

|                                                                                   |                                                                                    |               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00      |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | 1 de 68 |

**ANALISIS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE  
CILINDROS PARA ALMACENAR G.L.P DE LA EMPRESA COMERCIAL  
INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S – CINSА CON ENFOQUE MCC.**

**AUTOR**

**JONATHAN SALAZAR ACOSTA**

**DIRECTOR**

**Msc. OSCAR MANUEL DUQUE SUAREZ**

**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,**

**MECATRÓNICA E INDUSTRIAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**VILLA DEL ROSARIO**

**2022**

|                                                                                   |                                                                                    |               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00      |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | 2 de 68 |

## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>2</b>  |
| <b>LISTADO DE TABLAS .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>4</b>  |
| <b>LISTADO DE GRÁFICOS .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>6</b>  |
| <b>LISTADO DE ILUSTRACIONES.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>7</b>  |
| <b>LISTADO DE ECUACIONES .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>8</b>  |
| <b>RESUMEN DEL PROYECTO .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>9</b>  |
| <b>JUSTIFICACIÓN.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>10</b> |
| <b>DELIMITACION.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>11</b> |
| <b>OBJETIVO GENERAL .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>11</b> |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>11</b> |
| <b>ACOTACIONES.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>11</b> |
| <b>CAPITULO 1.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>12</b> |
| <b>1. DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE MANTENIMIENTO A LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE CILINDROS DE LA EMPRESA COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSА. ....</b>                                                                                                                                                        | <b>12</b> |
| <b>1.1. Identificación de los equipos de la línea de cilindros.....</b>                                                                                                                                                                                                                                          | <b>12</b> |
| <b>1.2. Caracterización y análisis de cada uno de los equipos. ....</b>                                                                                                                                                                                                                                          | <b>23</b> |
| <b>1.3. Informe Diagnostico de los equipos.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>24</b> |
| <b>CAPITULO 2.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>29</b> |
| <b>2. ESTABLECER LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS EN LA LÍNEA DE CILINDROS DE LA EMPRESA COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSА, LOS AMEF (ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y EFECTOS), HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDY) O ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (AFO) DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS REQUERIDOS.....</b> | <b>29</b> |
| <b>2.1. Definición del nivel de análisis.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>29</b> |

|                                                                                   |                                                                                    |               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00      |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | 3 de 68 |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.               | Definición de las criticidades .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 30 |
| 2.3.               | Cálculo de nivel de criticidad .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 35 |
| 2.4.               | Establecimiento de los modos potenciales de falla. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 41 |
| 2.5.               | Determinación de grado de severidad, Ocurrencia y Detección .....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 44 |
| 2.6.               | Compilación de la documentación necesaria para realizar el estudio HAZOP/AFO<br>49                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
| 2.6.1.             | Descripción de la metodología HAZOP.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 51 |
| 2.6.2.             | Ventajas de la aplicación de HAZOP en la industria. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 52 |
| 2.7.               | Definición de los Nodos .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 53 |
| 2.7.1.             | Planteamiento de las desviaciones.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 54 |
| 2.7.2.             | Planteamiento de las causas .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 54 |
| 2.8.               | Sesiones HAZOP .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 55 |
| 2.9.               | Evaluación de los Riesgos.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 56 |
| CAPITULO 3.....    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 60 |
| 3.                 | Concluir sobre la oportunidad para una ingeniería de mantenimiento centrado en<br>confiabilidad aplicada a los equipos críticos en el proceso de fabricación de cilindros<br>para almacenar G.L.P. de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. –<br>CINSA, por medio del análisis de criticidad, del AMEF y el HAZOP o AFO. .... | 60 |
| CONCLUSIÓN .....   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 63 |
| BIBLIOGRAFIA ..... |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 64 |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00             |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>4 de 68</b> |

## LISTADO DE TABLAS

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 <i>Relación de los equipos para la línea de cilindros (LC), ver anexo 01-Listado de Equipos LC.xlsx, Fuente: propia</i> .....   | 13 |
| Tabla 2 Matriz de calificación. Fuente: Cinsa.....                                                                                      | 15 |
| Tabla 3 Resumen del diagnóstico al Mantenimiento. Fuente: propia.....                                                                   | 15 |
| Tabla 4 Criticidad en las rutas de inspección. Fuente: propia .....                                                                     | 16 |
| Tabla 5 Resultado en detalle del manejo de la información. Fuente: propia.....                                                          | 17 |
| Tabla 6 Resultado del aspecto en mantenimiento actual de la compañía. Fuente: propia.....                                               | 18 |
| Tabla 7 Resultado del aspecto y antecedente del costo de mantenimiento. Fuente: propia. ....                                            | 20 |
| Tabla 8 Resultado en detalle de la efectividad del mantenimiento actual. Fuente: propia. ....                                           | 21 |
| Tabla 9 Informe de los equipos de la línea de cilindros.....                                                                            | 25 |
| Tabla 10 Frecuencia de fallos FF. Fuente [21].....                                                                                      | 31 |
| Tabla 11 Impacto Operacional (IO). Fuente [21] .....                                                                                    | 31 |
| Tabla 12 Flexibilidad Operacional (FO). Fuente [21].....                                                                                | 32 |
| Tabla 13 Impacto en costes de mantenimiento (CM). Fuente [21] .....                                                                     | 32 |
| Tabla 14 Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA). Fuente [21] .....                                                              | 32 |
| Tabla 15 Determinación de las áreas de criticidad definida en el comité de mantenimiento de Cinsa.<br>Fuente: Cinsa .....               | 34 |
| Tabla 16 Matriz de criticidad para los equipos. Fuente: Cinsa .....                                                                     | 34 |
| Tabla 17 Cálculo de criticidad con la matriz definida para los equipos de la línea de cilindros. Fuente:<br>Cinsa.....                  | 39 |
| Tabla 18 análisis AMFEC de los equipos de la empresa Comercial Industrial Nacional SAS. Fuente: Propia.<br>.....                        | 43 |
| Tabla 19 Criterio para puntuar la severidad, teniendo en cuenta la Norma SAE J1739. Fuente: propia,<br>[18] y [20] .....                | 45 |
| Tabla 20 Criterio para cuantificar la Ocurrencia, teniendo en cuenta la Norma SAE J1739. Fuente: propia,<br>[18] y [20] .....           | 46 |
| Tabla 21 Criterio para determinar la detección de la falla, teniendo en cuenta la Norma SAE J1739.<br>Fuente: propia, [18] y [20] ..... | 47 |
| Tabla 22 Jerarquización de los modos de falla de los equipos críticos para la empresa Cinsa.<br>Fuente: propia.....                     | 48 |
| Tabla 23 Definición de Nodos. Fuente: Propia y [33]. ....                                                                               | 53 |
| Tabla 24 Definición de palabras guía. Fuente propia y [33]. ....                                                                        | 54 |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00             |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>5 de 68</b> |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 25 Formato para el registro HAZOP de los equipos críticos para la empresa Comercial Industrial Nacional SAS-Cinsa. Fuente: Propia ..... | 55 |
| Tabla 26 determinación del nivel de deficiencia. Fuente: [38] GTC45 .....                                                                     | 57 |
| Tabla 27 Determinación del nivel de exposición. Fuente: [38] GTC45 .....                                                                      | 57 |
| Tabla 28 Determinación del nivel de consecuencias. Fuente: [38] .....                                                                         | 57 |
| Tabla 29 Significado del nivel de riesgo. Fuente: [38] GTC45 .....                                                                            | 58 |
| Tabla 30 aceptabilidad del riesgo. Fuente: [38] GTC45 .....                                                                                   | 58 |
| Tabla 31 Matriz de riesgo. Fuente: propia.....                                                                                                | 59 |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00             |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>6 de 68</b> |

## LISTADO DE GRÁFICOS

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 Resultado de los aspectos evaluados en el área de mantenimiento para la compañía Cinsa. Fuente: propia .....                                              | 16 |
| Gráfico 2 Detalle de la criticidad de las rutas de inspección. Fuente: propia.....                                                                                  | 17 |
| Gráfico 3 Resultado del detalle del manejo de la información en la compañía para el área de mantenimiento. Fuente: propia .....                                     | 18 |
| Gráfico 4 Resultado del detalle en el aspecto del mantenimiento actual de la compañía. Fuente: propia. ....                                                         | 19 |
| Gráfico 5 Resultado del análisis del costo de mantenimiento. Fuente: propia .....                                                                                   | 20 |
| Gráfico 6 Resultado del aspecto en detalle de la efectividad del mantenimiento. Fuente: propia. ....                                                                | 21 |
| Gráfico 7 Pareto del mayor número de actividades correctivas registradas en la plataforma del AM. Fuente: Cinsa -AM .....                                           | 36 |
| Gráfico 8 Pareto del mayor gasto por activos registrados en la plataforma del AM, fuente: Cinsa-AM. .                                                               | 37 |
| Gráfico 9 Pareto del mayor número de causas de falla presentadas en los activos registrados en la plataforma AM. Fuente: Cinsa -AM.....                             | 38 |
| Gráfico 10 Matriz de criticidad para los equipos de la línea de cilindros. Fuente: propia .....                                                                     | 40 |
| Gráfico 11 Curva del comportamiento de fallas. Fuente: [18] .....                                                                                                   | 42 |
| Gráfico 12 Jerarquía de los modos de falla para los equipos críticos de la empresa. Fuente: propio anexo en Excel (05-Tabla AMEF.xlsx), hoja (“Jerarquía NPR”)..... | 49 |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00             |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>7 de 68</b> |

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 Ficha de caracterización de los equipos analizados dentro de la compañía. fuente propia.                         | 24 |
| Ilustración 2 Acceso a la plataforma del AM (Administrador de Mantenimiento). Fuente: CINSA.....                               | 35 |
| Ilustración 3 base de registros de las ordenes de trabajo almacenadas en la plataforma AM. Fuente: CINSA.....                  | 35 |
| Ilustración 4 Instructivo de trabajo para el equipo catalogado como crítico para la empresa CINSA. Fuente: Empresa CINSA. .... | 51 |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00             |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>8 de 68</b> |

## LISTADO DE ECUACIONES

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1 Criticidad total por riesgo. Fuente: [21] .....                   | 30 |
| Ecuación 2 Ecuación de consecuencia (C). Fuente: [21] .....                  | 30 |
| Ecuación 3 Ecuación de criticidad total por riesgo que se desarrollará. .... | 31 |
| Ecuación 4 Ecuación para calcular NPR (Número de prioridad de riesgo) .....  | 44 |
| Ecuación 5 Ecuación de nivel de riesgo .....                                 | 56 |
| Ecuación 6 Ecuación del nivel de probabilidad .....                          | 56 |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00             |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>9 de 68</b> |

## RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto de investigación y análisis se inicia con el diagnóstico de los equipos de la línea de cilindros buscando establecer mediante el análisis de criticidad del proceso, la identificación de los equipos críticos que intervienen en la fabricación de cilindros y que llevarían a una parada de la línea de fabricación que repercuten negativamente en los objetivos de producción, se establecerá la ejecución del programa de mantenimiento frente a las necesidades que se detecten en la fase diagnóstica y se realizarán las correcciones oportunas del programa de mantenimiento establecido.

Con el análisis de criticidad, aplicaremos un método riguroso de análisis que utiliza toda la experiencia y competencias disponibles de los estudios, métodos y mantenimiento, cuyo objetivo es identificar las causas de los fallos aun no producidos; con el AMEF (análisis de modo y efecto de fallo), haciendo énfasis en el análisis de riesgos operacional (HAZOP). Para hacerlo atractivo a la gerencia realizaremos un análisis costo beneficio como soporte económico de los beneficios presentados en la aplicación de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos críticos de la línea de cilindros.

Al final se presentará una propuesta de ingeniería contemplada por los análisis y el diseño del plan de mantenimiento elaborados con anterioridad para que esta quede a disposición de COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S.- CINSa y de esta forma sea analizado por el personal de mantenimiento de la empresa y facilite la toma de decisiones.

### 2.1. Palabras claves:

Mantenimiento, fiabilidad, MCR, AMEF, HAZOP, AFO, cilindros, producción, procedimiento, costo beneficio.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>10 de 68</b> |

## JUSTIFICACIÓN

Con el constante cambio del mercado y en busca de la mejora continua de los procesos internos de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa, que apunten a ser más eficientes no solo en la producción, sino también en la solución de fallos en los equipos que puedan producir tiempos no productivos afectando negativamente las metas de producción y esta a su vez que está en la búsqueda de mercados internacionales, se crea la necesidad de no solo mejorar y adaptarse a diversos productos sino también de empoderar la gestión del mantenimiento dándole herramientas que la ayuden en el cumplimiento del objetivo global de la empresa, consiguiendo el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible.

Mediante el desarrollo de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa y su equipo de mantenimiento podrá contrarrestar los efectos de las paradas no programadas de los equipos críticos identificando rápidamente las posibles causas y aumentando o garantizando la disponibilidad de la maquinaria.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>11 de 68</b> |

## DELIMITACION

### **OBJETIVO GENERAL**

Análisis de los equipos críticos en el proceso de fabricación de cilindros para almacenar G.L.P de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S – CINSa con enfoque MCC.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar el estado de mantenimiento a los equipos de la línea de cilindros de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa.
2. Establecer la criticidad de los equipos en la línea de cilindros de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa, los AMEF (Análisis de Modos de Fallos y Efectos), HAZOP (Hazard and Operability Study) o Análisis Funcional de Operatividad (AFO) de los equipos críticos requeridos.
3. Concluir sobre la oportunidad para una ingeniería de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicada a los equipos críticos en el proceso de fabricación de cilindros para almacenar G.L.P. de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa, por medio del análisis de criticidad, del AMEF y el HAZOP o AFO.

### **ACOTACIONES**

El proyecto para analizar los equipos con enfoque MCC, solo se aplicará para los equipos críticos de la empresa -CINSa y su línea de cilindros.

Los indicadores y formatos que surjan del diseño del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad propuesto no contarán con una base inicial que les permitirá ser medidos.

La ejecución de la propuesta de mantenimiento realizada quedará a la disposición de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>12 de 68</b> |

## **CAPITULO 1**

### **1. DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE MANTENIMIENTO A LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE CILINDROS DE LA EMPRESA COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSA.**

Para iniciar el desarrollo de la ingeniería de mantenimiento centrada en la confiabilidad debemos empezar por un examen actual de los equipos.

El objetivo del mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible. [1]

Actualmente encontramos las industrias, bajo una creciente presión de la competencia, estas se encuentran obligadas a alcanzar altos valores de producción con exigentes niveles de calidad cumpliendo los plazos de entrega, lo que repercute en la calidad del mantenimiento aplicado.

#### **1.1. Identificación de los equipos de la línea de cilindros**

De acuerdo con la identificación de los equipos que emplea el área de mantenimiento para sus programas de inspección y reparación se cuenta con el siguiente listado de equipos para la línea de fabricación de cilindros.

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>13 de 68</b> |

**Tabla 1 Relación de los equipos para la línea de cilindros (LC), ver anexo 01-Listado de Equipos LC.xlsx, Fuente: propia**

| Resumen del listado de equipos LC |                     |                               |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Cód./Proceso                      | Cantidad de equipos | Cuenta con documentos S-1/N-0 |
| 01- REBORDEADORAS                 | 2                   | 2                             |
| 02- CORTADORAS                    | 1                   | 1                             |
| 04- DISPOSITIVOS BRIDAS Y BASES   | 2                   | 0                             |
| 05- DISPOSITIVO ENSAMBLE          | 2                   | 0                             |
| 06- SOLDADURA CIRCULAR            | 1                   | 0                             |
| 07- SOLDADURA LONGITUDINAL        | 1                   | 0                             |
| 08- EQUIPOS DE APOYO              | 5                   | 5                             |
| 09- PRENSAS                       | 6                   | 6                             |
| 10- ROLADORAS                     | 2                   | 0                             |
| 13- VALVULADORAS                  | 1                   | 0                             |
| <b>Total</b>                      | <b>23</b>           | <b>14</b>                     |

Para la línea de cilindros solo se tuvieron en cuenta los 23 equipos que se consideran por el área de mantenimiento como importantes destinados a la fabricación de cilindros de las capacidades C-5kg, C-9kg, C-15kg, C-18kg, C-45kg, de acuerdo con la Norma NTC-522-1.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>14 de 68</b> |

### Metodología para el desarrollo diagnóstico:

Con la primera identificación de los equipos que cuentan con un programa de mantenimiento preventivo, se establece que la mejor opción es aplicar un método de investigación en campo, basado en encuestas a los involucrados, toma de datos de los equipos y estadísticos del software AM (Administración de Mantenimiento), manuales de operación y estudios preliminares para realizar un diagnóstico basado en la matriz de excelencia del mantenimiento [3] y la experiencia del personal involucrado y operativo de la planta donde buscaremos determinar los cuatro factores fundamentales en las empresas para el desarrollo del mantenimiento que son: el personal, la administración, programas de conservación y el control. [2]

Para obtener los datos necesarios se realizaron entrevistas con el jefe de mantenimiento y de producción, así como el personal encargado del mantenimiento y operativo de los equipos para conocer sus perspectivas y percepción del mantenimiento que se realiza a los equipos y del equipo de trabajo.

#### Fuentes de información

- Entrevistas al personal de la empresa.
- Platicas informales con los operarios, técnicos y supervisores.
- Información documentada de registros y formatos de mantenimiento.

Para la identificación y caracterización del mantenimiento en la empresa usaremos el formato de interno de la compañía usado para evaluar el mantenimiento en las diferentes UEN (unidades estratégicas de negocio). -ver anexo 02-Characterización compañía y área de mantenimiento.xlsx, fuente: Cinsa

El documento evalúa los siguientes aspectos:

- A. Identificación y Caracterización de la Empresa: este aspecto es solo informativo, donde se obtiene información relevante de la compañía y del área de mantenimiento.
- B. Criticidad de Rutas de Inspección: este aspecto evalúa si se cuenta con una ruta crítica para los equipos y si estos están identificados y se conocen sus fallas.
- C. Manejo de la Información Sobre Equipos: este aspecto evalúa el manejo de la información

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>15 de 68</b> |

y registros de los mantenimientos prestados a los equipos y el uso del programa de mantenimiento preventivo.

