al costo del activo nuevo   | 8                                  |   |
|   |  | Costos de mtto igual al costo del activo nuevo   | 0                                  |   |
|   |  | Costos de mtto menor al costo del activo nuevo   | 0                                  |   |

|                                     |   |   |              |
|-------------------------------------|---|---|--------------|
|                                     |   |   |              |
| Vigencia Tecnológica                | a) <b>Uso de la tecnología en la industria</b>  | Uso exclusivo   | 0            |
|                                     |   | <b>Hasta el 50% de la industria usa la tecnología</b>                       | <b>4</b>     |
|                                     |   | La tecnología es de uso generalizado  | 0            |
|                                     | b) <b>Oferta de la tecnología en el mercado</b> | Ningún fabricante lo ofrece   | 0            |
|                                     |   | <b>Por lo menos el 50% de fabricantes la ofrece en catálogo actualmente</b> | <b>4</b>     |
|                                     |   | Fabricante la ofrece en catálogo actualmente                                | 0            |
|                                     | c) <b>Normas</b>                                | <b>No cumple con normas vigentes de PDVSA</b>                               | <b>6</b>     |
| Cumple con normas vigentes de PDVSA |   | 0   |              |
|                                     |   |   |              |
| Seguridad                           | Integridad del Activo                           | <b>El activo opera bajo condición insegura</b>                              | <b>13</b>    |
|                                     |   | El activo opera bajo condición segura                                       | 0            |
|                                     |   |   |              |
|                                     |   |   | <b>Total</b> |
|                                     |   |   | <b>72</b>    |

## **CAPÍTULO V**

### **OBTENER LOS NIVELES DE VOLTAJE Y CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO PARA LA CONDICIÓN DE CARGA ACTUAL Y FUTURA DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES A TRAVÉS DE UN SOFTWARE COMPUTACIONAL**

El estudio de flujo de potencia y de cortocircuito se realizó con el propósito de analizar el funcionamiento integral del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores (CCM), y evaluar cómo estaba operando bajo diferentes condiciones. Este análisis permitió determinar los niveles de voltaje y de cortocircuito en las principales barras del sistema, identificando posibles desviaciones con respecto a los valores nominales y normativos. A través de estos estudios, se pudo observar el comportamiento del sistema eléctrico en su conjunto, incluyendo la interacción entre los distintos componentes, y se obtuvieron datos relevantes sobre su desempeño operativo.

Para la realización de estos estudios, se utilizó la herramienta computacional ETAP (Electrical Transient Analyzer Program), reconocida por su capacidad de modelar y analizar sistemas eléctricos complejos. El montaje del modelo del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores, asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster, se realizó tomando como base los datos técnicos proporcionados por la Gerencia de Servicios Eléctricos de PDVSA GAS Anaco.

Estos análisis no solo aportaron información clave sobre el estado operativo del sistema, sino que también permitieron identificar posibles puntos de mejora y garantizar que el funcionamiento del CCM se ajuste a las

normativas nacionales e internacionales aplicables, maximizando la seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema.

### **5.1. Descripción de los escenarios**

Se definieron tres escenarios representativos para simular las posibles condiciones operativas del sistema eléctrico de la Planta Compresora San Joaquín Booster. Estos escenarios fueron diseñados considerando la operación normal del sistema de potencia y sus características principales, con el objetivo de evaluar su comportamiento y desempeño bajo diferentes situaciones que podrían presentarse en el entorno operativo. Estos escenarios son los siguientes:

1. El Turbogenerador de respaldo no se encuentra en funcionamiento.
2. El interruptor de enlace en el PDC abierto, la barra B se encuentra Fuera de servicio.
3. El circuito de alimentación de la línea de interconexión con la Subestación Centro Operativo con la Subestación asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster, está fuera de servicio. Quedando la planta alimentada de forma radial desde la subestación San Joaquín.

Como se mencionó anteriormente, en este sistema solo operan (10) motores al mismo tiempo y los otros siete (7) sirven como respaldo desde la Barra "B", es por ello, que en cada escenario planteado solo estarán en operación los motores de las bombas a la Barra A. Estos escenarios se describen a continuación:

1. Operación normal de Planta Compresora San Joaquín Booster.
2. Falla en cualquier elemento de la Línea en 13,8 kV - San Joaquín-San Joaquín Booster.
3. Corto Circuito en Barra "A" de la Planta San Joaquín Booster.

## 5.2. Estudio de Flujo de Potencia

Este estudio tiene como finalidad determinar el flujo de corriente, los flujos de potencia activa y reactiva de las principales barras del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores, así como verificar si las tensiones de dichas barras se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma ANSI C84.1-2011, a fin de corroborar su funcionamiento frente a los escenarios planteados. Estos límites se pueden observar en la tabla 5.1.

**Tabla 5. 1. Variaciones de Voltajes Permisibles según la Norma ANSI.**

Fuente: ANSI C84.1-2011

| VOLTAJE NOMINAL (V)          |                 | 13800 | 480 |
|------------------------------|-----------------|-------|-----|
| CONDICIÓN NORMAL             | Límite Superior | 14490 | 504 |
|                              | Límite Inferior | 13459 | 468 |
| CONDICIONES DE CONTINGENCIAS | Límite Superior | 14518 | 505 |
|                              | Límite Inferior | 13110 | 456 |

### 5.2.1. Escenario #1 Condición Normal

Los resultados del estudio de Flujo de Potencia en Barras, se puede observar en la tabla 5.2.

**Tabla 5. 2. Flujo de Potencia en Barras.**

**Autor: La Autora (2025)**

| BARRAS                    | Nominal kV | % Voltaje | kW     | KVAR  | AMP   |
|---------------------------|------------|-----------|--------|-------|-------|
| BARRA 1 PLANTA BOOSTER    | 13,8       | 98,65     | 121    | 72,6  | 5,985 |
| BARRA 2 PLANTA BOOSTER    | 13,8       | 100,14    | 0      | 0     | 0     |
| BARRA A (CCM 1)           | 0,48       | 99,53     | 120,1  | 69,63 | 167,8 |
| BARRA CENTRO OPERATIVO    | 13,8       | 100       | 0,0169 | 31,27 | 1,308 |
| BARRA SAN JOAQUIN 13,8 KV | 13,8       | 100       | 122,3  | 43,37 | 5,429 |

Los resultados del estudio de Flujo de Potencia en Motores Barra A, se pueden observar en la tabla 5.3.