- D. Estado del Mantenimiento Actual: este aspecto evalúa el estado actual y manejo del programa de mantenimiento y registros de los equipos, así como sus repuestos.
- E. Antecedentes de Costos de Mantenimiento: este aspecto evalúa el manejo del presupuesto y costos del mantenimiento de la compañía.
- F. Efectividad del Mantenimiento Actual: este aspecto evalúa el análisis dado a la información del mantenimiento prestado a los equipos de la compañía.

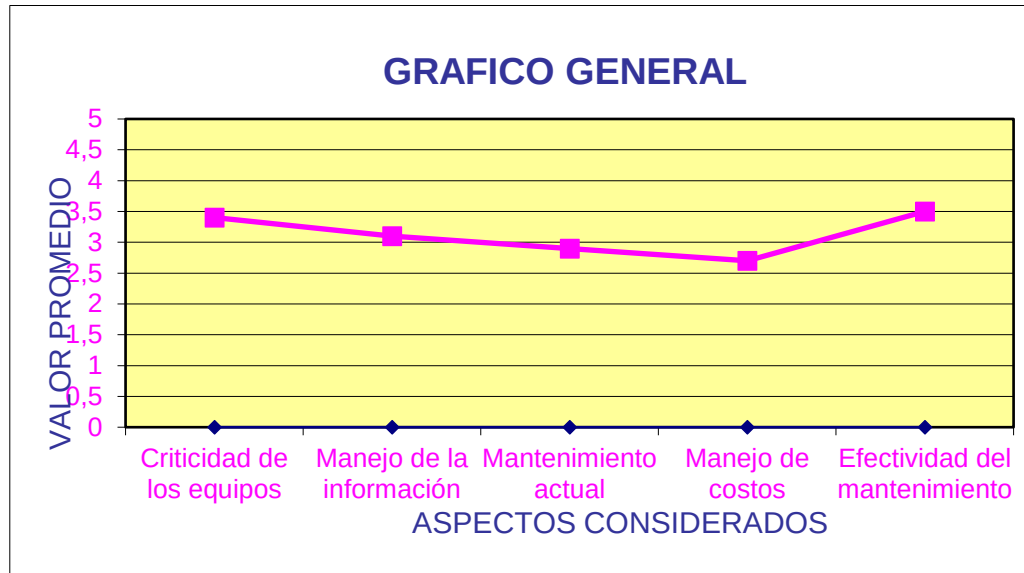
**Tabla 2 Matriz de calificación. Fuente: Cinsa**

| Calificación              | Valor            |
|---------------------------|------------------|
| Aspecto con deficiencias  | <b>&lt;1,67</b>  |
| Aspecto Regular           | <b>&lt;=3,33</b> |
| Aspecto bien implementado | <b>&gt;3,33</b>  |

Los resultados obtenidos de la evaluación al área de mantenimiento

**Tabla 3 Resumen del diagnóstico al Mantenimiento. Fuente: propia**

| Aspectos Considerados            | Valor      | Calificación              |
|----------------------------------|------------|---------------------------|
| B. Criticidad de los equipos     | <b>3,4</b> | Aspecto bien implementado |
| C. Manejo de la información      | <b>3,1</b> | Aspecto regular           |
| D. Mantenimiento actual          | <b>2,9</b> | Aspecto regular           |
| E. Manejo de costos              | <b>2,7</b> | Aspecto regular           |
| F. Efectividad del mantenimiento | <b>3,5</b> | Aspecto bien implementado |



**Gráfico 1 Resultado de los aspectos evaluados en el área de mantenimiento para la compañía Cinsa. Fuente: propia**

De forma global podemos indicar que existen dos aspectos en los que la compañía debe mejorar siendo estos el mantenimiento actual y el manejo de costos.

Ahora profundizamos cada uno de los aspectos evaluados.

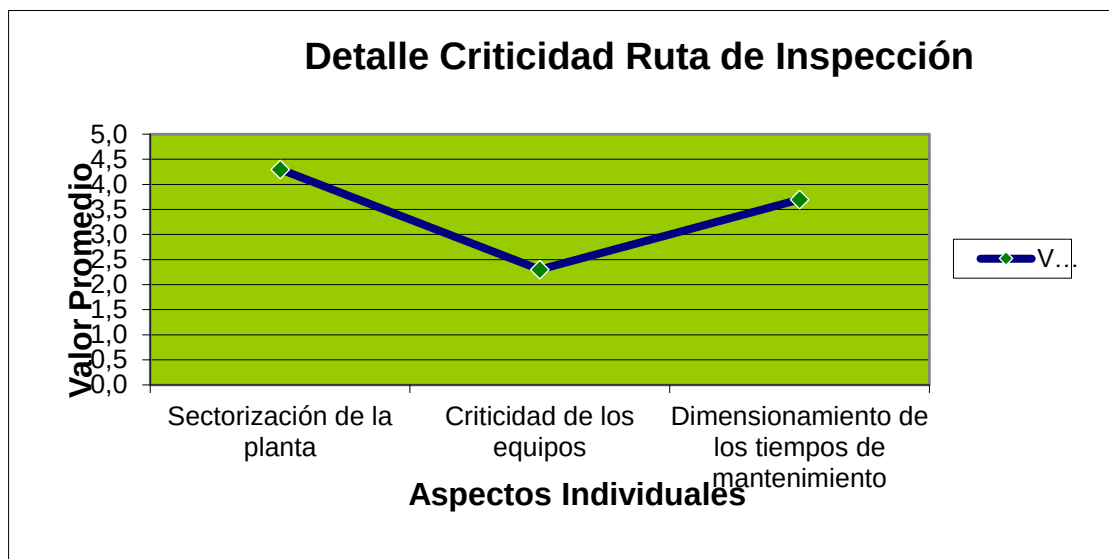
A. Identificación Y Caracterización De La Empresa

B. Criticidad De Rutas De Inspección

**Tabla 4 Criticidad en las rutas de inspección. Fuente: propia**

| Preguntas      | Aspectos individuales considerados               | Valor | Calificación              |
|----------------|--------------------------------------------------|-------|---------------------------|
| B1,B2,B5,B6    | Sectorización de la planta                       | 4,3   | Aspecto bien implementado |
| B3,B4,B7,B8,B9 | Criticidad de los equipos                        | 2,3   | Aspecto regular           |
| B10,B11,B12    | Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento | 3,7   | Aspecto bien implementado |

|                                                                                   |                                                                                    |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | 17 de 68 |



**Gráfico 2 Detalle de la criticidad de las rutas de inspección. Fuente: propia**

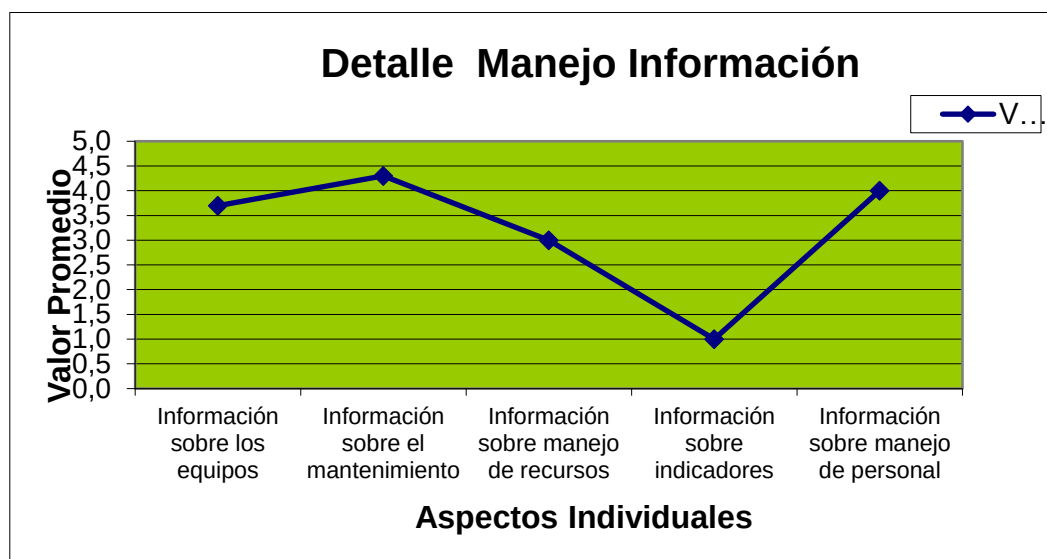
En el detalle de este aspecto se evidencia la debilidad del área de mantenimiento en no tener establecido claramente la criticidad de los equipos de la compañía.

### C. Manejo De La Información Sobre Equipos

**Tabla 5 Resultado en detalle del manejo de la información. Fuente: propia**

| Preguntas    | Aspectos individuales considerados   | Valor | Calificación              |
|--------------|--------------------------------------|-------|---------------------------|
| C1,C2,C4     | Información sobre los equipos        | 3,7   | Aspecto bien implementado |
| C3,C5,C6     | Información sobre el mantenimiento   | 4,3   | Aspecto bien implementado |
| C7,C8,C9,C12 | Información sobre manejo de recursos | 3,0   | Aspecto regular           |
| C10,C11,C15  | Información sobre indicadores        | 1,0   | Aspecto con deficiencias  |
| C13,C14      | Información sobre manejo de personal | 4,0   | Aspecto bien implementado |

|                                                                                   |                                                                                 |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | Página | 18 de 68 |



**Gráfico 3 Resultado del detalle del manejo de la información en la compañía para el área de mantenimiento. Fuente: propia**

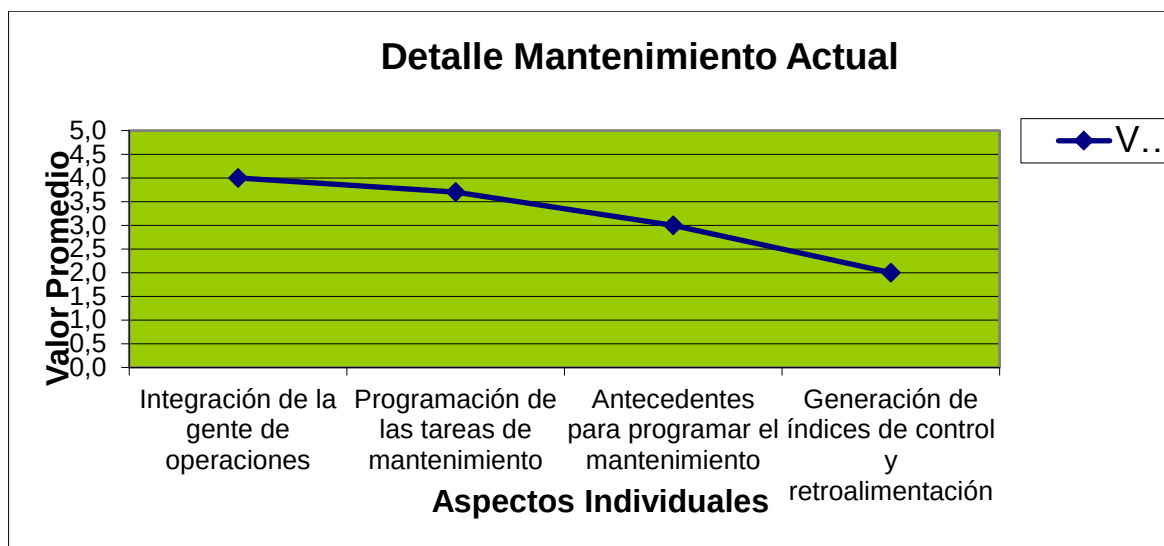
En este aspecto se evidencia una falencia en el manejo de los indicadores del área.

#### D. Estado Del Mantenimiento Actual

**Tabla 6 Resultado del aspecto en mantenimiento actual de la compañía. Fuente: propia**

| Preguntas              | Aspectos individuales considerados                   | Valor | Calificación              |
|------------------------|------------------------------------------------------|-------|---------------------------|
| D1,D2                  | Integración de la gente de operaciones               | 4,0   | Aspecto bien implementado |
| D3,D4,D10              | Programación de las tareas de mantenimiento          | 3,7   | Aspecto bien implementado |
| D5,D6,D7,D9            | Antecedentes para programar el mantenimiento         | 3,0   | Aspecto regular           |
| D8,D11,D12,D13,D14,D15 | Generación de índices de control y retroalimentación | 2,0   | Aspecto regular           |

|                                                                                   |                                                                                    |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                    | Página | 19 de 68 |



**Gráfico 4 Resultado del detalle en el aspecto del mantenimiento actual de la compañía. Fuente: propia.**

En el detalle de este aspecto observamos que existen debilidades en la retroalimentación de la información recopilada en los registros de mantenimiento y por ende se desconoce el comportamiento de las fallas en los equipos y su frecuencia.

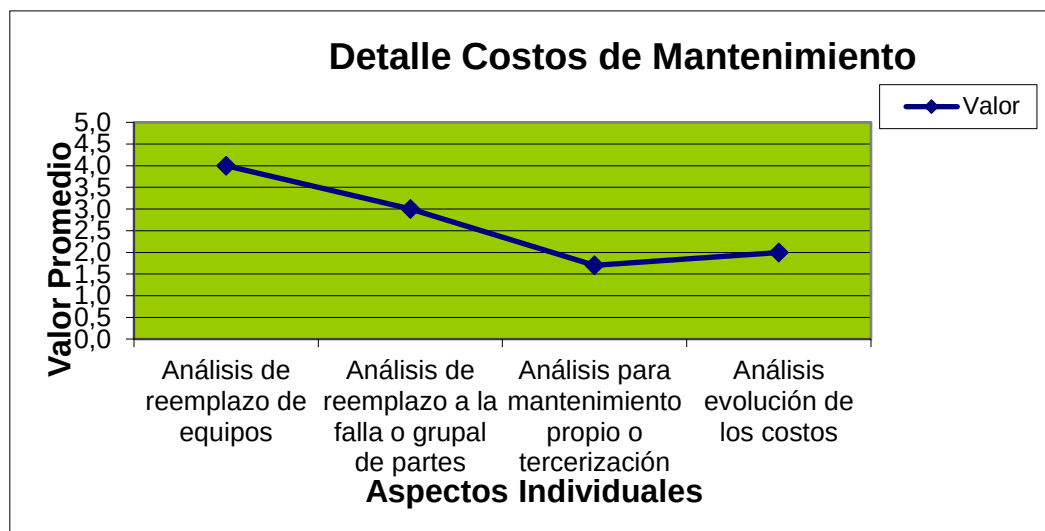
la planeación y programación se encuentra alineado con las mejores prácticas de la industria, sin embargo, presenta oportunidades de mejoramiento para optimizar la productividad de los recursos y tiempos empleados.

|                                                                                   |                                                                                    |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | 20 de 68 |

## E. Antecedentes De Costos De Mantenimiento

**Tabla 7 Resultado del aspecto y antecedente del costo de mantenimiento. Fuente: propia.**

| Preguntas       | Aspectos individuales considerados                  | Valor | Calificación              |
|-----------------|-----------------------------------------------------|-------|---------------------------|
| E1,E2,E3,E7     | Análisis de reemplazo de equipos                    | 4,0   | Aspecto bien implementado |
| E4,E5,E6,E8     | Análisis de reemplazo a la falla o grupal de partes | 3,0   | Aspecto regular           |
| E9,E14,E15      | Análisis para mantenimiento propio o tercerización  | 1,7   | Aspecto regular           |
| E10,E11,E12,E13 | Análisis evolución de los costos                    | 2,0   | Aspecto regular           |



**Gráfico 5 Resultado del análisis del costo de mantenimiento. Fuente: propia**

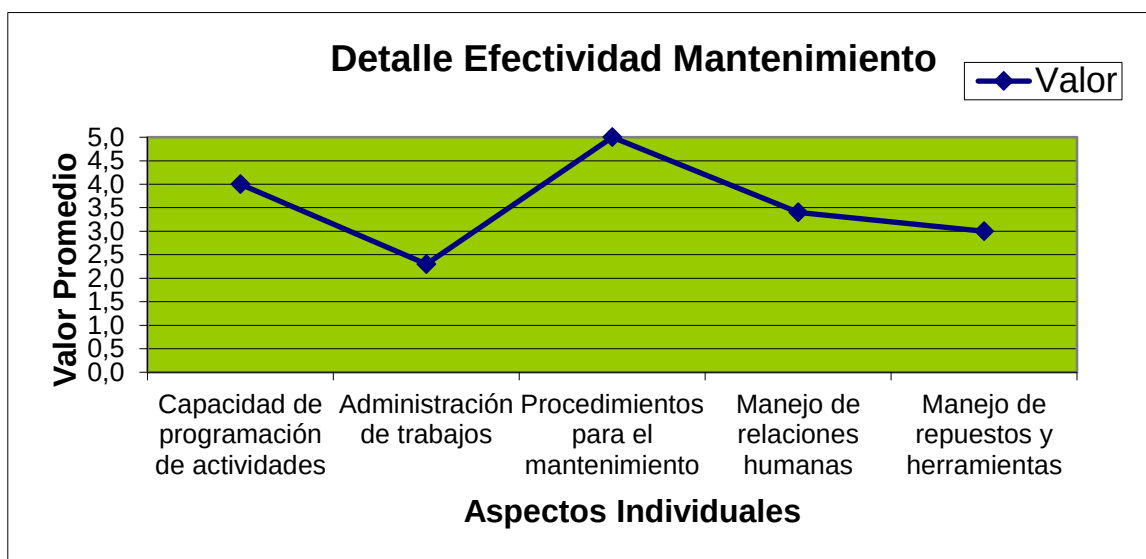
Este aspecto deja en evidencia que no hay un adecuado análisis de la información relacionada con los trabajos de mantenimiento, buscando optimizar la efectividad del proceso de planeación, programación y costos.

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 21 de 68 |

## F. Efectividad Del Mantenimiento Actual

**Tabla 8 Resultado en detalle de la efectividad del mantenimiento actual. Fuente: propia.**

| Preguntas           | Aspectos individuales considerados       | Valor | Calificación              |
|---------------------|------------------------------------------|-------|---------------------------|
| F1,F2,F8,F9         | Capacidad de programación de actividades | 4,0   | Aspecto bien implementado |
| F3,F4,F5            | Administración de trabajos               | 2,3   | Aspecto regular           |
| F6,F7               | Procedimientos para el mantenimiento     | 5,0   | Aspecto bien implementado |
| F10,F11,F12,F13,F14 | Manejo de relaciones humanas             | 3,4   | Aspecto bien implementado |
| F15,F16             | Manejo de repuestos y herramientas       | 3,0   | Aspecto regular           |



**Gráfico 6 Resultado del aspecto en detalle de la efectividad del mantenimiento. Fuente: propia.**

Este aspecto en general muestra que la compañía tiene como resultado una buena efectividad en la aplicación del mantenimiento, solo teniendo por mejorar el seguimiento administrativo de los trabajos realizados.

Haciendo un análisis global de los resultados obtenidos podemos resumir los cuatro factores

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>22 de 68</b> |

fundamentales de la compañía en relación con mantenimiento de los equipos y su administración en:

### **El personal**

- ✓ El personal del área de mantenimiento es calificado y cuenta con la experiencia para operar y mantener los equipos.
- ✓ El personal en casos de fallos debe enfocar todos sus recursos a la solución del problema abandonando los mantenimientos preventivos o posponiéndolos.
- ✓ No se cuenta con un buen análisis del software GMAO usado por la compañía llamado AM (Administración del mantenimiento).

### **Administración**

- ✓ La administración no cuenta con planes de mantenimiento a largo plazo.
- ✓ El personal de mantenimiento responde rápido a los fallos presentados sin embargo se ve afectado en los tiempos de entrega por no disponer de los repuestos necesarios para atender las OT.
- ✓ No se cuenta con un programa de capacitación para el personal de mantenimiento que actualice metodologías y tecnologías para mejorar su rol en el área al igual que el personal operativo no refuerza el adiestramiento en la operación de los equipos.

### **Programas de conservación**

- ✓ La compañía no cuenta con muchos de los manuales necesarios para ser consultados y resolver rápidamente OT.
- ✓ La compañía debe mejorar el inventario de repuestos y así evitar los paros de producción o demoras en las reparaciones.
- ✓ La compañía cuenta con un programa de mantenimiento preventivo, correctivo y realiza predictivos, solo les falta aplicar el mantenimiento basado en confiabilidad para mejorar y reforzar el área.

### **Control**

- ✓ La compañía debe mejorar el análisis de la información gestionada en la aplicación

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>23 de 68</b> |

AM, para tener un mejor control de las fallas en los equipos y maquinaria.

- ✓ La compañía no cuenta con un presupuesto para repuestos y debe gestionarlo todo a través del área de compras.

Después de realizado el análisis de diagnóstico y aplicando unas sencillas mejoras, la empresa Comercial Industrial Nacional SAS obtendrá una mejora en la administración del mantenimiento.

## **1.2. Caracterización y análisis de cada uno de los equipos.**

Para la caracterización de los equipos nos basamos en el listado de la tabla 1 de los 23 equipos dados por el área de mantenimiento dentro del plan de mantenimiento preventivo y correctivo de la compañía, el cual podemos observar en detalle en el anexo [03-Diagnostico Equipos LC.xlsx](#) y navegar en las diferentes pestañas del archivo codificado de cada equipo.

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 24 de 68 |

| REGISTRO TÉCNICO DE EQUIPO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                               |                                     |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|--|
| EMPRESA: Empresa Comercial Industrial Nacional S.A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                               |                                     |  |
| SECCIÓN: Producción de corte Hoja: 1 de 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                               |                                     |  |
| CÓDIGO: PRE-07 ACTIVO Nº: 1001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                               |                                     |  |
| EQUIPO: Prensa FAGOR Sem 2-500-2100-1800                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                               |                                     |  |
| FABRICANTE: FAGOR ARRASATE S. COOP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                               |                                     |  |
| PROVEEDOR: FAGOR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |                                     |  |
| DIRECCIÓN: Errekalde Etovidea 59 Edificio Aguilera<br>No. 20018 San Sebastián, España                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                               |                                     |  |
| TELÉFONOS: (943) 376012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                               |                                     |  |
| USO: Cortes de partes del cilindro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                               |                                     |  |
| COSTO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                               | VIDA UTIL:                          |  |
| FECHA DE INSTALACIÓN: 11-10-05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                               | CONTACTO: Fiana FAGOR San Sebastian |  |
| CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                               |                                     |  |
| MARCA: FAGOR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | PESO: 72000Kg (sin troqueles)                 | SERIE: 40712                        |  |
| MOELO: Sem2-500-2100-1800                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CORRIENTE: 108,95amp                          | POTENCIA:                           |  |
| TENSION: 240-480V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | TIPO: Electromecánica                         | CLASE: Excentrica                   |  |
| TIPO DE CORRIENTE: Trifásica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | PLANOS: Manual de componentes y mantenimiento |                                     |  |
| ALTO: 6500mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ANCHO: 3660mm                                 | LARGO: 2600mm                       |  |
| CAPACIDAD: Largo de corte: de 0,6mm a 2,7mm; Espesor de corte: 0,6mm a 2,7mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                               |                                     |  |
| FUNCIONAMIENTO Y MANEJO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                               |                                     |  |
| EQUIPO MECÁNICO: Bastidor Monobloc en acero electrosoldado, realizado en una sola estructura; Volante de acero movido por motor cc; accionamiento por medio de engranajes excentricos; bielas de acero que transmiten movimiento al carro; regulación y encoder                                                                                                                                                                            |                                               |                                     |  |
| EQUIPO ELÉCTRICO: Motor principal ABB de C.C. (Pot. 42,9 Kw. Ia: 97,75 Amp); motor del ventilador del principal de C.A. (pot. 0,9 Kw. Ia: 1,8 Amp); Motor para accionar sistema Engrase, (pot. 0,37 Kw. Ia: 1,1 Amp); motor de regulación del carro (pot. 4Kw, Ia: 1,1 Amp); conexión y comunicación entre el autómatas (P.L.C) y los dispositivos electrónicos de prensa por medio de PROFIBUS. ( caminos distribuidores de información). |                                               |                                     |  |
| EQUIPOS VARIOS: Equipos Hidroneumáticos: Bomba Hidroneumática marca MAXIMATOR S-100; con filtro, manómetros y válvulas; Bomba hidráulica accionada por motor C.A. para el sistema de engrase, con filtro y válvula de seguridad; depósitos hidráulicos; panel Neumático columna                                                                                                                                                            |                                               |                                     |  |
| Equipos Varios: distribuidor principal de engrase de la prensa, distribuidores de engrase de bielas y carro; control cíclico de freno embrague, válvula manual principal de aire; y dos calzos de seguridad para situar entre mesa y carro para cambio de util.                                                                                                                                                                            |                                               |                                     |  |
| ESPECIFICACIONES DE LUBRICACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                               |                                     |  |
| Tanque del Grupo Hidráulico de la línea, asta completar el nivel con aceite RANDON HD32, S.R.N<br>Cadena de Transmisión y Huesillo del sistema de expansión del mandrino, se debe aplicar la grasa con Grasa MULTIFAK EP2, mensual.                                                                                                                                                                                                        |                                               |                                     |  |
| OBSERVACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                               |                                     |  |
| Dimensiones de la mesa y carro 2100x1800; fuerza nominal a 6,5 mm antes del P.M.I 5000 KN<br>regulación del carro 200 mm; Nº de golpes por minuto: de 20 a 45; Nº de bielas: 2; Nº de revoluciones del volante: 118 - 2656 rpm; altura de la mesa a la base de la<br>La presión es de 15BAR                                                                                                                                                |                                               |                                     |  |

**Ilustración 1** Ficha de caracterización de los equipos analizados dentro de la compañía. fuente propia.

### 1.3. Informe Diagnostico de los equipos.

A continuación, se presenta el siguiente informe resumido en la tabla 9, con los resultados obtenidos del diagnóstico realizado a cada uno de los equipos sujetos a la evaluación y consignados en detalle en el anexo 03-Diagnostico Equipos LC.xlsx

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 25 de 68 |

**Tabla 9 Informe de los equipos de la línea de cilindros**

| Informe de los equipos en la línea de cilindros |               |                                |                   |                                      |                    |            |                                                                                                                                             |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cód/Proceso                                     | Código Equipo | Nombre del Activo              | Estado del Activo | Cuenta con Programa de Mantenimiento | Tipo de trabajo    | Sistema    | Diagnostico                                                                                                                                 | Recomendaciones                                                                                               |
| 01-REBORDEADORAS                                | REB-01        | REBORDEADORA DE TAPAS          | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Neumático  | Se observaron fugas de aire, funcionamiento Normal, algunas piezas como las cuchillas presentan deterioro y el hongo pisador pierde fuerza. | Aumentar la frecuencia de limpieza, ajustar y cambiar sellos del cilindro neumático, reemplazar las cuchillas |
| 01-REBORDEADORAS                                | REB-04        | REBORDEADORA DE TAPAS Y FONDOS | Optimo            | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Hidráulico | Se observaron fugas de aceite hidráulico, funcionamiento Normal, algunas piezas como las cuchillas presentan deterioro.                     | Cambiar los sellos del cilindro y reemplazar las cuchillas                                                    |
| 02-CORTADORAS                                   | CZA-02        | CIZALLA                        | Optimo            | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Neumático  | Funcionamiento Normal                                                                                                                       | Ninguna                                                                                                       |

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 26 de 68 |

| Informe de los equipos en la línea de cilindros |                          |                                                       |                                 |                                                      |                        |           |                                                                         |                                                                                                         |
|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cód/Proc<br>eso                                 | Códi<br>go<br>Equi<br>po | Nombre<br>del<br>Activo                               | Esta<br>do<br>del<br>Activ<br>o | Cuenta<br>con<br>Programa<br>de<br>Mantenimi<br>ento | Tipo de<br>trabajo     | Sistema   | Diagnos<br>tico                                                         | Recomendac<br>iones                                                                                     |
| 04-<br>DISPOSITIVO<br>S BRIDAS Y<br>BASES       | SBA-<br>01               | SOLDADUR<br>A DE BASES<br>#1                          | Acepta<br>ble                   | Si                                                   | Mecánico               | Neumático | Se<br>encuentra<br>deteriorad<br>o, fuga de<br>aire por el<br>cilindro. | Programar<br>reemplazo de<br>piezas<br>estructurales<br>deterioradas,<br>cambiar sellos<br>del cilindro |
| 04-<br>DISPOSITIVO<br>S BRIDAS Y<br>BASES       | SBR-<br>01               | SOLDADUR<br>A DE<br>BRIDAS #1                         | Acepta<br>ble                   | Si                                                   | Mecánico               | Neumático | Funcionam<br>iento<br>Normal                                            | Ninguna                                                                                                 |
| 05-<br>DISPOSITIVO<br>ENSAMBLE                  | DPF-<br>01               | DISPOSITIV<br>O PUNTEO<br>FONDOS                      | Acepta<br>ble                   | Si                                                   | Mecánico               | Neumático | Funcionam<br>iento<br>Normal                                            | Ninguna                                                                                                 |
| 05-<br>DISPOSITIVO<br>ENSAMBLE                  | DST-<br>01               | DISPOSITIV<br>O DE<br>SOLDADUR<br>A TAPA<br>PROTECTOR | Acepta<br>ble                   | Si                                                   | Mecánico               | Neumático | Presenta<br>fuga de<br>aire por el<br>mando<br>neumático                | Reemplazar el<br>mando<br>neumático                                                                     |
| 06-<br>SOLDADURA<br>CIRCULAR                    | DSC-<br>02               | DISPOSITIV<br>O DE<br>SOLDADUR<br>A CIRCULAR          | Optim<br>o                      | Si                                                   | Eléctrica/Me<br>cánica | Neumático | Funcionam<br>iento<br>Normal                                            | Aumentar la<br>frecuencia de<br>limpieza                                                                |
| 07-<br>SOLDADURA<br>LONGITUDI<br>NAL            | DSL-<br>02               | DISPOSITIV<br>O DE<br>SOLDADUR<br>A LONGITUDI<br>NAL  | Optim<br>o                      | Si                                                   | Mecánico               | Neumático | Funcionam<br>iento<br>Normal                                            | Aumentar la<br>frecuencia de<br>limpieza                                                                |
| 08-<br>EQUIPOS DE<br>APOYO                      | BPH-<br>03               | BANCO DE<br>PRUEBA<br>HIDROSTATI<br>CA                | Optim<br>o                      | Si                                                   | Eléctrica/Me<br>cánica | Neumático | Funcionam<br>iento<br>Normal                                            | Ninguna                                                                                                 |
| 08-<br>EQUIPOS DE<br>APOYO                      | EPC-<br>01               | EQUIPO DE<br>PINTURA<br>ELECTROST<br>ATICA            | Optim<br>o                      | Si                                                   | Eléctrica/Me<br>cánica | Neumático | Existen<br>paneles<br>deteriorad<br>os, Falta<br>lubricación<br>en la   | Reemplazar los<br>paneles dañados<br>y aumentar la<br>frecuencia de<br>lubricación del<br>transportador |

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 27 de 68 |

| Informe de los equipos en la línea de cilindros |               |                                |                   |                                      |                    |            |                                                                                                      |                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cód/Proceso                                     | Código Equipo | Nombre del Activo              | Estado del Activo | Cuenta con Programa de Mantenimiento | Tipo de trabajo    | Sistema    | Diagnostico                                                                                          | Recomendaciones                                                                                                                                 |
|                                                 |               |                                |                   |                                      |                    |            | cadena de transporte                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| 08-EQUIPOS DE APOYO                             | COM-02        | COMPRESOR GA75 VSD ATLAS COPCO | Optimo            | Si                                   | Eléctrico          | Eléctrico  | Funcionamiento Normal                                                                                | Ninguna                                                                                                                                         |
| 08-EQUIPOS DE APOYO                             | GRN-01        | GRANALLA DORA DE CILINDROS     | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Neumático  | Presenta desgaste en paredes internas de la cabina                                                   | Reemplazar las protecciones de las paredes que tienen desgaste                                                                                  |
| 08-EQUIPOS DE APOYO                             | HNO-01        | HORNO DE NORMALIZADO           | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Neumático  | El tablero eléctrico esta deteriorado, con la cámara térmica se observan fugas de radiación de calor | Programar reemplazo y actualización del tablero eléctrico, cambiar laminas aislantes deterioradas para reducir la radiación térmica al exterior |
| 09-PRENSAS                                      | PRE-01        | PRENSA HYDRAULICA H-54         | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Hidráulico | Presenta fugas de aceite hidráulico por las columnas guía de la prensa                               | Reemplazar los retenedores de las guías en las columnas                                                                                         |
| 09-PRENSAS                                      | PRE-02        | PRENSA ONA PRES                | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Hidráulico | Tablero eléctrico deteriorado                                                                        | Programar reemplazo y actualización del tablero eléctrico                                                                                       |
| 09-PRENSAS                                      | PRE-03        | PRENSA TACI                    | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Hidráulico | Tablero eléctrico                                                                                    | Programar reemplazo y                                                                                                                           |

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 28 de 68 |

| Informe de los equipos en la línea de cilindros |               |                             |                   |                                      |                    |                      |                                                                   |                                                           |
|-------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Cód/Proceso                                     | Código Equipo | Nombre del Activo           | Estado del Activo | Cuenta con Programa de Mantenimiento | Tipo de trabajo    | Sistema              | Diagnostico                                                       | Recomendaciones                                           |
|                                                 |               |                             |                   |                                      |                    |                      | deteriorado                                                       | actualización del tablero eléctrico                       |
| 09-PRENSAS                                      | PRE-07        | PRENSA FAGOR                | Optimo            | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Hidráulico/Neumático | Funcionamiento Normal                                             | Ninguna                                                   |
| 09-PRENSAS                                      | PRE-09        | PRENSA HIDRAULICA COHA      | Optimo            | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Hidráulico           | Funcionamiento Normal                                             | Ninguna                                                   |
| 09-PRENSAS                                      | PRE-11        | TROQUELA DORA STANKOIM PORT | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Neumático            | Funcionamiento Normal                                             | Ninguna                                                   |
| 10-ROLADORAS                                    | ROL-02        | ROLADORA DE BASES           | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Mecánico             | Tablero eléctrico deteriorado, presenta deterioro en los rodillos | Programar reemplazo y actualización del tablero eléctrico |
| 10-ROLADORAS                                    | ROL-03        | ROLADORA DE CUERPOS         | Aceptable         | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Neumático            | Funcionamiento Normal                                             | Aumentar la frecuencia de limpieza                        |
| 13-VALVULADORAS                                 | VAL-02        | VALVULADORA #2              | Optimo            | Si                                   | Eléctrica/Mecánica | Mecánico             | Funcionamiento Normal                                             | Aumentar la frecuencia de limpieza                        |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>29 de 68</b> |

## **CAPITULO 2**

### **2. ESTABLECER LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS EN LA LÍNEA DE CILINDROS DE LA EMPRESA COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSA, LOS AMEF (ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y EFECTOS), HAZOP (HAZARD AND OPERABILITY STUDY) O ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (AFO) DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS REQUERIDOS.**

#### **2.1. Definición del nivel de análisis.**

Las técnicas de jerarquización cualitativas basadas en el análisis de riesgo, son herramientas que se pueden utilizar para determinar la criticidad de los activos industriales del negocio. Estas técnicas permiten evaluar y conocer el nivel de importancia de los activos industriales considerando dos factores: frecuencia y consecuencias de los fallos y ayudan a los involucrados en los procesos de toma de decisiones a orientar de forma efectiva los recursos. [21]

El análisis de criticidad de activos es una evaluación y clasificación que refleja la magnitud de las consecuencias que resultan de la falla de un activo. Además, el análisis de criticidad de los activos puede incluir evaluaciones de impacto en el medio ambiente, la salud humana, la seguridad, la calidad, la producción y la reputación corporativa, siendo estos algunos de los criterios más usados a la hora de realizar la evaluación.