**Tabla 5.3 Flujo de Potencia en Motores Barra A.**

**Fuente: La Autora (2025)**

| ID         | HP    | KV   | KW    | KVAR  | AMP   | % PF  | V %   |
|------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ATS-1 - T6 | 15 HP | 0,48 | 8,73  | 6,65  | 13,26 | 79,52 | 99,53 |
| ATS-1 - T7 | 15 HP | 0,48 | 8,73  | 6,65  | 13,26 | 79,52 | 99,53 |
| ATS-1 - T8 | 15 HP | 0,48 | 8,73  | 6,65  | 13,26 | 79,52 | 99,53 |
| ATS-1 - T9 | 15 HP | 0,48 | 8,73  | 6,65  | 13,26 | 79,52 | 99,53 |
| ATS-1 T10  | 40 HP | 0,48 | 24,8  | 12,11 | 33,35 | 89,85 | 99,53 |
| ATS-1 T11  | 5 HP  | 0,48 | 3,38  | 2,1   | 4,811 | 84,89 | 99,53 |
| ATS-1 T12  | 5 HP  | 0,48 | 3,38  | 2,1   | 4,811 | 84,89 | 99,53 |
| ATS-1 T13  | 5 HP  | 0,48 | 3,38  | 2,1   | 4,811 | 84,89 | 99,53 |
| ATS-1 T14  | 60 HP | 0,48 | 41,79 | 19,26 | 55,61 | 90,82 | 99,53 |

Los resultados del estudio de Flujo de Potencia en Conductores asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster, se observan en la tabla 5.4.

**Tabla 5. 4. Resultados del estudio de Flujo de Potencia en Conductores.**

**Fuente: La Autora (2025)**

| NIVEL DE TENSIÓN | CONDUCTOR ASOCIADO           | CAÍDA DE VOLTAJE EN LOS CONDUCTORES<br>% | CARGABILIDAD EN LOS CONDUCTORES<br>% |
|------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|
| 13800 Volt       | Conductor # 4/0 AWG          | 0,012                                    | 40                                   |
| 13800 Volt       | Conductor # 4/0 AWG          | 0  | 56                                   |
| 440 Volt         | 2 Conductores # 350<br>KCMIL | 0,066                                    | 56                                   |
| 480 Volt         | Conductor # 8 AWG            | 5,14                                     | 70                                   |
| 480 Volt         | Conductor # 8 AWG            | 5,75                                     | 70                                   |
| 480 Volt         | Conductor # 6 AWG            | 7,32                                     | 70                                   |
| 480 Volt         | Conductor # 8 AWG            | 2,58                                     | 70                                   |
| 480 Volt         | Conductor # 8 AWG            | 2,58                                     | 70                                   |
| 460 Volt         | Conductor # 6 AWG            | 0,291                                    | 84                                   |
| 460 Volt         | Conductor # 6 AWG            | 0,291                                    | 84                                   |
| 460 Volt         | Conductor # 6 AWG            | 0,291                                    | 84                                   |
| 480 Volt         | Conductor # 6 AWG            | 0,291                                    | 84                                   |
| 460 Volt         | Conductor # 12 AWG           | 1,14                                     | 50                                   |
| 460 Volt         | Conductor # 12 AWG           | 0,037                                    | 50                                   |

### **5.2.2. Escenario #2 Condiciones de Contingencia**

En todos los escenarios de contingencia analizados, que representan las diversas condiciones operacionales que podrían surgir en el sistema eléctrico de la Planta Compresora San Joaquín Booster, se observó un mismo resultado: la pérdida total de la operación de la planta compresora. Este comportamiento se debe al esquema de configuración radial que caracteriza actualmente al sistema de potencia de la planta. En este tipo de esquema radial, la alimentación de energía eléctrica depende exclusivamente de una única línea o barra que conecta los elementos del sistema. Esto implica que cualquier falla en la línea San Joaquín de 13,8 kV, o en las barras principales de la planta, resulta en una interrupción completa del suministro eléctrico. Como consecuencia, la planta compresora no puede mantener sus operaciones, lo que representa un riesgo crítico para la continuidad del servicio.

La vulnerabilidad identificada resalta la necesidad de implementar mejoras en la configuración del sistema eléctrico, como la incorporación de esquemas más resilientes o redundantes, para mitigar el impacto de las fallas y garantizar la operatividad de la planta en condiciones de contingencia.

### **5.3. Análisis de los Resultados**

Mediante los cálculos realizados a partir de la simulación en ETAP, se analizaron los perfiles de voltaje de la barra asociada al Centro de Control de Motores (CCM) de la Planta Compresora San Joaquín Booster. Los resultados indican que dichos perfiles cumplen con los estándares establecidos en la norma ANSI C.84.1-2011, que establece un margen de  $\pm 5\%$  de voltaje nominal en condiciones normales de operación. En situaciones de contingencia, se considera un rango permisible más amplio, con un margen de  $\pm 10\%$  de la tensión nominal, para evaluar la capacidad del sistema de mantenerse operativo bajo condiciones irregulares.

En cuanto a las variaciones de tensión, se verificó que estas se mantienen dentro de los límites definidos por la guía de diseño PDVSA 90619.1.082, referente al "Calibre de los conductores para potencia e iluminación". Según esta guía, la caída de voltaje aceptable debe ser inferior al 5%. De manera más específica:

- Se establece un límite de caída de tensión del 3% entre la fuente de potencia y el punto de uso.
- En casos donde la caída de tensión del alimentador es mínima o donde el circuito ramal del motor se alimenta directamente desde la subestación, se permite una caída de tensión de hasta un 5%.

En los escenarios de contingencia analizados, se evaluaron las líneas de alimentación directa capaces de suplir la demanda eléctrica requerida por la Planta Compresora San Joaquín Booster. Esto incluyó la revisión de las condiciones de los circuitos disponibles para posibles interconexiones con alimentadores provenientes de otras subestaciones. Estas interconexiones representan una solución potencial para mejorar la confiabilidad del sistema y

mitigar los riesgos asociados a caídas de tensión o interrupciones en la operación. En resumen, los análisis realizados no solo verificaron el cumplimiento de las normativas aplicables, sino que también identificaron opciones para optimizar la robustez del sistema eléctrico en condiciones normales y de contingencia.