Cada compañía o planta de producción se comporta de diferente manera, existen infinitas variables que pueden alterar el comportamiento de los activos, como puede ser su ubicación geográfica, horas de trabajo al año, condiciones y parámetros de funcionamiento, entre otras. Si a esto se le suma la multitud de diferentes productos y servicios que se ofrecen actualmente en el mundo, imposibilita establecer los criterios bajo los cuales se realiza la evaluación, razón por la cual, diferentes autores proponen ciertos criterios generales que abarcan los puntos más importantes para tener en cuenta respecto a los activos, pero sugieren que se identifiquen y elijan los criterios más convenientes para la compañía a la cual se le está realizando el análisis.

Dado el tamaño de algunas plantas, es posible que el número de activos ascienda a una cifra muy alta, dificultando la evaluación y en general el análisis, por esto es necesario agrupar los activos y establecer relaciones para disminuir su número y facilitar la evaluación y el análisis.

La calificación de activos se realiza cuantitativa y cualitativamente, donde se reúne un grupo interdisciplinario con el fin de obtener diferentes puntos de vista, debido al impacto que tiene el análisis no solo en el área de mantenimiento sino también las otras áreas de la compañía. [12]

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>30 de 68</b> |

## 2.2. Definición de las criticidades

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados (generalmente) con: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo del mantenimiento e impacto de seguridad y medio ambiente. [15]

A continuación, definiremos los factores de criticidad para evaluar los activos de la empresa Comercial Industrial Nacional S.A.S. tomando como apoyo los artículos y tesis previamente estudiados y que sirvieron como una guía para desarrollar el análisis a los equipos críticos, de los cuales se tomó los apartados más relevantes y fueron orientados al caso de estudio para la empresa.

$$CRT = FF * C$$

**Ecuación 1** Criticidad total por riesgo. Fuente: [21]

Donde:

CRT: Criticidad total por riesgo.

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallos por año)).

C: Consecuencias de los eventos de fallos

La variable de consecuencias (C) la obtenemos a partir de la siguiente expresión.

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

**Ecuación 2** Ecuación de consecuencia (C). Fuente: [21]

Donde:

IO: Factor de impacto en la producción.

FO: Factor de flexibilidad operacional.

CM: Factor de costes de mantenimiento.

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>31 de 68</b> |

Finalmente, el modelo de priorización para la criticidad total por riesgo será la siguiente:

$$CRT = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

**Ecuación 3** Ecuación de criticidad total por riesgo que se desarrollará.

A continuación, definimos los factores ponderados de cada uno de los criterios por ser evaluados. [21]

**Tabla 10 Frecuencia de fallos FF. Fuente [21]**

| <b>Factor de Frecuencia de fallos (FF) – escala 1-4</b> |
|---------------------------------------------------------|
| 4: Frecuente – Mayor a 2 eventos al año                 |
| 3: Promedio – 1 y 2 eventos al año                      |
| 2: Bueno – Entre 0,5 y 1 evento al año                  |
| 1: Excelente – Menos de 0,5 evento al año               |

Es el número de veces que se repite un evento que se considera como una falla dentro en un período de tiempo.

**Tabla 11 Impacto Operacional (IO). Fuente [21]**

| <b>Factores de consecuencias o Impacto Operacional (IO) (Escala 1-10)</b> |
|---------------------------------------------------------------------------|
| 10: Pérdidas de producción superiores al 75%                              |
| 7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%                           |
| 5: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%                           |
| 3: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%                           |
| 1: Pérdidas de producción menor al 10%                                    |

Impacto operacional entiéndase como los efectos causados en la producción.

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>32 de 68</b> |

**Tabla 12 Flexibilidad Operacional (FO). Fuente [21]**

| <b>Factores Impacto por flexibilidad Operacional (FO) (Escala 1-4)</b>                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes                                |
| 2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios |
| 1: Se cuenta con unidades en línea, tiempos de reparación y logística pequeños                                                                  |

Flexibilidad operacional es definida como la posibilidad de hacer un cambio rápido para así continuar con la producción de la planta, sin lograr incurrir en pérdidas o costos.

**Tabla 13 Impacto en costes de mantenimiento (CM). Fuente [21]**

| <b>Factores Impacto en Costes de Mantenimiento (CM) (Escala 1-2)</b>        |
|-----------------------------------------------------------------------------|
| 2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 15 millones |
| 1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 15 millones |

Se toma todos los costos los cuales están implicados la labor de mantenimiento, apartando por otro lado los costos inherentes a los costos de producción que sufren una falla.

**Tabla 14 Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA). Fuente [21]**

| <b>Factores Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA/SEI) (Escala 1-8)</b>                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8: Riesgo alto de pérdidas de vida, daños graves a la salud del personal incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos                                    |
| 6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, incidente ambiental de difícil restauración                                                                           |
| 3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas |
| 1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales                                                                                             |

Se evalúan los posibles inconvenientes que puede ocasionar o causar sobre las personas o el medio ambiente.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>33 de 68</b> |

La metodología usada fue a través de una reunión, donde los diferentes integrantes del comité expresan sus opiniones, puntos de vista e inquietudes, sobre todos los criterios definidos previamente, y posteriormente califican cada activo. Dada la variedad en los criterios evaluados, es necesario que el grupo este compuesto por representantes de la mayor cantidad de áreas posibles, para abarcar efectivamente todos los puntos de vista. Finalmente se obtiene un valor para cada criterio y al final se calcula de acuerdo con la ecuación 2, cada resultado de los criterios y se obtiene un puntaje de criticidad para cada equipo.

La selección de los factores se realiza en el comité de mantenimiento celebrado el día 04 de febrero de 2022, con la participación de los líderes de los procesos de producción, mantenimiento, área administrativa, gestión de personas, coordinadora de HSE y la gerencia. Una vez socializado los niveles de criticidad, se toman los valores totales de los dos factores principales: frecuencia y consecuencia de los fallos para determinar una matriz de criticidad.

Se ubica el valor de frecuencia de fallos en el eje vertical y el valor de consecuencias en el eje horizontal, permitiéndonos jerarquizar el sistema en tres áreas de criticidad.

- ➔ Sistemas no críticos (NC)
- ➔ Sistemas de media criticidad (MC)
- ➔ Sistemas críticos (C)

El puntaje máximo para la variable consecuencias es de 50 puntos y para la variable de frecuencia de fallos es de 4 obteniendo el cálculo total de la criticidad en 200 puntos. De acuerdo con esta información el comité establece la matriz de criticidad. Ver anexo 04-Criticidad de Equipos\_CINSA.xlsx.

# CINSA

|           |                                          |
|-----------|------------------------------------------|
| <b>NC</b> | <b>Sistemas no críticos (NC)</b>         |
| <b>MC</b> | <b>Sistemas de media criticidad (MC)</b> |
| <b>C</b>  | <b>Sistemas críticos (C)</b>             |
| <b>NC</b> | "<40"                                    |
| <b>MC</b> | "=>40 Y <120"                            |
| <b>C</b>  | "=>120"                                  |

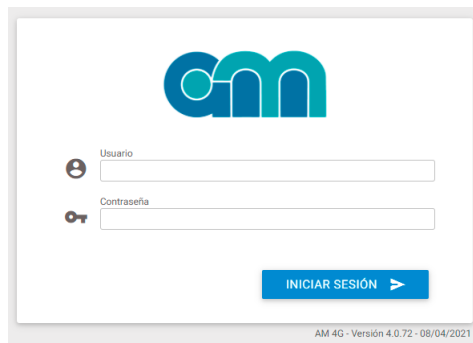
**Tabla 16 Matriz de criticidad para los equipos. Fuente: CINSA**

| MATRIZ DE CRITICIDAD EN LA FABRICACION DE CILINDROS                                                                                                                                                                                                                  |                            |    |                          |     |     |     |    |                                   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--------------------------|-----|-----|-----|----|-----------------------------------|--|
| <div></div> |                            |    | PROCESO DE MANTENIMIENTO |     |     |     |    | Codigo:                           |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                            |    | MATRIZ DE CRITICIDAD     |     |     |     |    | Version: 01                       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                            |    |                          |     |     |     |    |                                   |  |
| Categoría de Frecuencia                                                                                                                                                                                                                                              | 4                          | 40 | 80                       | 120 | 160 | 200 | NC | Sistemas no críticos (NC)         |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3                          | 30 | 60                       | 90  | 120 | 150 | MC | Sistemas de media criticidad (MC) |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2                          | 20 | 40                       | 60  | 80  | 100 | C  | Sistemas críticos (C)             |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1                          | 10 | 20                       | 30  | 40  | 50  | NC | "<40"                             |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      | Categoría de Consecuencias | 10 | 20                       | 30  | 40  | 50  | MC | "=>40 Y <120"                     |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                            |    |                          |     |     |     | C  | "=>120"                           |  |

|                                                                                   |                                                                                 |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | Página | 35 de 68 |

### 2.3. Cálculo de nivel de criticidad

Para el cálculo de la criticidad de los equipos se analizó la información suministrada por el área de mantenimiento obtenida a través de la aplicación usada para administrar los activos de la compañía llamado AM (Administrador de Mantenimiento), de los dos últimos años (2020 y 2021).



**Ilustración 2 Acceso a la plataforma del AM (Administrador de Mantenimiento). Fuente: CINSA**

AM - Google Chrome

No seguro | amcinsa.insa.local:8080/AM4G/src/Home/router.html

Infraestructura

Activos

Almacén

Kárdex

Programas

Solicitudes

Paros

Órdenes

Historia

Administración

Historia

| Número OT | Descripción OT                                                       | Código AC      | CR              | Responsable                | Indicadores | Estado | Prioridad |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------|-------------|--------|-----------|
| 2017-889  | INSTALACION DE TUBERIA DE DESAGUE DE LA CUBIERTA DE LINEA DE TANQUES | INFRA-CINSA #2 | SERVICIOS EXTE. | PICMA SERVICIOS S.A.S.     |             | CE     | 3         |
| 2017-198  | REALIZAR CAMBIO DE ELECTROVALVULA DEL DISPOSITIVO CIRCULAR           | C-DSC-02       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 1         |
| 2017-197  | REVISAR DISPOSITIVO LONGITUDINAL, TONILLOS BASE DE FUNDENTE          | C-DSL-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 1         |
| 2017-196  | REVISAR DISPOSITIVO DEL PUENTE GRUA FAGOR                            | C-POL-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 1         |
| 2017-176  | REALIZAR LAVADO DE TANQUES DE PV'S                                   | INFRA-CINSA #1 | PRODUCCION      | OPERARIO DE PRODUCCION ... |             | CE     | 1         |
| 2016-999  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-DSA-01       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-998  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-DSA-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-997  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-GES-37       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-996  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-GES-37       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-995  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-DEN-04       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-994  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-DEN-04       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-993  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-RBC-01       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-992  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-RBC-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-991  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-RBT-01       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-990  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-RBT-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-989  | REVISAR EQUIPO DE SOLDADURA DE BASES                                 | C-SBA-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 3         |
| 2016-989  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-GRN-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-988  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-GRN-01       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-987  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-VAL-02       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 3         |
| 2016-986  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-VAL-02       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 3         |
| 2016-985  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-VAL-01       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 3         |
| 2016-984  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-VAL-01       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 3         |
| 2016-983  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-ROL-03       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-982  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-ROL-03       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-981  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-ROL-02       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-980  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO                          | C-ROL-02       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-98   | REVISION DER CABLE Y MODULO DE PISTOLA MATCH JET SUPERIOR            | C-EPC-01       | MANTENIMIENTO   | LEONARDO ANTONIO IBARRA    |             | CE     | 3         |
| 2016-979  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-PRE-12       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |
| 2016-978  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-PRE-12       | MANTENIMIENTO   | JHON EDER HERNANDEZ BE...  |             | CE     | 2         |
| 2016-977  | REALIZAR RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO                          | C-PRE-10       | MANTENIMIENTO   | FRANK ALEXIS GUALDRON ...  |             | CE     | 2         |

Registros por página: 100

- 100 de 397 / 32621

» Primera Página

« Anterior

1

Siguiente

**Ilustración 3 base de registros de las ordenes de trabajo almacenadas en la plataforma AM. Fuente: CINSA**

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 36 de 68 |

La base consultada arroja 32.621 órdenes de trabajo para el periodo de años 2020 al 2021, de las cuales resumimos en los siguientes reportes tomados de la plataforma AM que fueron el soporte para determinar la criticidad de los equipos.



Gráfico-Pareto-Mayor Número De Actividades

AM 4G-Administrador de Mantenimiento

Página 1 de 1

February 21, 2022

| Código       | Descripción                              | Número de Actividades |    |    |       | Horas Hombre |      |      | HH TOTAL | Tiempo Improd. Total | Gasto Total      |
|--------------|------------------------------------------|-----------------------|----|----|-------|--------------|------|------|----------|----------------------|------------------|
|              |                                          | OT                    | SS | PA | Total | OT           | SS   | PA   |          |                      |                  |
| SER-CINSA #2 | SERVICIOS DE LINEA DE TANQUES            | 57                    | 0  | 0  | 57    | 10.50        | 0.00 | 0.00 | 10.50    | 94.16                | \$ 1,006,948.10  |
| C-BPH-02     | BANCO PRUEBA HIDROSTATICA #2             | 21                    | 0  | 0  | 21    | 8.50         | 0.00 | 0.00 | 8.50     | 9.91                 | \$ 2,138,132.25  |
| SER-CINSA #1 | SERVICIOS DE LINEA CILINDROS             | 18                    | 0  | 0  | 18    | 6.17         | 0.00 | 0.00 | 6.17     | 115.01               | \$ 1,743,167.85  |
| C-MNT-01     | MONTACARGAS #1                           | 15                    | 0  | 0  | 15    | 4.00         | 0.00 | 0.00 | 4.00     | 3,712.66             | \$ 9,849,025.12  |
| C-DSL-02     | DISPOSITIVO DE SOLDADURA LONGITUDINAL #2 | 12                    | 0  | 0  | 12    | 6.42         | 0.00 | 0.00 | 6.42     | 74.67                | \$ 542,283.01    |
| C-DSC-03     | DISPOSITIVO DE SOLDADURA CIRCULAR #3     | 11                    | 0  | 0  | 11    | 1.17         | 0.00 | 0.00 | 1.17     | 9.66                 | \$ 1,386,522.50  |
| C-REB-04     | REBORDEADORA DE TAPAS COHA               | 10                    | 0  | 0  | 10    | 1.50         | 0.00 | 0.00 | 1.50     | 697.50               | \$ 1,048,634.26  |
| C-PRE-10     | PRENSA HIDRAULICA DOBLE PIGRABADO        | 10                    | 0  | 0  | 10    | 2.50         | 0.00 | 0.00 | 2.50     | 365.50               | \$ 2,344,971.05  |
| C-EPC-01     | EQUIPO DE PINTURA ELECTROSTATICA         | 10                    | 0  | 0  | 10    | 9.00         | 0.00 | 0.00 | 9.00     | 27.41                | \$ 2,710,212.38  |
| C-MNT-02     | MONTACARGAS #2                           | 9                     | 0  | 0  | 9     | 4.00         | 0.00 | 0.00 | 4.00     | 662.63               | \$ 13,143,627.44 |
| C-SBA-01     | SOLDADURA DE BASES #1                    | 9                     | 0  | 0  | 9     | 1.00         | 0.00 | 0.00 | 1.00     | 131.63               | \$ 699,595.28    |
| C-SBA-02     | SOLDADURA DE BASES #2                    | 9                     | 0  | 0  | 9     | 2.50         | 0.00 | 0.00 | 2.50     | 120.67               | \$ 1,140,239.40  |
| TOTALES      |                                          |                       |    |    | 191   |              |      |      | 57.26    | 6,041.81             | \$37,753,358.64  |

### MAYOR NÚMERO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

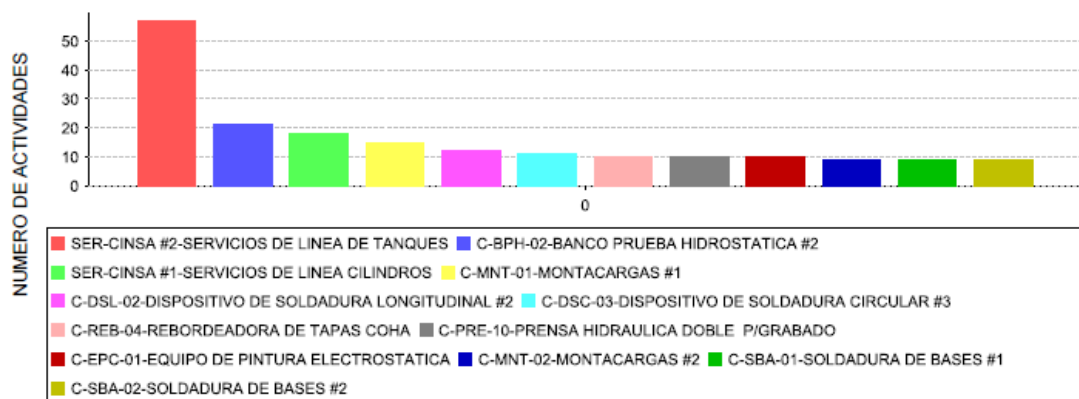


Gráfico 7 Pareto del mayor número de actividades correctivas registradas en la plataforma del AM. Fuente: CINSA -AM

Para el periodo consultado se obtuvieron un total de 191 órdenes de trabajo correctivas que una vez analizadas se detectó que el área de mantenimiento estaba registrando actividades correctivas que realmente no lo eran llevando a que el informe tuviera una desviación de lo realmente presentado, se planteó una acción de mejora que consiste en capacitar y reforzar a los técnicos y en especial al planeador para que registre correctamente las ordenes de trabajo.

|                                                                                   |                                                                                 |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | Página | 37 de 68 |

De los equipos analizados se puede observar que el equipo de pintura electrostática, el banco de prueba hidrostática, el dispositivo de soldadura longitudinal y el dispositivo de soldadura circular, han tenido acciones correctivas frecuentes en el periodo consultado y que hacen parte de los equipos de la línea de cilindros; de estos equipos solo el de pintura electrostática no cuenta con un equipo de respaldo elevando su criticidad.