#### **5.4. Estudio de Cortocircuito**

En un sistema eléctrico de potencia, es común la ocurrencia de fallas, ya sean simétricas o asimétricas. Por esta razón, resulta esencial llevar a cabo un estudio de cortocircuito que permita identificar los niveles de corriente que se generan durante estas fallas. Este análisis es clave para ajustar la capacidad disruptiva de los equipos eléctricos existentes o para seleccionar nuevos dispositivos de protección adecuados. De este modo, se garantiza que el sistema pueda soportar y gestionar las corrientes que se presentan durante un cortocircuito.

Además de provocar un funcionamiento anómalo del sistema, los cortocircuitos pueden causar daños significativos en los equipos eléctricos. Por esta razón, se analizarán las redes de 1/2 ciclo, ya que representan el escenario más crítico debido a que generan los niveles más altos de corriente, aumentando el riesgo de daño en las instalaciones eléctricas.

##### **5.4.1. Escenario #01 Condición normal**

A continuación, se mostrarán los resultados en la tabla 5.5 obtenidos en el escenario planteado anteriormente.

**Tabla 5. 5. Resultados del estudio de cortocircuito del Escenario**  
**Fuente: La Autora (2025)**

| FROM BUS         | TO BUS          | % V    | KA    |
|------------------|-----------------|--------|-------|
| BUS1             | BARRA A (CCM 1) | 10,06  | 4,366 |
| BARRA SACA       | BARRA A (CCM 1) | 3,17   | 0,043 |
| ATS-1 T11        | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,020 |
| ATS-1 - T9       | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,061 |
| ATS-1 - T8       | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,061 |
| ATS-1 - T7       | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,061 |
| ATS-1 - T6       | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,061 |
| ATS-1 T10        | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,156 |
| ATS-1 T14        | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,364 |
| ATS-1 T12        | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,020 |
| ATS-1 T13        | BARRA A (CCM 1) | 100,00 | 0,020 |
| 3-Phase Fault Ka |                 |        | 5,232 |

#### 5.4.2. Análisis de los Resultados

Se puede observar que en los escenarios planteados en el estudio de cortocircuito (5,23 kA), los niveles resultantes no exceden el nivel de cortocircuito nominal de las barras del eléctrico asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster (25 kA).

Los reportes del estudio de cortocircuito arrojados por ETAP, para cada uno de los escenarios planteados, se pueden observar en los anexos.

El Sistema Eléctrico asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster debido a no contar con una segunda fuente de alimentación, (quedando operando de forma radial), sumado a las diferentes condiciones en mal estado de sus elementos, está continuamente sujeto a fallas, y por ende a la paralización en uno de sus procesos, que son de gran relevancia para la empresa. Se observa lo siguiente:

- Baja Confiabilidad en el Sistema Eléctrico asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster, debido a no contar con una segunda fuente de alimentación, (quedando operando de forma radial).
- El transformador de Potencia Instalado de 500 kVA, 13,8 kV / 480 V tiene una configuración vectorial Delta/Delta.
- La Planta cuenta con un turbogenerador de 320 kW que está fuera de servicio.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE ALTERNATIVAS QUE MEJOREN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES**

Basándose en las normativas de ingeniería que rigen las operaciones de la empresa PDVSA y en los análisis realizados, incluyendo estudios de flujo de carga y cortocircuito, se plantean propuestas de mejora para optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores. Entre estas mejoras, se destaca la sustitución de la actual configuración radial por una configuración secundaria selectiva, que ofrecerá mayor flexibilidad y confiabilidad al sistema.

#### **6.1. Configuración del secundario selectivo**

Durante las inspecciones realizadas al Centro de Control de Motores (CCM) de la Planta Compresora San Joaquín Booster, se observó que el sistema opera actualmente bajo una configuración radial. Dado que este diseño limita la flexibilidad y la confiabilidad del sistema, se recomienda implementar una configuración secundaria selectiva, ampliamente utilizada en sistemas industriales.

Según la norma PDVSA N-201, la configuración secundaria selectiva se caracteriza por estar compuesta por dos barras principales, cada una alimentada por interruptores de entrada en posición normalmente cerrada. Estas barras están interconectadas mediante un interruptor de enlace que se encuentra normalmente abierto. Este diseño permite una mayor redundancia

y flexibilidad, mejorando la capacidad del sistema para responder ante posibles fallas.

Según los estudios realizados en el capítulo V se puede apreciar que el transformador Tx-1 cumple con la norma ANSI C84.1-2011, con un porcentaje encima del 95% de la caída de tensión en operación y con la norma PDVSA-252 que durante el arranque de los motores el perfil de voltaje no debe caer  $\pm 20\%$ , por este motivo, para cumplir con la configuración secundario selectivo se propone utilizar un transformador con las mismas especificaciones técnicas del transformador Tx-1, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 3.1.

## **6.2. Energizar Barra "B" de la Planta Compresora San Joaquín Booster**

Energizar la Barra "B" del sistema eléctrico de la Planta Compresora San Joaquín Booster, permitirá disponer de los motores de respaldo de la Barra "A", asegurando la continuidad operativa en caso de contingencias o fallas en la Barra "A". Esta medida busca incrementar la redundancia operativa, activando una línea de respaldo que permita que los motores conectados a la Barra "B" suplanten las funciones críticas cuando sea necesario. Además, optimiza el sistema eléctrico al redistribuir las cargas entre ambas barras, reduciendo el riesgo de sobrecarga en la Barra "A" y mejorando la estabilidad general del sistema. Energizar la Barra "B" también aumentará la confiabilidad del sistema eléctrico, garantizando que los procesos esenciales de la planta compresora no se vean interrumpidos por fallas imprevistas. En la tabla 6.1 se especifican las cargas futuras a la Barra II del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

**Tabla 6.1. Descripción de las cargas futura asociadas a la Barra II del CCM de la Planta Compresora San Joaquín Booster.**

**Fuente: La Autora (2025)**

| UBICACIÓN | DESCRIPCIÓN                     | CONDUCTOR |
|-----------|---------------------------------|-----------|
| ATS-2 T6  | Motor Enfriador de gas, 15 HP,  | THW #4    |
| ATS-2 T7  | Motor Enfriador de gas, 15 HP,  | THW #4    |
| ATS-2 T8  | Motor Enfriador de gas, 15 HP,  | THW #4    |
| ATS-2 T9  | Motor Enfriador de gas, 15 HP,  | THW #4    |
| ATS-2 T10 | Motor de Enfriador de Aceite 40 | THW #2    |
| ATS-2 T19 | Motor Extractor de gases de 5   | THW #6    |
| ATS-2 T6  | Motor Extractor de gases de 5   | THW #6    |
| ATS-2 T9  | Motor Extractor de gases de 5   | THW #6    |

### 6.3. Esquema Propuesto

El esquema propuesto, mostrado el anexo D y conforme a los estándares de calidad de la tabla 6.2, opera dentro de los márgenes permitidos, garantizando el funcionamiento adecuado de ambas barras y la eficiencia del sistema eléctrico de la Planta Compresora San Joaquín Booster.

**Tabla 6.2. Resultados del estudio de Flujo de Potencia en Barra A y B y el CB-120 abierto.**

| BUS ID                    | NOMINAL KV | % V   | KW    | KVAR  | AMP   |
|---------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| BARRA CENTRO OPERATIVO    | 13,8       | 100   | 70,58 | 15,63 | 3,025 |
| BARRA SAN JOAQUIN 13,8 KV | 13,8       | 100   | 122,3 | 43,37 | 5,429 |
| BARRA 1 PLANTA BOOSTER    | 13,8       | 98,65 | 121   | 72,6  | 5,985 |
| BARRA 2 PLANTA BOOSTER    | 13,8       | 99,24 | 70,17 | 46,13 | 3,54  |
| BARRA A (CCM 1)           | 0,48       | 99,53 | 120,1 | 69,63 | 167,8 |
| BARRA B (CCM 2)           | 0,48       | 98,2  | 69,83 | 45,04 | 101,8 |

### 6.4. Descripción general de la propuesta para el nuevo Centro de Control de Motores.

El Centro de Control de Motores (CCM) será de un solo frente,

conforme a lo estipulado en las normas PDVSA N-266 y PDVSA N-267. De acuerdo con estas normativas, el CCM asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster tendrá un diseño de revestimiento metálico (metal-clad), lo cual también está especificado en la norma IEEE C37.20.2. Tal como se mencionó anteriormente, el CCM contará con una configuración secundaria selectiva, compuesta por dos barras interconectadas mediante interruptores principales y de enlace.

El nuevo CCM debe contar con las siguientes características fundamentales:

- Voltaje Nominal: 0,48 kV (CCM baja tensión)
- Corriente Nominal: 1000 A.
- Corriente de Cortocircuito: El nivel de cortocircuito en  $\frac{1}{2}$  ciclo es de 31,5 kA simétricos.
- Frecuencia Nominal: 60 Hz.
- Acometida Subterránea.
- Resistentes al Arco Interno.

#### **6.4.1. Ubicación del CCM**

El CCM se instalará en la ubicación actual, ya que el espacio disponible es adecuado para su instalación sin problemas. Por lo tanto, el CCM deberá ser capaz de operar bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura máxima: 40°C
- Temperatura promedio: 32°C
- Temperatura mínima: 32°C
- Elevación sobre el nivel del mar: 12 m
- Atmósfera: Alto contenido de polvo

#### **6.4.2. Grado de Protección**

Dado que el Centro de Control de Motores estará ubicado al aire libre y expuesto a condiciones de polvo y agua, debe contar con una envolvente que ofrezca un grado de protección IP64 o NEMA 3.

#### **6.4.3. Arrancadores de los Motores**

La norma PDVSA 201 establece que el arrancador de media tensión debe ser del tipo extraíble o enchufable. El elemento de desconexión será un contactor coordinado con un fusible limitador de corriente, con el objetivo de proteger tanto al contactor como al arrancador en su conjunto.

#### **6.4.4. Método de Arranque de los Motores**

Se propone utilizar el arranque directo para los motores, ya que, con la nueva configuración en secundario selectivo, la peor condición sería arrancar los motores con un solo transformador. Este escenario fue validado en el estudio, comprobando que los valores de voltaje durante el arranque se mantienen dentro de los límites permitidos por las normas ANSI C84.1-2001 y PDVSA N-252, las cuales establecen que las variaciones de voltaje durante el arranque de los motores deben estar entre -20% y +20% respecto al voltaje nominal. El arranque directo elimina la necesidad de usar los componentes del arrancador por autotransformador, lo que simplifica el proceso de arranque sin comprometer el rendimiento del sistema.

#### **6.4.5. Disposición de las Celdas**

Se propone que el CCM esté constituido por un total de nueve (15) celdas por barra, las cuales estarán equipadas con luces pilotos instaladas en las puertas del CCM junto con el interruptor on-off.

- Estas celdas se describen a continuación: Dos (2) celdas para la llegada en 13,8 kV de los circuitos provenientes de las subestaciones eléctricas San Joaquín y Centro Operativo. En estas celdas también se encontrarán los equipos de medición, de acuerdo a la norma PDVSA 90619.1.053 “Subestaciones unitarias” en su sección 4.1 estarán compuestas (un juego para cada entrada) de un voltímetro, dos transformadores de potencial con tres fusibles primarios y dos secundarios, un amperímetro y tres transformadores de corriente.
- Cinco (9) celdas para los arrancadores de los motores de las bombas. Las mismas estarán constituidas por circuitos de protección de fuerza y control.
- Una (1) celda para la reserva.
- Una (1) celda de enlace donde estará ubicado el interruptor de transferencia automática asociada a la configuración secundaria selectivo.

#### **6.4.6. Protección para cada motor**

La norma PDVSA N° 207, titulada: “Tableros de potencia, centro de control de motores (CCM) y ductos de barra” en la sección siete (7) establece “La protección de motores será realizada de acuerdo a la norma IEEE C37.96”. La norma IEEE C37.96 recomienda las protecciones mostradas en la tabla 6.8 Para motores de 2300 V hasta los 6900 V que utilizan fusiles.