### Gráfico-Pareto-Mayor Gasto Total Mantenimeinto

AM 4G-Administrador de Mantenimiento

Página 1 de 1

February 21, 2022

| Código         | Descripción                               | Número de Actividades |    |    | Horas Hombre |       |      | HH TOTAL | Tiempo    |       | Gasto Total      |
|----------------|-------------------------------------------|-----------------------|----|----|--------------|-------|------|----------|-----------|-------|------------------|
|                |                                           | OT                    | SS | PA | OT           | SS    | PA   |          | Improd.   | Total |                  |
| SER-CINSA #4   | SERVICIOS DE MANTENIMIENTO                | 38                    | 0  | 0  | 133.00       | 0.00  | 0.00 | 133.00   | 2,983.25  |       | \$ 38,455,899.28 |
| SER-CINSA #1   | SERVICIOS DE LINEA CILINDROS              | 55                    | 12 | 0  | 62.67        | 30.12 | 0.00 | 92.79    | 817.55    |       | \$ 33,631,284.83 |
| C-EPC-01-HN    | HORNO INFRARROJO                          | 10                    | 0  | 0  | 1.00         | 0.00  | 0.00 | 1.00     | 86.16     |       | \$ 20,198,906.80 |
| INFRA-CINSA #2 | INFRAESTRUCTURA TANQUES                   | 6                     | 0  | 0  | 8.00         | 0.00  | 0.00 | 8.00     | 948.50    |       | \$ 19,153,407.05 |
| C-EPC-01       | EQUIPO DE PINTURA ELECTROSTATICA          | 50                    | 1  | 0  | 527.50       | 1.00  | 0.00 | 528.50   | 35.58     |       | \$ 18,449,619.17 |
| C-GRN-01       | GRANALLADORA DE CILINDROS                 | 42                    | 0  | 0  | 58.51        | 0.00  | 0.00 | 58.51    | 91.67     |       | \$ 14,808,363.83 |
| C-MNT-02       | MONTACARGAS #2                            | 19                    | 0  | 0  | 4.11         | 0.00  | 0.00 | 4.11     | 675.61    |       | \$ 13,588,994.99 |
| C-COM-02       | COMPRESOR #2                              | 37                    | 0  | 0  | 5.50         | 0.00  | 0.00 | 5.50     | 4,597.24  |       | \$ 10,788,733.51 |
| C-MNT-01       | MONTACARGAS #1                            | 74                    | 0  | 0  | 16.08        | 0.00  | 0.00 | 16.08    | 3,924.00  |       | \$ 10,472,177.90 |
| C-DSA-01       | DISPOSITIVO TORRE DE ARCO #1              | 37                    | 0  | 0  | 123.25       | 0.00  | 0.00 | 123.25   | 752.83    |       | \$ 7,581,123.38  |
| MTO-LUB        | ROUTA DE LUBRICACION                      | 62                    | 0  | 0  | 672.00       | 0.00  | 0.00 | 672.00   | 0.00      |       | \$ 7,410,114.20  |
| MTO-AAC        | RUTINA MANTENIMIENTO AIRES ACONDICIONADOS | 5                     | 0  | 0  | 3.00         | 0.00  | 0.00 | 3.00     | 27.58     |       | \$ 8,305,896.00  |
| TOTALES        |                                           |                       |    |    |              |       |      | 1,645.74 | 14,949.97 |       | \$198,836,320.52 |

### MAYOR GASTO TOTAL DE MANTENIMIENTO

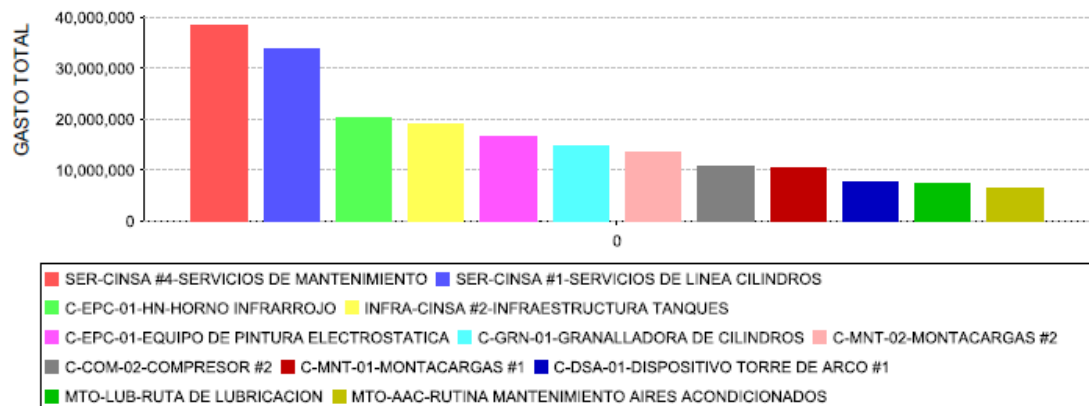


Gráfico 8 Pareto del mayor gasto por activos registrados en la plataforma del AM, fuente: Cinsa-AM.

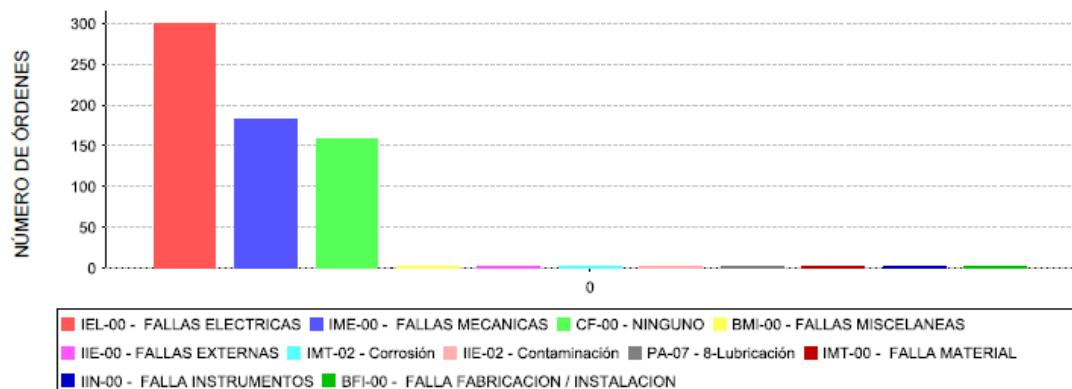
Para el costo de mantenimiento a los equipos analizados, se obtuvo que el horno infra rojo que es una parte integral del equipo de pintura electrostática ha tenido una considerable partida en el gasto para la empresa teniendo una suma entre los dos de \$36.646.525, en el periodo

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>38 de 68</b> |

consultado. Otro activo para considerar es la granalladora de cilindros y el compresor de aire, que hacen parte de los equipos de la línea de cilindros.

| <br>Cinsa<br>CINSA CUCUTA<br>HMI-GOTF |                                 | Gráfico-Pareto-Mayor Número De Causas De Fallas<br>AM 4G-Administrador de Mantenimiento<br>Página 1 de 1<br>February 21, 2022 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Código                                                                                                                 | Descripción                     | Total Ordenes                                                                                                                 |
| IEL-00                                                                                                                 | FALLAS ELECTRICAS               | 299                                                                                                                           |
| IME-00                                                                                                                 | FALLAS MECANICAS                | 183                                                                                                                           |
| CF-00                                                                                                                  | NINGUNO                         | 158                                                                                                                           |
| BMI-00                                                                                                                 | FALLAS MISCELANEAS              | 1                                                                                                                             |
| IIE-00                                                                                                                 | FALLAS EXTERNAS                 | 1                                                                                                                             |
| IMT-02                                                                                                                 | Corrosión                       | 1                                                                                                                             |
| IIE-02                                                                                                                 | Contaminación                   | 1                                                                                                                             |
| PA-07                                                                                                                  | 8-Lubricación                   | 1                                                                                                                             |
| IMT-00                                                                                                                 | FALLA MATERIAL                  | 1                                                                                                                             |
| IIN-00                                                                                                                 | FALLA INSTRUMENTOS              | 1                                                                                                                             |
| BFI-00                                                                                                                 | FALLA FABRICACION / INSTALACION | 1                                                                                                                             |
| TOTALES                                                                                                                |                                 | 648                                                                                                                           |

### NÚMERO DE ÓRDENES POR TIPO DE FALLA



**Gráfico 9 Pareto del mayor número de causas de falla presentadas en los activos registrados en la plataforma AM. Fuente: CINSA -AM.**

El informe “Número de causas de fallas”, se consideró importante analizar fue los tipos de fallas presentados en este periodo independiente de su activo registrado.

El informe nos arrojó que el mayor número de causas de las fallas son eléctricas seguidas por las fallas mecánicas, lo que nos permite diagnosticar y tener en el radar al equipo prensa Fagor que de acuerdo con el diagnóstico inicial y su ficha técnica es un equipo complejo y de gran dependencia de automatismos eléctricos y electrónicos haciéndolo notar entre los equipos que

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>39 de 68</b> |

destacarían su criticidad, debido al indicador de causas de fallas registrados en la plataforma AM.

Después de analizada la información se tabulo el archivo Excel 04-Criticidad de Equipos Cinsa.xlsx (hoja: CALCULO CRITICIDAD DE EQUIPOS), donde se registró la matriz de criticidad para los equipos de la línea de cilindros, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 17 Cálculo de criticidad con la matriz definida para los equipos de la línea de cilindros. Fuente: Cinsa**

|                                                 |                            | PROCESO DE MANTENIMIENTO                        |                               |                           |                                            |                        |                  |                  | Codigo:          |
|-------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                 |                            | MATRIZ DE CRITICIDAD EQUIPOS DE LINEA CILINDROS |                               |                           |                                            |                        |                  |                  | Version: 01      |
| EQUIPO/MAQUINA                                  | SUB-SISTEMA                | Impacto Operacional (IO)                        | Flexibilidad Operacional (FO) | Costos Mantenimiento (CM) | Impacto Seguridad Higiene y Ambiente (SHA) | Frecuencia Fallos (FF) | Consecuencia (C) | CRITICIDAD (CRT) | CRITICIDAD       |
| DISPOSITIVO DE SOLDADURA TAPA PROTECTOR -DST-01 | 05- DISPOSITIVO ENSAMBLE   | 5                                               | 2                             | 1                         | 1                                          | 1                      | 12,0             | 12,0             | NO CRITICO       |
| DISPOSITIVO DE SOLDADURA CIRCULAR -DSC-02       | 06- SOLDADURA CIRCULAR     | 10                                              | 1                             | 2                         | 1                                          | 3                      | 13,0             | 39,0             | NO CRITICO       |
| DISPOSITIVO DE SOLDADURA LONGITUDINAL -DSL-02   | 07- SOLDADURA LONGITUDINAL | 10                                              | 1                             | 2                         | 1                                          | 3                      | 13,0             | 39,0             | NO CRITICO       |
| BANCO DE PRUEBA HIDROSTATICA -BPH-03            | 08- EQUIPOS DE APOYO       | 10                                              | 1                             | 2                         | 3                                          | 3                      | 15,0             | 45,0             | MEDIA CRITICIDAD |
| EQUIPO DE PINTURA ELECTROSTATICA -EPC-01        | 08- EQUIPOS DE APOYO       | 10                                              | 4                             | 2                         | 3                                          | 4                      | 45,0             | 180,0            | CRITICO          |
| COMPRESOR GA75 VSD ATLAS COPCO -COM-02          | 08- EQUIPOS DE APOYO       | 7                                               | 1                             | 1                         | 1                                          | 2                      | 9,0              | 18,0             | NO CRITICO       |

La tabla 17, constituye una herramienta valiosa para el área de mantenimiento que constituirá una ruta que enfocará los programas de mantenimientos y el criterio de repuestos para disminuir el riesgo de la operación por la no disponibilidad de los equipos en la línea de cilindros.

|                                                                                   |                                                                                 |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | Página | 40 de 68 |

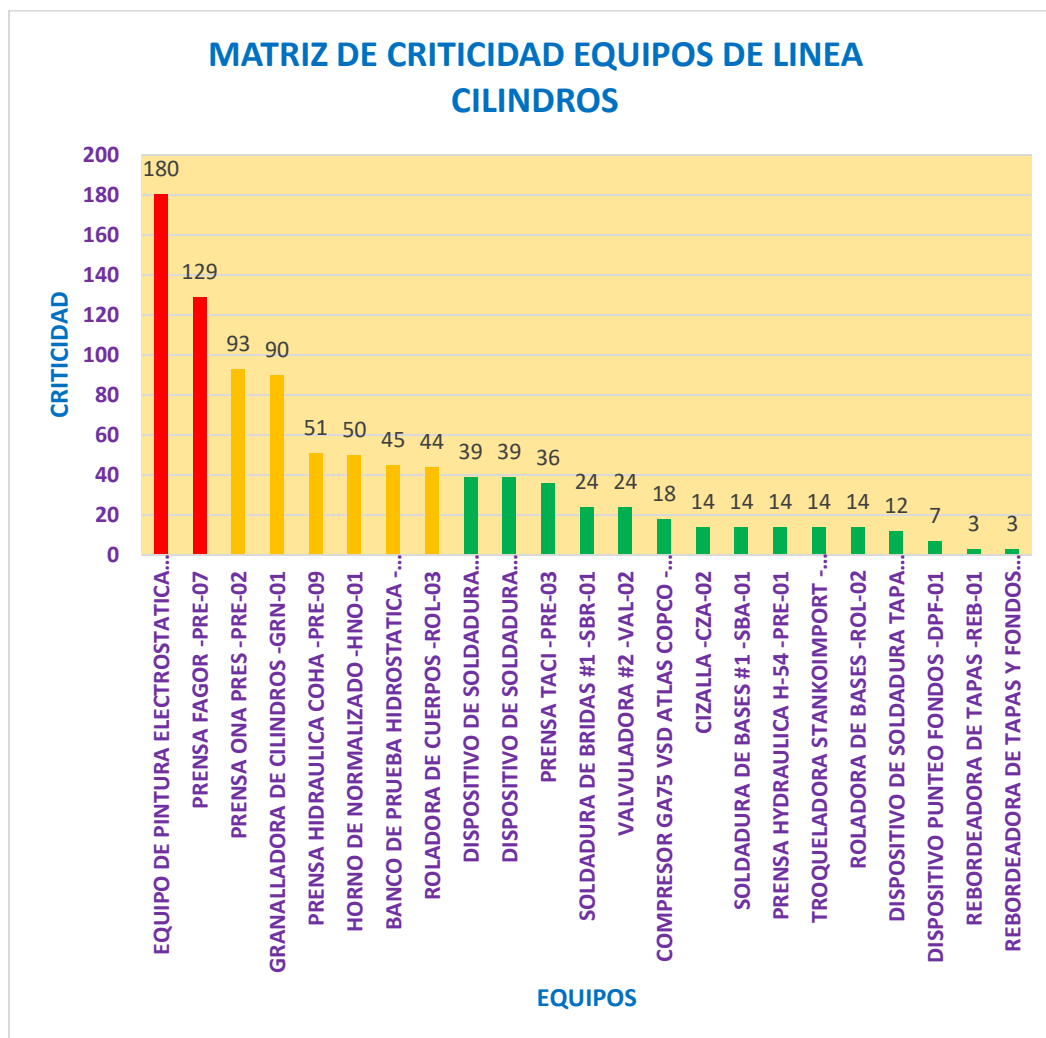


Gráfico 10 Matriz de criticidad para los equipos de la línea de cilindros. Fuente: propia

El resultado del análisis de acuerdo con la matriz de criticidad y los valores definidos en la tabla 15, nos indica que los equipos críticos para la línea de cilindros son:

- ➔ Equipo de pintura electrostática EPC-01
- ➔ Prensa Fagor PRE-07

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>41 de 68</b> |

Es importante resaltar que de los resultados obtenidos del análisis de criticidad a los 23 equipos de la línea de cilindros sometidos a la evaluación y diagnóstico deberán ser sometidos por parte de la empresa a un proyecto de optimización de la confiabilidad operacional y aplicar de forma adecuada los métodos de la Ingeniería de Confiabilidad como MCC. Esto con el objeto de mejorar aspectos técnicos como la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, minimizando el impacto de las consecuencias de los modos de fallos sobre la seguridad, el ambiente y la producción y por último optimizando de forma integral los costos de la operación y mantenimiento.

#### **2.4. Establecimiento de los modos potenciales de falla.**

La función principal del AMFEC o FMECA es la de organizar las tareas proactivas y reactivas de mantenimiento que se deben ejecutar después de haber realizado exhaustivamente el análisis de todos los modos de fallo de la planta, instalación, sistema, equipo o componente.

El método procedimental del AMFEC o FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de falla que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos por evaluar con el procedimiento. Por su parte la función del RPN es jerarquizar los modos de falla con el objetivo de proponer cada una de las tareas de mantenimiento en los diferentes elementos del equipo, con el fin de priorizar los esfuerzos donde más se requiera de acuerdo con el riesgo que conlleva la falla.

Cada falla que se pueda presentar en una planta de proceso representa un riesgo potencial, por lo cual es esencial entender cómo se presenta, entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones proactivas y/o reactivas. En este caso, las acciones son tareas de mantenimiento.

Estas acciones, son derivadas del proceso de análisis de modos de falla, de manera que a cada modo de falla le corresponde una tarea. Podemos definir entonces un modo de falla, como la forma en que un equipo o activo falla. Es importante para el entendimiento de la falla, poder identificar los dos diferentes estados de falla que se pueden presentar:

1. Aquel estado de falla, en el cual un activo simplemente deja de funcionar.
2. Aquel estado en el cual el activo no desempeña su función conforme a un estándar de desempeño deseado o bien, conforme a las necesidades que el usuario tiene, pero no necesariamente deja de funcionar, esta es la condición más importante de este estudio y se denomina “falla funcional”, así, una falla será aquella que evita que un activo desempeñe su

|                                                                                   |                                                                                    |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | 42 de 68 |

función conforme a un estándar de desempeño definido. [18]

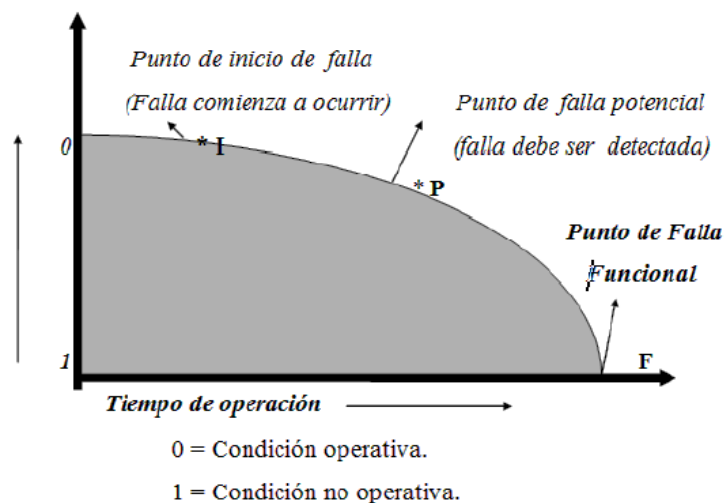
Por lo expresado anteriormente, se deduce que el objetivo básico del AMFEC o FMECA, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de las fallas en función de tres criterios básicos: seguridad humana, ambiente y operaciones (producción). Para poder cumplir con este objetivo, se debe realizar el AMFEC o FMECA en consecuencia de: Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución. Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo. Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional. Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de falla. [18]

**Función** es el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico.

**Falla de función** es el suceso que no permite que el activo alcance el funcionamiento de manera satisfactoria.

**Modo de falla** es la forma en que puede fallar el activo.

**Efectos de la falla** es la consecuencia que traerá un modo de falla en el contexto operacional.



**Gráfico 11** Curva del comportamiento de fallas. Fuente: [18]

En el gráfico 11, se muestra como una falla comienza a ocurrir (punto de inicio "I", muchas veces

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>43 de 68</b> |

este punto no puede ser detectado), incrementado su deterioro hasta el punto en el cual la falla puede ser detectado (punto de falla potencial “P”). Si en este punto la falla no es detectada y corregida, continúa aumentando su deterioro (usualmente de forma acelerada) hasta que alcanza el punto donde se produce la falla funcional (punto “F”, el activo ha dejado de cumplir su función).

**Tabla 18 análisis AMFEC de los equipos de la empresa Comercial Industrial Nacional SAS. Fuente: Propia.**

|  |                                             | PROCESO DE MANTENIMIENTO                    |                                                                |     |                                                                          |       |                                                                        | Código:                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   |                                             | MATRIZ DE MODOS DE FALLO A EQUIPOS CRITICOS |                                                                |     |                                                                          |       |                                                                        | Version: 01                                                                               |
| EQUIPO                                                                            | SUB-SISTEMA                                 | ID                                          | FUNCIÓN                                                        | ID  | FALLA FUNCIONAL                                                          | ID    | MODO DE FALLA                                                          | CONSECUENCIA DE LA FALLA                                                                  |
| EQUIPO DE PINTURA ELECTROSTATICA- EPC-01                                          | Sistema robotizado de aplicación de pintura | 1                                           | Energizar el tablero de control                                | 1.1 | La Cabina no enciende                                                    | 1.1.1 | Stop de emergencia activo                                              | No enciende el equipo                                                                     |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 1.1.2 | Corto circuito o sobrecorriente                                        | No enciende el equipo, fusibles dañados                                                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 1.1.3 | Fase invertida activada por cambio de fase en la acometida eléctrica   | Bloquea el equipo no enciende, hasta que se corrija el error                              |
|                                                                                   |                                             | 2                                           | Eliminar el exceso de pintura en la cabina de pintura          | 2.1 | Los filtros no estan absorbiendo correctamente las partículas de pintura | 2.1.1 | Saturación de los filtros de pintura                                   | No se recolecta correctamente la pintura en polvo, generando una nube de polvo de pintura |
|                                                                                   | Sistema de aplicación de Pintura en polvo   | 3                                           | Sistema y regulación de aire comprimido a la cabina de pintura | 3.1 | No hay calibración de presión de aire requerida                          | 3.1.1 | Fallas en el ventilador                                                | No se genera la presión de aire necesaria para el equipo                                  |
|                                                                                   |                                             | 4                                           | Sistema neumático, para filtros de la cabina y granalladora    | 4.1 | Las electroválvulas dejan pasar el aire y no sellan                      | 4.1.1 | Falla en el regulador del aire                                         | No limpia correctamente los filtros de pintura                                            |
|                                                                                   |                                             | 5                                           | Aplicar Pintura en polvo por Turbinas/Pistolas                 | 5.1 | El polvo no sale por la pistola SAMES                                    | 5.1.1 | Caudal de Inyección de aire Insuficiente                               | No sale correctamente la pintura y esta no se aplica bien el las partes                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.1.2 | Caudal de aire insuficiente suministrado por la red de aire comprimido | No sale correctamente la pintura y esta no se aplica bien el las partes                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.1.3 | El tubo de transporte de polvo esta obstruido                          | No sale correctamente la pintura y esta no se aplica bien el las partes                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.1.4 | La bomba de polvo no esta correctamente conectada a su soporte         | No sale correctamente la pintura y esta no se aplica bien el las partes                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.2.1 | El eyector "Venturi" de la bomba de polvo esta desgastado              | Se da una mala aplicación de pintura                                                      |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.2.2 | El tubo de transporte de polvo esta parcialmente obstruido             | No sale buen caudal de pintura en polvo                                                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.2.3 | Caudal de aire de dilución demasiado o no lo suficientemente elevado.  | No sale buen caudal de pintura en polvo                                                   |
|                                                                                   |                                             |                                             |                                                                |     |                                                                          | 5.2.4 | Configuración incorrecta del CS237                                     | No funciona la aplicación de pintura en polvo                                             |

En la tabla 18, del archivo anexo en Excel (05-Tabla AMEF.xlsx), se encuentra el análisis de los

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>44 de 68</b> |

modos de fallos de los equipos críticos AMFEC para la empresa CINSA, las funciones fueron emitidas por el personal técnico de mantenimiento y en el contexto operacional donde están los equipos prestando servicio.

Los equipos analizados fueron los identificados en la matriz de criticidad, Tabla 17:

- ➔ Equipo de pintura electrostática EPC-01
- ➔ Prensa Fagor PRE-07

## 2.5. Determinación de grado de severidad, Ocurrencia y Detección

### Numero de Prioridad de Riesgo (NPR)

A partir de la tabla de análisis de modos de fallo, efectos y criticidad, se establece un número de prioridad de riesgo, NPR, para cada modo de falla, definiendo así una prioridad entre cada uno de ellos. Este NPR estará dado producto de la probabilidad de ocurrencia (O), la severidad de la consecuencia (S) y la probabilidad de detección (D) de dicho modo de fallo. [20]

$$NPR = S * O * D$$

**Ecuación 4 Ecuación para calcular NPR (Número de prioridad de riesgo)**

- S: Severidad
- O: Ocurrencia
- D: Detección

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 45 de 68 |

**Severidad:** se establece de la cuantificación de la gravedad del efecto del modo de falla de manera estimada para la cual se ha determinado de acuerdo con el impacto del costo de TPPR (tiempo promedio para reparar) y IP (Impacto en producción), definidos en la tabla 18.

Tabla 19 Criterio para puntuar la severidad, teniendo en cuenta la Norma SAE J1739. Fuente: propia, [18] y [20]

| <b>Severidad</b>                                |               |
|-------------------------------------------------|---------------|
| <b>Criterio: Costo resultante del TPPR x IP</b> | <b>Escala</b> |
| Más \$12.001.000                                | 10            |
| Entre \$8.001.000 y \$12.000.000                | 9             |
| Entre \$5.001.000 y \$8.000.000                 | 8             |
| Entre \$3.001.000 y \$5.000.000                 | 7             |
| Entre \$2.001.000 y \$3.000.000                 | 6             |
| Entre \$1.501.000 y \$2.000.000                 | 5             |
| Entre \$1.001.000 y \$1.500.000                 | 4             |
| Entre \$501.000 y \$1.000.000                   | 3             |
| Entre \$101.000 y \$500.000                     | 2             |
| Entre \$0 y \$100.000                           | 1             |

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>46 de 68</b> |

**Ocurrencia:** es la probabilidad cuantificada en un valor de que alguna falla ocurra cada una cierta cantidad de días.

Tabla 20 Criterio para cuantificar la Ocurrencia, teniendo en cuenta la Norma SAE J1739. Fuente: propia, [18] y [20]

| <b>Ocurrencia</b>                                                 |               |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Criterio: Frecuencia de fallas representadas en una Escala</b> | <b>Escala</b> |
| <b>Diario</b>                                                     | <b>10</b>     |
| <b>2 x Semana</b>                                                 | <b>9</b>      |
| <b>Semanal</b>                                                    | <b>8</b>      |
| <b>Quincenal</b>                                                  | <b>7</b>      |
| <b>Mensual</b>                                                    | <b>6</b>      |
| <b>Bimensual</b>                                                  | <b>5</b>      |
| <b>Trimensual</b>                                                 | <b>4</b>      |
| <b>Semestral</b>                                                  | <b>3</b>      |
| <b>Anual</b>                                                      | <b>2</b>      |
| <b>Menos de 1 anual</b>                                           | <b>1</b>      |

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 47 de 68 |

**Detección:** se determina como la probabilidad de encontrar una falla en función de los controles que detectan los modos de falla.

Tabla 21 Criterio para determinar la detección de la falla, teniendo en cuenta la Norma SAE J1739. Fuente: propia, [18] y [20]

| <b>Detección</b>          |                                                                                                       |               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Detección</b>          | <b>Criterio: Probabilidad de la prueba conducida detecte anomalías antes que la falla se presente</b> | <b>Escala</b> |
| <b>Casi Imposible</b>     | Prueba detecta < 60% de las fallas                                                                    | <b>10</b>     |
| <b>Muy Remota</b>         | Prueba debe detectar 60% de las fallas                                                                | <b>9</b>      |
| <b>Remota</b>             | Prueba debe detectar 65% de las fallas                                                                | <b>8</b>      |
| <b>Muy Baja</b>           | Prueba debe detectar 70% de las fallas                                                                | <b>7</b>      |
| <b>Baja</b>               | Prueba debe detectar 75% de las fallas                                                                | <b>6</b>      |
| <b>Moderada</b>           | Prueba debe detectar 80% de las fallas                                                                | <b>5</b>      |
| <b>Altamente Moderada</b> | Prueba debe detectar 85% de las fallas                                                                | <b>4</b>      |
| <b>Alta</b>               | Prueba debe detectar 88% de las fallas                                                                | <b>3</b>      |
| <b>Muy Alta</b>           | Prueba debe detectar 93% de las fallas                                                                | <b>2</b>      |
| <b>Casi seguro</b>        | Prueba debe detectar 98% de las fallas                                                                | <b>1</b>      |

En el archivo anexo en Excel (*05-Tabla AMEF.xlsx*), hoja (*"Tablas calculo NPR"*). Encontramos las tablas creadas con el personal técnico de mantenimiento y de acuerdo con el análisis tomado de la aplicación para mantenimiento AM usado por la empresa CINSA.

La jerarquización del riesgo tiene como finalidad identificar aquellos modos de falla que tienen un mayor impacto en la seguridad de la instalación. La jerarquización, mencionada en la metodología como "criticidad", consiste en calificar la frecuencia de ocurrencia del modo de falla,

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>48 de 68</b> |

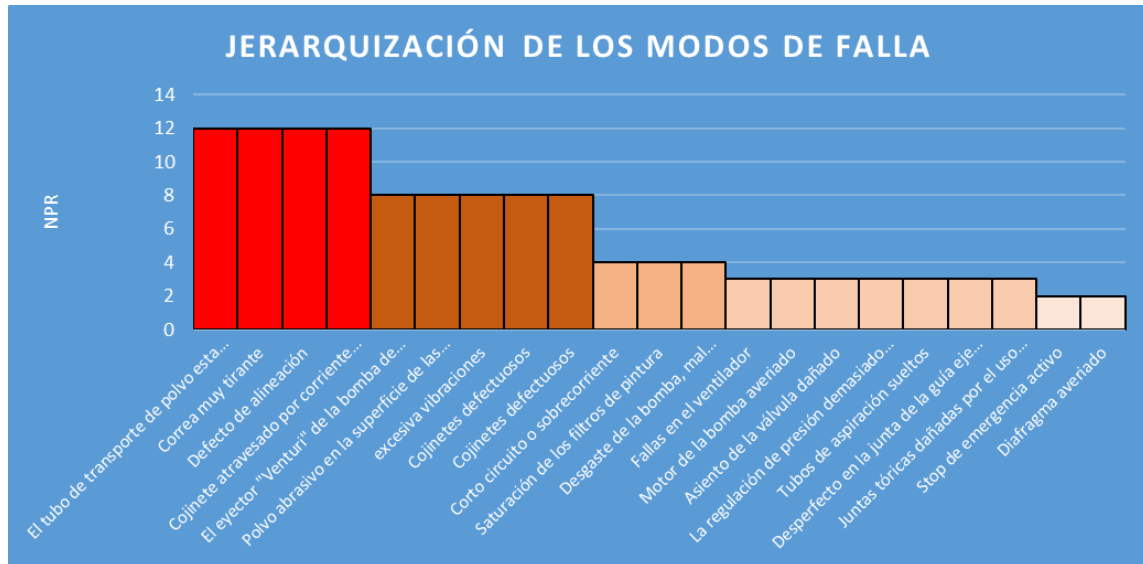
por sus consecuencias, en este caso, el valor mayor de la categoría de consecuencia es el mandatorio. Con los resultados, el riesgo es ordenado en función del mayor al menor. [8]

Tabla 22 Jerarquización de los modos de falla de los equipos críticos para la empresa Cinsa. Fuente: propia

|  |                   | MATRIZ DE CRITICIDAD PARA OBTENER NPR DE LOS EQUIPOS DE LINEA CILINDROS       |                                                   |           |            |           | Version: 01 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| EQUIPO                                                                            | SUB-SISTEMA       | FUNCION                                                                       | MODO POTENCIAL DE FALLO TÍPICO                    | SEVERIDAD | OCURRENCIA | DETECCIÓN | NPR         |
|                                                                                   | Sistema Eléctrico | Arrancar el sistema de levas en la prensa                                     | Carga Excesiva                                    | 1         | 1          | 1         | 1           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Motor con escobillas fuera de la zona neutra      | 1         | 1          | 2         | 2           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Sobrecarga de corriente                           | 1         | 1          | 1         | 1           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Insuficiencia del ventilador                      | 1         | 1          | 1         | 1           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Tapas del colector abiertas o mal cerradas        | 1         | 1          | 1         | 1           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Porta escobilla fuera del punto neutro            | 1         | 1          | 2         | 2           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Excesivo consumo en vacío                         | 1         | 1          | 1         | 1           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Polvo abrasivo en la superficie de las escobillas | 2         | 2          | 2         | 8           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | excesiva vibraciones                              | 2         | 2          | 2         | 8           |
|                                                                                   |                   | Motores de corriente directa funcionamiento del devanado y cargue de material | Correa muy tirante                                | 2         | 2          | 3         | 12          |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Defecto de alineación                             | 2         | 2          | 3         | 12          |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Cojinetes defectuosos                             | 2         | 1          | 4         | 8           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Cojinetes defectuosos                             | 2         | 1          | 4         | 8           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Grasa en exceso                                   | 1         | 1          | 1         | 1           |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Cojinete atravesado por corriente eléctrica       | 2         | 2          | 3         | 12          |
|                                                                                   |                   |                                                                               | Excesivo consumo de energía                       | 2         | 2          | 2         | 8           |

En el archivo anexo en Excel (*05-Tabla AMEF.xlsx*), hoja (*“Matriz NPR”*). Encontraremos el análisis y calculo NPR realizado a los equipos críticos de la empresa, de este análisis podemos determinar los modos de falla más críticos de acuerdo con el equipo y su subsistema en detalle. El resultado obtenido nos permite diseñar y definir acciones para mejorar el plan de mantenimiento y les permite a los técnicos tener un mejor entendimiento del equipo y su proceso.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>49 de 68</b> |



**Gráfico 12 Jerarquía de los modos de falla para los equipos críticos de la empresa. Fuente: propio anexo en Excel (05-Tabla AMEF.xlsx), hoja ("Jerarquía NPR").**

Es importante tener en consideración que cada modo de falla, le corresponde una acción de control del riesgo que mantenimiento debe planear e incluir en sus programas de mantenimiento.

## 2.6. Compilación de la documentación necesaria para realizar el estudio HAZOP/AFO

El HAZOP Hazard and Operability analysis - (Análisis funcional de Operatividad) es una técnica de identificación de riesgos inductiva y cualitativa, basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación de un sistema dado. Que puedan afectar a las personas, los equipos, el entorno y/o los objetivos de la organización [32]

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>50 de 68</b> |

Todas las organizaciones deberían tener como meta un nivel adecuado de desempeño en la gestión del riesgo, en Colombia existe un marco legal que reglamenta la identificación de peligros y la valoración de riesgos en seguridad y salud ocupacional con el fin de establecer controles necesarios que garantice el cumplimiento de este propósito, Icontec Colombia establece estos controles con la GTC45 (GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y LA VALORACIÓN DE LOS RIESGOS EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.). la cual se utilizará como guía para el estudio de los equipos críticos en la empresa y la elaboración de los HAZOP.

El estudio HAZOP de un proyecto nuevo debe realizarse lo antes posible, siempre que se disponga de información con un nivel de detalle adecuado y no se prevean cambios sustanciales en el proceso y en el diseño de la unidad.