**Tabla 6.3. Protección de los motores. (IEEE C37.96)**

| Voltaje nominal (V)                           |   | 2300-6900 |                     |
|---|---|-----------|---------------------|
| Potencia (HP)                                 |   | 0-800     |                     |
| Capacidad de interrupción<br>(MVA simétricos) |   | 160-570   |                     |
| Dispositivos de protección                    |   | Cantidad  | NEMA<br>designación |
| Sobrecarga, rotor bloqueado o<br>ambos        | Relé térmico                              | 3         | OL                  |
|   | Relé TOC                                  | 3         | OC                  |
|   | Relé IOC con tiempo de retraso            | 3         | TR/OC               |
| Cortocircuito                                 | Fusibles                                  | 3         | FU                  |
| Falla a tierra                                | Relé residual TOC                         | 1         | GP                  |
|   | Relé de sobrecorriente con TC<br>toroidal | 1         | GP                  |
| Desbalance de fase                            | Relé de desbalance de corriente           | 1         | BC                  |
|   | Relé de voltaje de secuencia<br>negativa  | 1         | BC                  |

## CONCLUSIONES

- La evaluación del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores de la Planta Compresora San Joaquín Booster se realiza para garantizar que el sistema opere de manera confiable y eficiente, minimizando posibles fallos que puedan interrumpir su funcionamiento.
- La matriz de obsolescencia determinó que el Centro de Control de Motores, diseño Eaton Cutler-Hammer Freedom 2100, alcanza una puntuación de 72 puntos, ubicándolo en el nivel alto de obsolescencia. La matriz de obsolescencia utilizada permitió una evaluación estructurada y objetiva del estado del equipo.
- En los análisis de resultados de los estudios de: flujo de potencia y cortocircuito, se pudo observar que en el sistema eléctrico del Centro de Control de Motores no presenta anomalía, sin embargo, por esta razón, la propuesta se basó en el reemplazó del sistema en configuración radial por uno en configuración secundario selectivo para tener más seguridad de operación del sistema.
- Se realizó una propuesta para el nuevo Centro de Control de Motores, donde se mencionaron las características que debe comprender el mismo, además de los elementos y equipos que lo conforman. Entre estos elementos y equipos se encuentran: Celdas metal-clad, arrancadores de los motores, luces pilotos o indicadores y relés numéricos para la protección de los motores. Así como también se estableció la ubicación del CCM, la protección IP, el método de arranque de los motores y la disposición física de las celdas.

- Este trabajo es de gran importancia, dado que, impacta de manera positiva en el sistema eléctrico del CCM asociado a la Planta Compresora San Joaquín Booster; garantizando la operatividad del mismo ante cualquier falla o contingencia.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar las propuestas de mejoras planteadas en este proyecto para optimizar las condiciones de operación del sistema eléctrico del CCM y de esta manera garantizar un servicio más confiable y eficiente.
- Evaluar las condiciones del sistema de puesta a tierra, con el fin de corroborar el funcionamiento del mismo y si se encuentra acorde a las características exigidas por las normas, y de esta manera evitar futuras fallas por cortocircuito.
- De igual forma se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo en las celdas y en los equipos comprendidos en el CCM, con el fin de disminuir la probabilidad de falla en el sistema y de mantener la confiabilidad de los equipos.
- Se recomienda desarrollar una base de datos en la cual se aprecien: especificaciones técnicas de los CCM, la rata de fallas actualizadas de cada equipo, rutinas y planes de mantenimiento, así como un inventario actualizado de los repuestos asociados a las gavetas de los CCM; ya que, al momento de realizar algún tipo de estudio o trabajo, es muy escasa la información.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carvajal, R. (2012). Evaluación del sistema eléctrico de la estación de Rebombao II (KM-52) de la gerencia de coordinación Operacional Faja de PDVSA. Tesis de grado. Universidad de Oriente, Anzoátegui. Venezuela.
- COVENIN 2942, (1998). *Centro de Control de Motores 600 V C.A.*
- Chaure. Estado Anzoátegui. Tesis de grado. Universidad de Oriente, Anzoátegui. Venezuela.
- Fideas G, Arias. (2012). *El Proyecto de Investigación, introducción a la metodología científica. (6<sup>ta</sup> edición)*. Caracas: Episteme.
- González, J. (2019). Evaluación de los centros de control de motores en 4,16 kV de la unidad de destilación al vacío del proyecto conversión profunda en la refinería de Puerto La Cruz. Tesis de grado. Universidad de Oriente, Anzoátegui. Venezuela.
- Guerra, G. (2018). Propuesta de reemplazo del centro de control de motores en 2,4 kV para las bombas de carga de la refinería El

- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. (3<sup>era</sup> edición). Caracas: SYPAL.
- IEEE-493. (2007). *Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems*.
- International Electrotechnical Commission. (2019). "Obsolescence management." Geneva, Switzerland. (IEC 62402 Ed. 2.0).
- López, L. (1998). *Protección de Sistemas de Potencia. Gerencia de Relaciones Industriales. Departamento de Relaciones Industriales*. EDELCA C.A., Caracas.
- López, O. (2014). Evaluación del sistema eléctrico de la planta Refrigeración San Joaquín PDVSA. Tesis de grado. Universidad de Oriente, Anzoátegui. Venezuela.
- Molina, J. (2014). *Electrónica/Componentes/Relés/Relés*, San Juan Argentina. Recuperado de: <http://www.profesormolina.com.ar>.
- Pérez, M. (2015). Evaluación de los centros de potencia y control de motores de Supermetanol C.A. Tesis de grado. Universidad de Oriente, Anzoátegui. Venezuela.

- Rodríguez, M. (1992). *Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia*. (2<sup>da</sup> edición). Venezuela: EDILUZ.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