Los mínimos obligatorios son:

- ✓ Fichas/Hojas de datos de seguridad de los productos manejados en el proceso. En proyectos nuevos pueden no estar disponibles las Hojas de Datos de Seguridad de los productos, en cuyo caso se sustituirán con la información aportada por el licenciatarario.
- ✓ Diagrama P&ID que refleje de modo real los circuitos que se somete a revisión. En procesos complejos deberá ser completado con planos PFD para facilitar su interpretación.
- ✓ Plano actualizado de la implantación de la instalación.
- ✓ Documento descriptivo del proceso y de la filosofía de control y bloqueo. Para unidades en funcionamiento será necesario el manual de operación; para el caso de unidades nuevas la descripción del proceso y operación será facilitada por el licenciatarario o la ingeniería. Esta descriptiva, junto con el P&ID, ha de permitir comprender a toda persona del grupo HAZOP el funcionamiento del proceso y su respuesta a las fluctuaciones de operación, incluyendo las actuaciones de bloqueo previstas por diseño.
- ✓ Procedimientos escritos para aquellos modos operativos especiales que se deseen incorporar al estudio HAZOP. Esta documentación sólo será obligatoria en caso de querer realizar una HAZOP específico de cada uno de los procedimientos disponibles. [33]

La empresa Comercial Industrial Nacional S.A.S- CINSa y su equipo de mantenimiento cuentan con los manuales operativos de los equipos críticos ya identificados al inicio de este capítulo y

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>51 de 68</b> |

resumidos en el gráfico 10; no poseen el P&ID que refleje los modos reales de los equipos instalados, pero cuenta con los procedimientos operacionales de los equipos críticos.

En el anexo en la carpeta “Anexos\_Manuales Maquinaria” - carpeta “Instructivo de Trabajo” encontramos el archivo (ILC-30 PINTURA 1.pdf y ILC-08 Corte - Sist Aut Fagor.pdf), estos son los instructivos de operación de la línea de cilindros para los equipos críticos de la empresa, que serán usados para realizar el análisis HAZOP con el equipo de mantenimiento.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | INSTRUCTIVO DE TRABAJO |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PINTURA                | ILC-30 |
| <b>1. OBJETIVO</b><br>Establecer los pasos para aplicar el recubrimiento de protección con pintura electrostática en polvo tipo poliéster para los cilindros de almacenamiento de GLP, cumpliendo con el requerimiento normativo vigente.<br><br>Verificar la calidad de pintura en el producto para su uso, teniendo en cuenta los estándares de ISO 9001:2008, Norma Técnica de Fabricación NTC 522-1 6 Actualización, Resolución 180196 y 181464 del Ministerio de Minas y Energía.<br><br><b>Aclarar funciones específicas del mantenimiento de todos los equipos que intervienen en el proceso de pintura.</b><br><br>Este documento está conforme con los requisitos establecidos en la Norma NTC ISO 9001:2008, en el numeral 7.5 – Producción y prestación del servicio, OSHAS 18001 en el numeral 4.4.6 – Control Operativo; NTC ISO 14001 en el numeral 4.4.6 – Control Operacional, NTC 522-1 Cilindros de Acero con Costura para Gases Licuados de Petróleo (GLP) con capacidad desde 5 Kg incluido hasta 46 Kg excluido, COVENIN 649-97 Cilindros para gases licuados del petróleo, NTC 522-2 Recipientes Metálicos. Revisión y Mantenimiento de Cilindros de Acero con Costura para Gases Licuados de Petróleo (GLP) con capacidad desde 5 Kg incluido hasta 46 Kg excluido, Resolución 180196 (21 de Febrero de 2006), 181464 (3 de Septiembre de 2008), Resolución 180853 (2 de Junio de 2009). |                        |        |
| <b>2. ALCANCE</b><br>Aplica para el recubrimiento de los cilindros para el almacenamiento de GLP, con capacidad desde 5 Kg incluido hasta 46 Kg excluido, que vienen de Prueba Hidrostática, de los procesos de fabricación y Revisión & Mantenimiento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                        |        |
| <b>3. DOCUMENTOS APPLICABLES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato de Verificación de Espesores (FCAL-65)</li> <li>• Formato Control Variables</li> <li>• Control de Producción Línea Cilindros (FPRO-08)</li> <li>• Control de Producción Línea Cilindros Adecuados (FPRO-16)</li> <li>• <b>Formato de Solicitud (FCOM – 03)</b></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                        |        |
| <b>4. RESPONSABLES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisor Línea de Pintura (Ppal.)</li> <li>• Jefe Control de Calidad (Ppal.)</li> <li>• El (los) Ayudante(s)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |        |
| <b>5. GLOSARIO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Caudal:</b> Cantidad de fluido que circula a través de una manguera por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        |        |
| <small> Versión: 09 / Diciembre 2014      Página 2 de 23      Documento Controlado<br/> Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin la autorización se constituye en COPIA NO CONTROLADA y para su reproducción solicitar autorización a Calidad. </small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                        |        |

**Ilustración 4 Instructivo de trabajo para el equipo catalogado como crítico para la empresa CINSA. Fuente: Empresa CINSA.**

### 2.6.1. Descripción de la metodología HAZOP.

La técnica consiste en que un grupo multidisciplinario realiza un análisis cualitativo de los riesgos que se pueden presentar en los aspectos operativos y de seguridad, mediante la metodología de lluvia de ideas.

El análisis, basado en un protocolo relativamente sencillo, debe estimular la creatividad de un equipo de expertos con diferente formación, para identificar los riesgos, sus causas, consecuencias y mecanismos de protección.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>52 de 68</b> |

Se subdivide un proceso grande y complejo en tantas piezas pequeñas (nodos) como sea requerido para el análisis, determinando los procesos o puestos críticos de operación.

Que planteadas a través de unas palabras – guía, se van preguntando en cada una de las etapas del diseño, proceso, procedimiento o sistema, que aspectos pueden dar al incumplimiento de los requisitos de diseño.

De este modo hallar las desviaciones que se pueden presentar en las variables operacionales, las causas que generan dichas desviaciones, así como las consecuencias y determinar la magnitud de daño sobre las personas, los bienes y el medio ambiente en general. Esto con el fin de definir si la planta o proceso es seguro, o si se requiere implementar acciones que mejoren su seguridad y operabilidad. [32]

La intención general de este estudio HAZOP, es aplicar la técnica de identificación de riesgos de operabilidad para los equipos críticos de la empresa CINSA.

### **2.6.2. Ventajas de la aplicación de HAZOP en la industria.**

No requiere prácticamente recursos, a exclusión del tiempo de dedicación.

El coordinador y los participantes mejoran el conocimiento de los procesos.

Es una técnica sistemática que puede crear desde un punto de vista de seguridad, hábitos metodológicos útiles.

Contribuye a la operación segura de las plantas con el máximo de disponibilidad.

Reduce la subjetividad en la identificación de peligros potenciales.

Alcanza diseños de instalaciones industriales con capacidad de respuestas a contingencias que pudiesen ocasionar condiciones inseguras, accidentes y daños a equipos.

Emplea un equipo multidisciplinar que incluye personas con experiencia real y las que pueden llevar a cabo acciones tratamiento de los riesgos.

Genera soluciones y acciones de tratamiento del riesgo. [32]

|                                                                                   |                                                                                 |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | <b>53 de 68</b> |

## 2.7. Definición de los Nodos

La aplicación de métodos sistemáticos de identificación de peligros a procesos tecnológicos donde se manejan sustancias químicas suele hacerse, generalmente, subdividiendo el sistema a analizar en partes más pequeñas, denominadas NODOS o SUBSISTEMAS. La utilización de una denominación u otra dependerá de la técnica utilizada, en el caso de la metodología HAZOP a esta división se denomina NODO.[33]

La realización del análisis por NODOS facilita la identificación de las circunstancias de peligro en determinados puntos o zonas del proceso. Esta subdivisión del proceso constituye una parte esencial de la función del facilitador o líder del estudio. Una buena definición de nodos determinará un desarrollo fluido del estudio y creará una dinámica favorable para el proceso de trabajo en grupo en las sesiones de trabajo.[33]

**Tabla 23 Definición de Nodos. Fuente: Propia y [33].**

| Definición Nodos |                    |                                                                                                                                          |
|------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No.              | Nodo               | Definición Nodo                                                                                                                          |
| 1                | Sistema eléctrico  | Conjunto de instalaciones, conductores y equipos necesarios para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. |
| 2                | Sistema mecánico   | Elementos que cuentan con la función específica de transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan.              |
| 3                | Sistema neumático  | Parte de la Tecnología que emplea el aire comprimido para producir un trabajo útil.                                                      |
| 4                | Sistema hidráulico | Fluido a presión para impulsar maquinaria o mover componentes mecánicos.                                                                 |
| 5                | Temperatura        | Magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo.                                                                              |
| 6                | Nivel              | Describir la horizontalidad de una determinada cosa.                                                                                     |
| 7                | Presión            | La forma en que se distribuye una fuerza sobre una superficie es lo que conocemos como presión.                                          |

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 54 de 68 |

**Tabla 24 Definición de palabras guía. Fuente propia y [33].**

| <b>Definición de palabras Guía</b> |                                                                   |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Palabra</b>                     | <b>Significado</b>                                                |
| <b>Más</b>                         | Incremento cuantitativo de un parámetro de proceso.               |
| <b>No/Sin</b>                      | Negación de una intención de diseño.                              |
| <b>Menos</b>                       | Disminución cuantitativa de un parámetro de proceso.              |
| <b>Otro</b>                        | Sustitución o modificación alternativa de un parámetro analizado. |
| <b>Inverso</b>                     | Contrario al sentido.                                             |
| <b>También</b>                     | Incremento o modificación cualitativa.                            |
| <b>Parcial</b>                     | Decremento o modificación cualitativa.                            |

### **2.7.1. Planteamiento de las desviaciones**

Las desviaciones generadas deben ser realistas y consecuentes con el análisis que realice el equipo de mantenimiento.

Las desviaciones deben ser planteadas en las sesiones HAZOP por el facilitador para cada nodo, en caso de que su aplicación al nodo en cuestión no tenga sentido (por ejemplo, nivel aplicado a una línea de trasiego siempre llena) no tiene por qué aparecer reflejada en la tabla HAZOP, aunque (opcionalmente) puede quedar registrado su planteamiento en la sesión. En el caso de que las consecuencias que se deriven no tengan trascendencia de cara al objetivo planteado dentro del estudio PHA, deben reflejarse como una desviación sin más análisis.[33]

### **2.7.2. Planteamiento de las causas**

La determinación de las causas de las desviaciones de los parámetros del proceso es la parte más determinante del estudio HAZOP, ya que es sobre lo que se debe actuar en primer lugar.

Existen tres tipologías básicas de causas que deben ser analizadas:

- ✓ Fallos de los equipos o instrumentos.
- ✓ Fallos humanos.
- ✓ Eventos externos.

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 55 de 68 |

La identificación de causas se realizará en bloque para cada desviación propuesta, no pasando al análisis de las siguientes hasta que haya una propuesta consistente, discutida y consensuada por el grupo HAZOP de causas posibles.

Cada causa puede dar lugar a distintos escenarios y consecuencias, en función de los eventos o circunstancias que concurran.

Las causas deben estar definidas con el suficiente nivel de detalle en su formulación para identificar adecuadamente las consecuencias. Para ello las causas deben dar información sobre el modo de fallo considerado en los equipos o instrumentos, indicando claramente en que posición opera el elemento causante de la desviación (válvula abierta o cerrada, bomba en marcha o paro, error de operador que deja una válvula cerrada o abierta). Por ello hay que ser cuidadoso en la coherencia de lo redactado. [33]

## 2.8. Sesiones HAZOP

Los miembros del equipo de mantenimiento se reunieron junto con la coordinadora de HSE, para iniciar el análisis y organizar la información necesaria de los equipos críticos. También se establece el formato para registrar los HAZOP de los equipos.

En el anexo de Excel 06-Tabla HAZOP.xlsx, encontraremos los HAZOP realizados a los equipos críticos de la empresa Comercial Industrial Nacional SAS-CINSA.

**Tabla 25 Formato para el registro HAZOP de los equipos críticos para la empresa Comercial Industrial Nacional SAS-Cinsa. Fuente: Propia**

|  |              | <b>PROCESO DE MANTENIMIENTO<br/>HAZOP- PRENSA FAGOR - PRE-07</b> |                                          |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                      | <b>Código:</b><br>FHZ-01    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                     |              |                                                                  |                                          |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                      | <b>Version:</b> 01          |
|                                                                                     |              |                                                                  |                                          |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                      | <b>Fecha:</b><br>01/12/2022 |
| NODO                                                                                | PALABRA GUÍA | DESVIACIÓN                                                       | CONSECUENCIA                             | CAUSAS                                                                                                                                                  | ACCIONES RECOMENDADAS                                                                                                                                                                |                             |
| Sistema Eléctrico                                                                   | NO           | No se detecta energía eléctrica                                  | No se puede operar el equipo en el turno | 1. No hay energía en la acometida eléctrica<br>2. Daño en el contactor principal<br>3. Contactos sulfatados y aislados                                  | 1. Tener una acometida de respaldo a otra fuente de energía<br>2. Mantener un contactor de respaldo<br>3. Aumentar la frecuencia de inspección del cableado y contactores            |                             |
| Sistema Hidráulico                                                                  | NO           | No se detecta presión                                            | No se puede operar el equipo en el turno | 1. Daño en la bomba hidráulica<br>2. Daño en el regulador de presión<br>3. Fuga de aceite por manguera<br>4. Daño en los sellos del cilindro del equipo | 1. Mantener repuestos para la bomba hidráulica principal<br>2. Mantener repuestos en stock del grupo hidráulico<br>3. Mantener Kit de sellos y raspadores para el cilindro principal |                             |

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>56 de 68</b> |

## 2.9. Evaluación de los Riesgos

La evaluación de los riesgos corresponde al proceso de determinar la probabilidad de que ocurran eventos específicos y la magnitud de sus consecuencias, mediante el uso sistemático de la información disponible.[38]

Para evaluar el riesgo utilizaremos la siguiente ecuación:

$$NR = NP * NC$$

**Ecuación 5 Ecuación de nivel de riesgo**

NP= Nivel de probabilidad

NC= Nivel de consecuencia

Donde NP, lo determinamos de la siguiente ecuación:

$$NP = ND * NE$$

**Ecuación 6 Ecuación del nivel de probabilidad**

ND= Nivel de deficiencia

NE= Nivel de exposición

Para determinar el nivel de riesgo basado en la GTC45, utilizaremos las siguientes tablas disponibles en la guía técnica colombiana.

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 57 de 68 |

**Tabla 26 determinación del nivel de deficiencia. Fuente: [38] GTC45**

| Nivel de deficiencia | Valor de ND        | Significado                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Muy Alto (MA)        | 10                 | Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula o no existe, o ambos.                             |
| Alto (A)             | 6                  | Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.                                                                                         |
| Medio (M)            | 2                  | Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativa(s) o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.                                                                       |
| Bajo (B)             | No se Asigna Valor | No se ha detectado consecuencia alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado.<br><br>Estos peligros se clasifican directamente en el nivel de riesgo y de intervención cuatro (IV) Véase tabla 8. |

**Tabla 27 Determinación del nivel de exposición. Fuente: [38] GTC45**

| Nivel de exposición | Valor de NE | Significado                                                                                                              |
|---------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Continua (EC)       | 4           | La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral. |
| Frecuente (EF)      | 3           | La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos.                       |
| Ocasional (EO)      | 2           | La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.           |
| Esporádica (EE)     | 1           | La situación de exposición se presenta de manera eventual.                                                               |

**Tabla 28 Determinación del nivel de consecuencias. Fuente: [38]**

| Nivel de Consecuencias    | NC  | Significado                                                                              |
|---------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |     | Daños Personales                                                                         |
| Mortal o Catastrófico (M) | 100 | Muerte (s)                                                                               |
| Muy grave (MG)            | 60  | Lesiones o enfermedades graves irreparables (Incapacidad permanente parcial o invalidez) |
| Grave (G)                 | 25  | Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT)                           |
| Leve (L)                  | 10  | Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad                                     |

|                                                                                   |                                                                                 |               |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00       |
|                                                                                   |                                                                                 | <b>Página</b> | 58 de 68 |

Una vez calculado el nivel de riesgo NR, valoraremos su significado de acuerdo con la siguiente tabla.

**Tabla 29 Significado del nivel de riesgo. Fuente: [38] GTC45**

| Nivel de Riesgo y de intervención | Valor de NR | Significado                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                                 | 4000-600    | Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.                                                                                 |
| II                                | 500 – 150   | Corregir y adoptar medidas de control de inmediato.                                                                                                                                   |
| III                               | 120 – 40    | Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad                                                                                                 |
| IV                                | 20          | Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable. |

El resultado determinado del nivel de riesgo la empresa CINSA, debería decidir cuáles son los riesgos aceptables para trazar planes de mejora y disminuir el riesgo en una situación particular.

**Tabla 30 aceptabilidad del riesgo. Fuente: [38] GTC45**

| Nivel de Riesgo | Significado                                     | Explicación                                                    |
|-----------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| I               | No Aceptable                                    | Situación crítica, corrección urgente                          |
| II              | No Aceptable o Aceptable con control específico | Corregir o adoptar medidas de control                          |
| III             | Mejorable                                       | Mejorar el control existente                                   |
| IV              | Aceptable                                       | No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique |



|                                                                                   |                                                                                    |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                    | Página | 60 de 68 |

## CAPITULO 3

### 3. Concluir sobre la oportunidad para una ingeniería de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicada a los equipos críticos en el proceso de fabricación de cilindros para almacenar G.L.P. de la empresa COMERCIAL INDUSTRIAL NACIONAL S.A.S. – CINSa, por medio del análisis de criticidad, del AMEF y el HAZOP o AFO.

En la empresa Comercial Industrial Nacional-CINSa, de forma general podemos indicar que existen dos aspectos a mejorar de acuerdo con el diagnóstico del estado de mantenimiento que lleva la empresa, esta evaluación arroja que el aspecto del mantenimiento actual es al cual debe mejorar y la forma de llevar los costos de mantenimiento.

En el diagnóstico realizado se observa debilidad del área de mantenimiento al no tener establecido la criticidad de los equipos de la empresa, no contar con un manejo adecuado de los indicadores del área. También existe debilidad en la retroalimentación de la información recopilada en los registros de mantenimiento y por ende desconoce el comportamiento de las fallas en los equipos y su frecuencia.

Se observa la oportunidad de mejora para optimizar la productividad, los recursos y tiempos empleados, la efectividad de los procesos de planeación y costos, al no contar con un adecuado análisis de la información recopilada de los trabajos de mantenimiento. Haciendo salvedad que el diagnóstico da como resultado que cuenta con una buena programación de mantenimiento y manejo de las ordenes de trabajo-OT.

Se observa que del análisis realizado a los equipos críticos con la metodología descrita en el capítulo 2 de este libro, la empresa Comercial Industrial nacional SAS-CINSa, obtiene la evaluación de los equipos sujetos a mantenibilidad que podrán ser usados para posteriores análisis, ampliando así a futuro la aplicación de la metodología a todos los activos.

Se observa que al aplicar el análisis de criticidad y al recopilar la información de la aplicación AM- (Administrador de mantenimiento), se detectó que algunos registros presentaban una desviación en la clasificación dada por el técnico, para los cual se planteó una acción de mejora que consiste en dar capacitación al personal encargado de registrar la información en el sistema y extenderla posteriormente a los demás técnicos operativos que llenan los registros de las ordenes de trabajo-OT.

Se puede observar en el análisis de criticidad realizado con el apoyo del equipo de mantenimiento que para el periodo consultado de los años 2020-2021, que existió una mayor frecuencia de

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>61 de 68</b> |

ordenes correctivas para los activos, equipo de pintura electrostática, el banco de prueba hidrostática, el dispositivo de soldadura longitudinal y el dispositivo de soldadura circular, los que nos indicaría que la acción correctiva no cumplió en su totalidad con su función haciendo que sea reincidente la falla o que el equipo ya presenta un desgaste acelerado, lo que en algunos casos por contar con un equipo de respaldo disminuye su grado de criticidad, pero se considera que estos activos de respaldo hacen que se incrementen los costos ocultos del proceso de fabricación. Producto de este análisis la empresa Comercial Industrial Nacional SAS-CINSA, realiza una inversión de cerca de \$253.000.000 de pesos a final del año 2021 para realizar un OverHauling- (Reacondicionamiento), al equipo de pintura electrostático para disminuir su frecuencia de falla y garantizar su disponibilidad, ya que este no cuenta con un equipo de respaldo, lo que una falla con lleva a una parada de producción inevitable.

Al realizar el análisis de criticidad de los equipos de la línea de cilindros- LC, los equipos que presentaron una mayor frecuencia de fallas y un costo elevado en su reparación y sumado a no contar con un equipo de respaldo que evite una parada de producción, sean los equipos críticos de esta línea a los que se le debe realizar un seguimiento con rigurosidad teniendo un criterio de repuestos en stock para disminuir los tiempos de parada y realizar mejoras a los programas de mantenimiento para mantener la disponibilidad, estos equipos críticos son: Equipo de pintura electrostática- EPC-01 y la prensa Fagor- PRE-07.

Se recomienda que la empresa Comercial Industrial Nacional SAS- CINSA, establezca un proyecto para optimizar la confiabilidad operacional y aplicar de forma adecuada los métodos de la ingeniería de confiabilidad como MCC- (Mantenimiento centrado en confiabilidad), con el objeto de implementar en todos los procesos de producción optimizando de forma integral los costos de la operación de mantenimiento. Teniendo en cuenta que el documento desarrollado anteriormente les da las bases para identificar y desarrollar los AMEF y HAZOP y como consecuencia mejoran y optimizan los procesos de mantenimiento además que inicia la aplicación de una ingeniería de confiabilidad.

Al realizar las tablas AMEF y HAZOP, anexas al libro, estas servirán como una guía, además del documento para una ampliación del análisis a los demás activos de la empresa.

Se observa que en el análisis NPR- (Numero de prioridad del riesgo), realizado a los equipos críticos nos permite definir acciones de mejora que el equipo de mantenimiento debe desarrollar con más detalle ya que el documento desarrollado les brinda un mejor entendimiento del activo y su proceso.

Se observa que en la aplicación de las sesiones HAZOP a los equipos críticos, lo determinante es contar con el personal idóneo y dedicado no solo en el área de mantenimiento si no en aquellas áreas transversales como HSE, para poder determinar los mejores controles y que estos sean

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>62 de 68</b> |

eficaces y respondan a los nuevos peligros.

Se observa que en la empresa CINSA al ser una fábrica que cuenta con una gran cantidad de equipos operados por personal diariamente y en turnos, hacen que convivan diariamente y en ocasiones estos equipos sufren modificaciones buscando mejorar su diseño original, es de vital importancia contar con un estudio HAZOP, no solo de los equipos críticos si no ampliarlo a todos los activos de la empresa ya que es una herramienta de mucha ayuda para reducir e identificar los riesgos de los diferentes procesos.

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>63 de 68</b> |

## CONCLUSIÓN

Al realizar la identificación de los equipos críticos para la empresa Comercial Industrial Nacional SAS-CINSA, se establecieron más tareas específicas de mantenimiento garantizando una mayor disponibilidad del activo.

Al realizar el desarrollo de la metodología AMEF y HAZOP impulsa en la empresa CINSA y a su equipo de mantenimiento a una reorientación del programa de mantenimiento el cual permitirá tener una mayor organización de los activos mantenibles, un inventario adecuado y una mejor comprensión basada en el desarrollo de este libro que será de guía para la aplicación a todos los equipos de la empresa.

Al obtener el análisis de criticidad y el cálculo NPR- (Numero de prioridad de riesgo), le permite al equipo de mantenimiento tener los equipos críticos en su sistema AM- (Administrador de mantenimiento), con un análisis más detallado en funciones y modos de falla que mejoraran la disponibilidad los activos para la empresa Comercial Industrial Nacional SAS-CINSA.

|                                                                                   |                                                                                    |        |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | Código | 00       |
|                                                                                   |                                                                                    | Página | 64 de 68 |

## BIBLIOGRAFIA

- [1] [www.redalyc.org](http://www.redalyc.org). Modelo de diagnóstico-planificación y control del mantenimiento. Consultada: 07 de diciembre 2021. Fuente: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3604/360459575005/html/index.html>.
- [2] [www.academia.edu](http://www.academia.edu). Diagnóstico de mantenimiento Consultada: 12 de diciembre 2021. Fuente: [https://www.academia.edu/7709054/Diagn%C3%B3stico\\_de\\_mantenimiento](https://www.academia.edu/7709054/Diagn%C3%B3stico_de_mantenimiento)
- [3] [www.biblioteca.utb.edu.co](http://www.biblioteca.utb.edu.co). diagnóstico y diseño de una estrategia de mantenimiento aplicable en plantas del sector carbonífero. Consultada: 12 de diciembre 2021. Fuente: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/389>
- [4] <https://scholar.google.es>. Aplicación del método de eficiencia general de equipos para mejorar los indicadores del mantenimiento de los equipos pesados de *Promaq Peru*. Consultada: 15 de diciembre 2021. Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65673>
- [5] <https://scholar.google.es/>. Diseño, implementación de un sistema de mantenimiento mecánico, AMEFC y planes de mantenimiento y análisis Weibull para una zaranda seca en una empresa minera CUPRIFERA, 2021. Consultada: 10 de enero 2022. Fuente: <http://repositorio.uasf.edu.pe/handle/UASF/474>.
- [6] <https://scholar.google.es/>. Programa de mantenimiento preventivo de equipos biomédicos para el hospital *Octavio Mongrut Muñoz*. Consultada: 10 de enero 2022. Fuente: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2827>.
- [7] <https://dokumen.tips/documents/>. Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón. Consultada: 10 de enero 2022. Fuente: <https://dokumen.tips/documents/desmotadora-de-algodn-bibingusesbibingusesabreproy5311fichero5-analisisdecriticidadpdfpdf.html>.
- [8] <http://www.redalyc.org>. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Consultada: 10 de febrero 2022. Fuente: <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>.
- [9] <https://bibliotecadigital.udea.edu.co>. Diseño De Plan De Mantenimiento Basado En Rcm Para El Equipo De Mayor Criticidad En La Planta *Premezcladora Cifa*, Cemex Bello -Antioquia. Consultada: 10 de febrero 2022. Fuente: [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13756/1/CarrenoHeitman\\_2019\\_DisenioMantenimientoPremezcladora.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13756/1/CarrenoHeitman_2019_DisenioMantenimientoPremezcladora.pdf).

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>65 de 68</b> |

[10] <https://reliabilityweb.com>. El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. Consultada: 10 de febrero 2022. Fuente: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-o-pe>.

[11] [repositorio.uti.edu.ec](http://repositorio.uti.edu.ec). Plan De Mantenimiento Basado En La Confiabilidad Para Los Equipos Críticos En Una Empresa Dedicada A La Prestación De Servicios Petroleros. Consultada: 10 de febrero 2022. Fuente: [repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/2341/1/VILLAMARIN%20TORRES%20MELANY%20ESTEFANIA.pdf](http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/2341/1/VILLAMARIN%20TORRES%20MELANY%20ESTEFANIA.pdf).

[12] <http://tesis.udea.edu.co>. Análisis de criticidad de activos para la empresa HB Fuller Colombia SAS. Consultada: 10 de febrero 2022. Fuente: <http://tesis.udea.edu.co/handle/10495/25179>

[13] <https://repositorio.ecci.edu.co>. Diagnóstico de un plan de mantenimiento preventivo para un molino MRV 200 en la Compañía Colombiana de Cerámica *Colcerámica S.A.S CORONA*. Consultada: 11 de febrero 2022. Fuente: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1286>

[14] <https://repositorio.continental.edu.pe>. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos críticos de producción de comprimidos de un laboratorio farmacéutico. Consultada: 11 de febrero 2022. Fuente: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9225>

[15] <https://dspace.unitru.edu.pe>. Plan de mantenimiento basado en el RCM para el taller mecánico de la Empresa Sermetal SAC–Trujillo. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18126>

[16] <https://repositorio.uncp.edu.pe>. Metodología de Jack Knife para determinar los niveles de criticidad en sistemas de Jumbos Long Hole - Unidad Minera Yauliyacu. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7315>

[17] <https://repositorio.upn.edu.pe>. Analizar la aplicación de RCM en el área de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos en las empresas industriales: un estudio de la revisión sistemática de la literatura científica. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28347>

[18] <https://www.researchgate.net/>. Aplicación de la técnica AMFEC: Análisis de los Modos de Falla, Efectos y Criticidad para optimizar el Plan de Mantenimiento de los Motores Caterpillar 3512 Embarcaciones Tipo Remolcador. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/348250107\\_Aplicacion\\_de\\_la\\_tecnica\\_AMFEC\\_Analisis\\_de\\_los\\_Modos\\_de\\_Falla](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/348250107_Aplicacion_de_la_tecnica_AMFEC_Analisis_de_los_Modos_de_Falla)

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>66 de 68</b> |

a\_Efectos\_y\_Criticidad\_para\_optimizar\_el\_Plan\_de\_Mantenimiento\_de\_los\_Motores\_Caterpillar\_3512/links/5ff4ff8045851553a02287e5/Aplicacion-de-la-tecnica-AMFEC-Analisis-de-los-Modos-de-Falla-Efectos-y-Criticidad-para-optimizar-el-Plan-de-Mantenimiento-de-los-Motores-Caterpillar-3512.pdf

[19] <https://repositorio.upct.es/>. Análisis de criticidad y planificación del mantenimiento de una turbina de energía mareomotriz. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/10173>

[20] <https://repositorio.usm.cl>. Propuesta De Plan De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad A Equipo Critico En Línea De Producción De La Empresa Agrícola Desarrollo Agrario. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/50608>

[21] <https://www.researchgate.net>. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/351334679\\_Tecnica\\_de\\_Jerarquizacion\\_de\\_Activos\\_MCCR\\_Matriz\\_de\\_Criticidad\\_Cualitativa\\_de\\_Riesgo\\_Caso\\_de\\_estudio\\_Equipos\\_de\\_produccion\\_de\\_lentes\\_Oftalmicas\\_d\\_el\\_laboratorio\\_de\\_la\\_empresa\\_PRATS\\_Costa\\_Rica\\_Industria/links/6091aed5a6fdccaebd091fdc/Tecnica-de-Jerarquizacion-de-Activos-MCCR-Matriz-de-Criticidad-Cualitativa-de-Riesgo-Caso-de-estudio-Equipos-de-produccion-de-lentes-Oftalmicas-del-laboratorio-de-la-empresa-PRATS-Costa-Rica-Industria.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/351334679_Tecnica_de_Jerarquizacion_de_Activos_MCCR_Matriz_de_Criticidad_Cualitativa_de_Riesgo_Caso_de_estudio_Equipos_de_produccion_de_lentes_Oftalmicas_d_el_laboratorio_de_la_empresa_PRATS_Costa_Rica_Industria/links/6091aed5a6fdccaebd091fdc/Tecnica-de-Jerarquizacion-de-Activos-MCCR-Matriz-de-Criticidad-Cualitativa-de-Riesgo-Caso-de-estudio-Equipos-de-produccion-de-lentes-Oftalmicas-del-laboratorio-de-la-empresa-PRATS-Costa-Rica-Industria.pdf)

[22] <http://repositorio.ug.edu.ec>. Diseño de un sistema de mantenimiento basado en las máquinas y equipos mediante la Metodología AMFEC para una empresa de la ciudad de Guayaquil. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/55943>

[23] <http://repositorio.uasf.edu.pe>. Estudio de un sistema de mantenimiento RCM, basado en la norma ISO 22301 sobre la metodología AMEF, para maquinarias pesadas en el Distrito de Cerro Colorado, Arequipa - Perú, 2020. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <http://repositorio.uasf.edu.pe/handle/UASF/386>

[24] <http://repositorio.unimagdalena.edu.co>. Aplicación de matriz de criticidad de repuestos para la gestión del riesgo a los equipos de la planta de agua Osmosis inversa de la empresa C.I Caribbean Eco Soaps UIBS S.A.S. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/handle/123456789/6614>

[25] <http://journalingeniar.org>. Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>67 de 68</b> |

[26] <https://repository.usta.edu.co>. Modelo de plan de mantenimiento basado en la metodología de análisis de modo falla y efecto (fmea) para el sistema hidráulico de la flota de grúas del grupo empresarial la OCTAVA LTDA, GLOBAL GENESIS S.A.S. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/37772>

[27] <http://tesis.udea.edu.co>. Diseño del índice de criticidad para la matriz de obsolescencia de equipos biomédicos de la Clínica Clofán. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <http://hdl.handle.net/10495/18466>

[28] <https://repository.unab.edu.co>. Informe prácticas académicas Confipetrol S.A.S. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/14273>

[29] <https://repository.unab.edu.co>. Informe práctica empresarial Industrias Luis Armando Vesga & Ltda. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/14354>

[30] <https://www.polodelconocimiento.com>. Método AMEF: estrategias para su empleo en el mantenimiento en plantas purificadoras de agua. Consultada: 12 de febrero 2022. Fuente: <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/2801/5978>

[31] <https://www.researchgate.net>. Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. Consultada: 19 de febrero 2022. Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/342926771>

[32] <http://dspace.esPOCH.edu.ec>. Avemañay Morocho, Á. M. (2014). Análisis e Identificación de Riesgos de Operabilidad en Procesos Críticos de Servicios Petroleros, Mediante la Aplicación de la Metodología HAZOP, en la Empresa Baker Hughes-Ecuador. Consultada: 03 de noviembre 2022. Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3010>

[33] <https://www.academia.edu>. GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS HAZOP (HAZard and OPerability analysis. Repsol YPF. Consultada: 03 de noviembre 2022. Fuente: [https://www.academia.edu/29813154/GU%C3%8DA\\_PARA\\_LA\\_REALIZACI%C3%93N\\_DE\\_ESTUDIOS\\_HAZOP\\_HAZard\\_and\\_OPerability\\_analysis](https://www.academia.edu/29813154/GU%C3%8DA_PARA_LA_REALIZACI%C3%93N_DE_ESTUDIOS_HAZOP_HAZard_and_OPerability_analysis)

[34] <https://repository.upb.edu.co> Definición de una metodología para la identificación, análisis, evaluación y tratamiento de riesgos en la unidad estratégica Colombiana NTC ISO 31000:2009. Consultada: 25 de noviembre 2022. Fuente: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1573>

[35] <https://repository.uamerica.edu.co> LINEAMIENTOS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO EN ESTACIONES DE SERVICIO DE GASOLINA EN BOGOTÁ. Consultada: 25 de noviembre 2022. Fuente: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7841/1/232475-2020-I-GA.pdf>

|                                                                                   |                                                                                    |               |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
|  | Propuesta trabajo de grado para optar por el título de<br>Ingeniero en Mecatrónica | <b>Código</b> | 00              |
|                                                                                   |                                                                                    | <b>Página</b> | <b>68 de 68</b> |

[36] <https://repository.unilibre.edu.co> Diseño de una metodología para la gestión de riesgos de calidad, a partir de la norma ISO 31000:2011 numeral 5, ISO 9001:2015 requisito 6.1 y la normatividad del sector de alimentos, aplicado en la empresa Yod Buen Servicio. Consultada: 25 de noviembre 2022. Fuente: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10949>

[37] <https://repository.unilibre.edu.co> Artículo-DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS DE CALIDAD, APLICADA EN LA EMPRESA YOD BUEN SERVICIO. Consultada: 25 de noviembre 2022. Fuente: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10949>

[38] <https://repository.udistrital.edu.co> GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS Y LA VALORACIÓN DE LOS RIESGOS EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL- GTC45. Consultada: 25 de noviembre 2022. Fuente: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6034/2/ParraCuestaDianaMarcelaVasquezVeraErikaVanessa2016-AnexoA.pdf>