MATRIZ DE OBSOLESCENCIA VÍA EXCELL

|  |   | MANTENIMIENTO MAYOR<br>INGENIERIA DE MANTENIMIENTO<br>INGENIERIA DE CONFIABILIDAD<br>PROCESAMIENTO DE GAS<br>PDVSA GAS OCCIDENTE |                                  | <b>MATRIZ PARA DETERMINAR EL NIVEL DE OBSOLESCENCIA</b> |   |  |
|---|---|--|----------------------------------|---|---|--|
|   |   | PLANTA: PLANTA COMPRESORA SAN JOAQUÍN BOOSTER  |                                  | FECHA: / /  |   |  |
|   |   | EQUIPO: CCM - Eaton Cutler-Hammer Freedom 2100   |                                  |   |   |  |
| Factor  | Criterio  | Item   |                                  | Seleccione una Celda                                    |   |  |
| Repuestos   | a) Disponibilidad de repuestos (en almacén y en el mercado) | No existe Disponibilidad en el mercado (Sin opción de fabricación del repuesto)  |                                  | 0   |   |  |
|   |   | No existe Disponibilidad en el mercado (Con opción de fabricación del repuesto)  |                                  | 1   |   |  |
|   |   | Disponibilidad en el mercado menor a 5 años  |                                  | 0   |   |  |
|   |   | Disponibilidad en el mercado desde 5 y hasta 10 años   |                                  | 0   |   |  |
|   |   | Disponibilidad en el mercado mayor a 10 años   |                                  | 0   |   |  |
|   | b) Tiempo de colocación en sitio                            | Estático   | Mayor a 12 meses                 |   | 0 |  |
|   |   |  | Mayor a 6 meses y hasta 12 meses |   | 1 |  |
|   |   | Dinámico   | Mayor a 3 meses y hasta 6 meses  |   | 0 |  |
|   |   |  | Menor a 3 meses                  |   | 0 |  |
|   |   |  | Mayor a 6 meses                  |   | 0 |  |
| Mayor a 3 meses y hasta 6 meses   |   | 0  |                                  |   |   |  |
| Mayor a una semana y hasta 3 meses  |   | 0  |                                  |   |   |  |
| Menor a una semana  |   | 0  |                                  |   |   |  |
| Desempeño Operacional   | a) Frecuencia de falla                                      | Estático   | Una falla en 2 años              | 0   |   |  |
|   |   |  | Una falla de 3 a 4 años          | 0   |   |  |
|   |   |  | Una falla de 5 a 7 años          | 1   |   |  |
|   |   | Dinámico   | Una Falla de 8 a 10 años         | 0   |   |  |
|   |   |  | Una falla en más de 10 años      | 0   |   |  |
|   |   |  | Más de dos fallas por año        | 0   |   |  |
| Hasta dos fallas por año  |   | 0  |                                  |   |   |  |
| Hasta una falla por año   |   | 0  |                                  |   |   |  |
| Menos de una falla por año  |   | 0  |                                  |   |   |  |
| Costos Asociados al Activo  | a) CMP vs. CMC  | Desde 0 hasta 30% el MP; desde 70 hasta 100% el MC   |                                  | 0   |   |  |
|   |   | Desde 31 hasta 49% el MP; desde 50 hasta 69% el MC   |                                  | 1   |   |  |
|   | b) CMDA vs. CMDNA   | Desde 50 hasta 69% el MP; desde 31 hasta 49% el MC   |                                  | 0   |   |  |
|   |   | Desde 70 hasta 100% el MP; desde 0 hasta 30% el MC   |                                  | 0   |   |  |
| Costos de mtto mayor al costo del activo nuevo                                    |   |  |                                  | 1   |   |  |
| Costos de mtto igual al costo del activo nuevo                                    |   |  |                                  | 0   |   |  |
| Costos de mtto menor al costo del activo nuevo                                    |   |  |                                  | 0   |   |  |
| Vigencia Tecnológica  | a) Uso de la tecnología en la industria                     | Uso exclusivo  |                                  | 0   |   |  |
|   |   | Hasta el 50 % de la industria usa la tecnología  |                                  | 1   |   |  |
|   |   | La tecnología es de uso generalizado   |                                  | 0   |   |  |
|   | b) Oferta de la tecnología en el mercado                    | Ningun Fabricante lo Ofrece  |                                  | 0   |   |  |
|   |   | Por lo menos el 50 % de fabricante la ofrece en catalogo actualmente   |                                  | 1   |   |  |
|   | c) Normas   | Fabricante la ofrece en catalogo actualmente   |                                  | 0   |   |  |
| No cumple con normas vigentes de PDVSA  |   | 1  |                                  |   |   |  |
| Cumple con normas vigentes de PDVSA   |   |  |                                  | 0   |   |  |
| Seguridad   | Integridad del Activo                                       | El activo opera bajo condición insegura  |                                  | 1   |   |  |
|   |   | El activo opera bajo condición segura  |                                  | 0   |   |  |
|   |   |  |                                  | <b>Total:</b>   |   |  |
|   |   |  |                                  | 72  |   |  |
|   |   |  |                                  | Nivel alto<br>Activo en Obsolescencia                   |   |  |
|   |   |  |                                  | <a href="#">Volver</a>                                  |   |  |

## **ANEXO B**

REPORTE DEL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

## B.1 Escenario #1 Condición Normal

### LOAD FLOW REPORT @ T = 10.000-

| Bus                            |        | Voltage |      | Generation |       | Load  |       | Load Flow                                   |        |        |       |      | XFMR   |
|--------------------------------|--------|---------|------|------------|-------|-------|-------|---|--------|--------|-------|------|--------|
| ID                             | kV     | % Mag.  | Ang. | MW         | Mvar  | MW    | Mvar  | ID  | MW     | Mvar   | Amp   | %PF  | % Tap  |
| BARRA 1 PLANTA BOOSTER         | 13.800 | 0.000   | 0.0  | 0          | 0     | 0     | 0     | BARRA SAN JOAQUIN 13,8 KV Bus1              | 0.000  | 0.000  | 0.0   | 0.0  |        |
|                                |        |         |      |            |       |       |       |   | 0.000  | 0.000  | 0.0   | 0.0  | -2.500 |
| BARRA 2 PLANTA BOOSTER         | 13.800 | 97.585  | -0.7 | 0          | 0     | 0     | 0     | BARRA CENTRO OPERATIVO Bus2                 | -0.192 | -0.123 | 9.8   | 84.3 |        |
|                                |        |         |      |            |       |       |       |   | 0.192  | 0.123  | 9.8   | 84.3 |        |
| BARRA A (CCM 1)                | 0.480  | 94.763  | -2.1 | 0          | 0     | 0.112 | 0.064 | BARRA SACA                                  | 0.008  | 0.005  | 12.5  | 84.6 |        |
|                                |        |         |      |            |       |       |       | BARRA B (CCM 2)                             | -0.120 | -0.070 | 176.0 | 86.5 |        |
| BARRA B (CCM 2)                | 0.480  | 94.763  | -2.1 | 0          | 0     | 0.070 | 0.045 | Bus2  | -0.190 | -0.115 | 281.4 | 85.6 |        |
|                                |        |         |      |            |       |       |       | BARRA A (CCM 1)                             | 0.120  | 0.070  | 176.0 | 86.5 |        |
| BARRA CENTRO OPERATIVO         | 13.800 | 99.911  | -0.1 | 0          | 0     | 0     | 0     | BARRA 2 PLANTA BOOSTER S/E CENTRO OPERATIVO | 0.196  | 0.097  | 9.2   | 89.6 |        |
|                                |        |         |      |            |       |       |       |   | -0.196 | -0.097 | 9.2   | 89.6 |        |
| BARRA SACA                     | 0.208  | 94.098  | -2.5 | 0          | 0     | 0.008 | 0.005 | BARRA A (CCM 1)                             | -0.008 | -0.005 | 28.8  | 85.0 |        |
| BARRA SAN JOAQUIN 13,8 KV Bus1 | 13.800 | 0.000   | 0.0  | 0          | 0     | 0     | 0     | BARRA 1 PLANTA BOOSTER                      | 0.000  | 0.000  | 0.0   | 0.0  |        |
|                                | 0.480  | 0.000   | 0.0  | 0          | 0     | 0     | 0     | BARRA 1 PLANTA BOOSTER                      | 0.000  | 0.000  | 0.0   | 0.0  |        |
| Bus2                           | 0.480  | 95.339  | -1.9 | 0          | 0     | 0     | 0     | BARRA B (CCM 2)                             | 0.191  | 0.116  | 281.4 | 85.4 |        |
|                                |        |         |      |            |       |       |       | BARRA 2 PLANTA BOOSTER                      | -0.191 | -0.116 | 281.4 | 85.4 |        |
| S/E CENTRO OPERATIVO           | 13.800 | 100.020 | 0.0  | 0.196      | 0.097 | 0     | 0     | BARRA CENTRO OPERATIVO                      | 0.196  | 0.097  | 9.2   | 89.6 |        |

## **ANEXO C**

### REPORTE DEL ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

## C1. Escenario #1 Condición Normal

### SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **BARRA (CCM 1)**

Prefault voltage = 0.480 kV

= 100.00 % of nominal bus kV ( 0.480 kV)

= 100.00 % of base kV ( 0.480 kV)

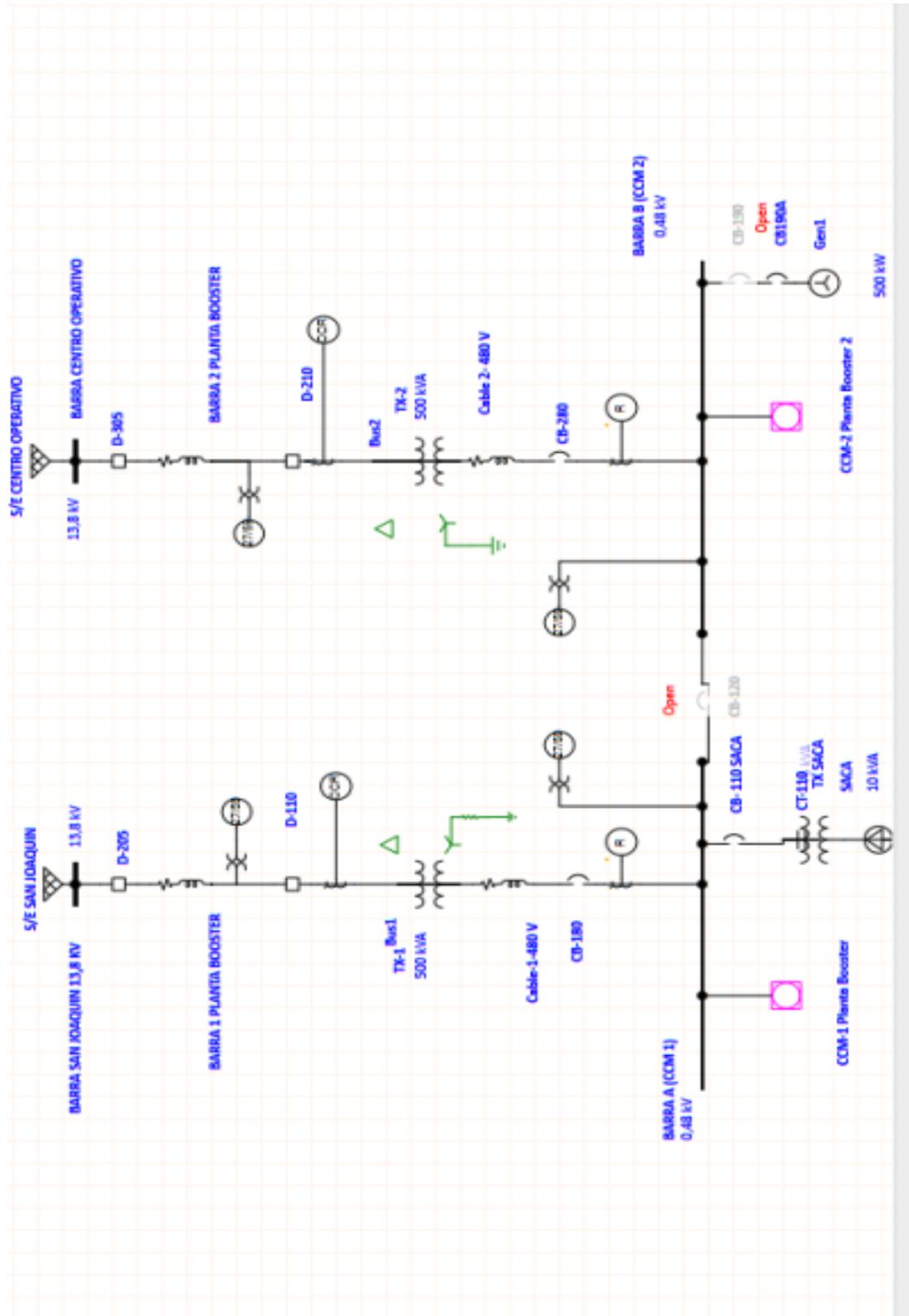
| Contribution  |                 | 3-Phase Fault |              | Line-To-Ground Fault  |        |        |              | Positive & Zero Sequence Impedances<br>Looking into "From Bus" |                             |          |          |          |
|---------------|-----------------|---------------|--------------|-----------------------|--------|--------|--------------|--|-----------------------------|----------|----------|----------|
| From Bus ID   | To Bus ID       | % V From Bus  | kA Symm. rms | % Voltage at From Bus |        |        | kA Symm. rms |  | % Impedance on 100 MVA base |          |          |          |
|               |                 |               |              | Va                    | Vb     | Vc     | Ia           | 3I0  | R1                          | X1       | R0       | X0       |
| BARRA (CCM 1) | Total           | 0.00          | 5.201        | 0.00                  | 167.04 | 173.85 | 0.389        | 0.389  | 8.89E+02                    | 2.13E+03 | 9.07E+04 | 1.68E+03 |
| Bus1          | BARRA A (CCM 1) | 10.06         | 4.366        | 1.20                  | 166.70 | 173.94 | 0.347        | 0.389  | 1.17E+03                    | 2.50E+03 | 9.07E+04 | 1.68E+03 |
| BARRA SACA    | BARRA A (CCM 1) | 3.17          | 0.043        | 96.54                 | 100.00 | 100.34 | 0.002        | 0.000  | 1.07E+05                    | 2.59E+05 |          |          |
| ATS-1 T11     | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.020        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.001        | 0.000  | 3.01E+05                    | 5.24E+05 |          |          |
| ATS-1 - T9    | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.061        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.003        | 0.000  | 1.07E+04                    | 1.98E+05 |          |          |
| ATS-1 - T8    | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.061        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.003        | 0.000  | 1.07E+04                    | 1.98E+05 |          |          |
| ATS-1 - T7    | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.061        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.003        | 0.000  | 1.07E+04                    | 1.98E+05 |          |          |
| ATS-1 - T6    | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.061        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.003        | 0.000  | 1.07E+04                    | 1.98E+05 |          |          |
| ATS-1 T10     | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.156        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.008        | 0.000  | 1.54E+04                    | 7.56E+04 |          |          |
| ATS-1 T14     | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.364        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.018        | 0.000  | 5.40E+03                    | 3.26E+04 |          |          |
| ATS-1 T12     | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.020        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.001        | 0.000  | 3.01E+05                    | 5.24E+05 |          |          |
| ATS-1 T13     | BARRA A (CCM 1) | 100.00        | 0.020        | 100.00                | 100.00 | 100.00 | 0.001        | 0.000  | 3.01E+05                    | 5.24E+05 |          |          |

# Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

\* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

## **ANEXO D**

ESQUEMA PROPUESTO PARA EL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES  
DE LA PLANTA COMPRESORA SAN JOAQUÍN BOOSTER



## **ANEXO E**

SITUACIÓN ACTUAL DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE LA  
PLANTA COMPRESORA SAN JOAQUÍN BOOSTER















## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>TÍTULO</b>    | EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE LA PLANTA COMPRESORA SAN JOAQUÍN BOOSTER |
| <b>SUBTÍTULO</b> |   |

### AUTOR (ES):

| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b> | <b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>   |
|----------------------------|--|
| Solórzano C. Milagros D.   | <b>CVLAC:</b> 26.660.690<br><b>EMAIL:</b> solorzanocmilagros@gmail.com |

### PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

|                              |
|------------------------------|
| Sistema eléctrico            |
| Planta San Joaquín Booster   |
| ETAP                         |
| Flujo de Carga               |
| Centro de control de motores |

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

| <b>ÁREA</b>                                | <b>SUBÁREA</b>       |
|--|----------------------|
| Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas | Ingeniería Eléctrica |

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

En este estudio se realizó una evaluación del sistema eléctrico del Centro de Control de Motores de la planta compresora San Joaquín Booster. El trabajo incluyó una descripción detallada del sistema eléctrico asociado al Centro de Control de Motores y las especificaciones técnicas correspondientes. Se llevó a cabo un estudio de obsolescencia para identificar los riesgos asociados al envejecimiento de los componentes y evaluar su vida útil. Este análisis permitió evidenciar un incremento en los costos de mantenimiento de los activos y la falta de disponibilidad de repuestos por parte de los fabricantes de equipos modulares, lo que resalta la necesidad de actualizar los sistemas y prolongar su funcionalidad. Además, se realizaron estudios de cortocircuito y flujo de carga para analizar el desempeño del sistema conforme a las normativas vigentes. Las simulaciones se ejecutaron utilizando el software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) en su versión 19.0.1. Finalmente, se presentó una propuesta de mejoras centrada en la sustitución de la configuración radial del sistema por una configuración secundaria selectiva. Este cambio garantiza que el sistema opere sin interrupciones ante contingencias, incrementando significativamente su confiabilidad y asegurando un funcionamiento óptimo.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b> | <b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b> |                           |               |           |               |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------|---------------|
| Gil, Nelson.               | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                 | <b>AS (X)</b> | <b>TU</b> | <b>JU</b>     |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      | 12.267.925                |               |           |               |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      | nelsongil211@gmail.com    |               |           |               |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                           |               |           |               |
| Méndez, Adriana.           | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                 | <b>AS</b>     | <b>TU</b> | <b>JU (X)</b> |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      | 16.064.183                |               |           |               |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      | mendezadriana82@gmail.com |               |           |               |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                           |               |           |               |
| Maza, Manuel.              | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                 | <b>AS</b>     | <b>TU</b> | <b>JU (X)</b> |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      | 8.266.951                 |               |           |               |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      | ingmanuelmaza@gmail.com   |               |           |               |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                           |               |           |               |

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

| <b>AÑO</b> | <b>MES</b> | <b>DIA</b> |
|------------|------------|------------|
| 2025       | 03         | 06         |

**LENGUAJE. SPA**

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

### ARCHIVO (S):

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME         |
|-------------------|-------------------|
| NAZTTG_SCMD2025   | Aplicación/MSword |

### CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

### TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero electricista

### NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

### ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas

### INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/Núcleo de Anzoátegui

# METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumana, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELLECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009".

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

|   |
|---|
| UNIVERSIDAD DE ORIENTE<br>SISTEMA DE BIBLIOTECA |
| RECIBIDO POR <i>[Firma]</i>                     |
| FECHA 05/08/09 HORA 5:20                        |

Cordialmente,

*[Firma]*  
JUAN A. BOLANOS CUNEL  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manja

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

### **DERECHOS:**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009):

**“Los Trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”**

---

Solórzano C., Milagros D.

**AUTOR**

---

Ing. Nelson Gil

**TUTOR**

---

Ing. Adriana Méndez

**JURADO**

---

Ing. Manuel Maza

**JURADO**

---

Ing. Héctor León