



DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UN SISTEMA CRÍTICO DE LA DIVISIÓN DE HORMIGÓN DE UNA EMPRESA DE VENTA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería
Industrial**

Autor: Brian Christian Pickering

Departamento de Ingeniería Industrial

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata

Fecha: 15/04/2020



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UN SISTEMA CRÍTICO DE LA DIVISIÓN DE HORMIGÓN DE UNA EMPRESA DE VENTA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

**Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería
Industrial**

Autor: Brian Christian Pickering

Departamento de Ingeniería Industrial

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata

Fecha: 15/04/2020

“Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción”

AUTOR

Pickering, Brian Christian

Matrícula: 13699

DIRECTOR

Ing. Esp. Bandera, Leonardo

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

COMISIÓN EVALUADORA

Mg. Ing. D'onofrio, María Victoria

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

Ing. Migueles, Marina

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata

AGRADECIMIENTO

Quiero aprovechar la sección para dar las gracias a mi familia, en especial a mis padres que siempre me apoyaron, creyeron en mí y me dieron la posibilidad y las facilidades para poder llevar adelante esta carrera. Sin su ayuda, el trayecto habría sido totalmente distinto. Los quiero mucho.

También quiero agradecer a mi novia, uno de los motivos por los que decidí seguir este camino. Siempre apoyándome y motivándome a continuar, aún en momentos difíciles y a pesar de mis actitudes y la distancia. Te amo, muchas gracias.

Gracias al ingeniero tutor de mis prácticas profesionales, quien me dio la idea y me facilitó los contactos.

Al director del presente trabajo, por su tiempo y sus recomendaciones, que ayudaron a que pudiese concretar el proyecto. Además, por sus rápidas respuestas y correcciones ante la necesidad de revisar los avances.

Al personal de la empresa, por su buena predisposición y por facilitar la información necesaria.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
TABLA DE SIGLAS	viii
RESUMEN.....	ix
PALABRAS CLAVE.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ¿QUÉ ES EL HORMIGÓN?.....	1
1.2. LA EMPRESA.....	1
1.3. SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. ALCANCE	3
1.6. ORDENAMIENTO DEL PROYECTO	3
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. MÁQUINAS RELACIONADAS A LA PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE HORMIGÓN.....	5
2.1.1. Camiones hormigonera	5
2.1.2. Pala cargadora.....	6
2.1.3. Bomba elevadora.....	7
2.1.4. Bomba de arrastre.....	8
2.1.5. Tolva cementera (semi-acoplado)	8
2.1.6. Planta de hormigón	9
2.1.6.1. Batería de tolvas.....	10
2.1.6.2. Sistema de transporte de áridos	11
2.1.6.3. Silos de cemento	12
2.1.6.4. Sistema de transporte de cemento.....	13
2.2. ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO?.....	13
2.3. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO	14
2.4. TIPOS DE MANTENIMIENTO	14
2.4.1. Mantenimiento correctivo	15
2.4.2. Mantenimiento preventivo	15

2.4.3. Mantenimiento predictivo	16
2.4.4. Mantenimiento detectivo.....	16
2.5. HERRAMIENTAS	17
2.5.1. Matriz FODA.....	17
2.5.2. ¿Qué es el MCC o RCM?	18
2.5.3. Contexto operacional	18
2.5.4. Las 7 preguntas	19
2.5.5. Análisis de modos y efectos de falla	21
2.5.6. Análisis de criticidad.....	22
2.5.7. Índice de confiabilidad	23
2.6. SEGURIDAD	25
2.7. COSTOS DE MANTENIMIENTO	28
2.7.1. Costos fijos	29
2.7.2. Costos variables	29
2.7.3. Costos financieros	29
2.7.4. Costo por falla	29
III. DESARROLLO.....	31
3.1. METODOLOGÍA	31
3.2. ANÁLISIS FODA.....	31
3.2.1. ESTRATEGIAS DERIVADAS DE LA MATRIZ FODA.....	32
3.2.1.1. FO.....	32
3.2.1.2. FA	33
3.2.1.3. DO	33
3.2.1.4. DA.....	33
3.2.1.5. Otras.....	33
3.2.2. CONCLUSIÓN FODA.....	34
3.3. RELEVAMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y EQUIPOS INTERVINIENTES .	34
3.3.1. El proceso productivo	34
3.3.2. Diagrama de flujo.....	36
3.4. LISTADO Y DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	38
3.4.1. Listado de equipos	38
3.4.2. Descripción del equipamiento.....	39
3.4.2.1. Camiones hormigonera	39
3.4.2.2. Pala cargadora	39
3.4.2.3. Bomba elevadora	39
3.4.2.4. Bomba de arrastre	39

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

3.4.2.5. Tolva cementera (semi-acoplado)	40
3.4.2.6. Planta de hormigón	40
3.4.2.6.1. Batería de tolvas	40
3.4.2.6.2. Sistema de transporte de áridos.....	40
3.4.2.6.3. Silos de cemento.....	41
3.4.2.6.4. Sistema de transporte de cemento	41
3.4.2.6.5. Sistema de agua	41
3.4.2.6.6. Compresores	41
3.4.3. Contexto operacional	41
3.5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	42
3.6. SISTEMA A ESTUDIAR Y DESCOMPOSICIÓN EN SUBSISTEMAS.....	52
3.6.1. Cálculo de índice de confiabilidad	52
3.6.2. Conclusión del índice de confiabilidad	59
3.7. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.....	61
3.8. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	86
3.9. RELACIONADO A LA SEGURIDAD	96
3.10. COSTO DE MANTENIMIENTO.....	103
3.10.1. Costos fijos.....	103
3.10.2. Costos variables	104
3.10.3. Costos financieros.....	104
3.10.4. Costos por falla.....	104
3.10.5. Ventajas de la política preventiva	105
3.11. HISTORIAL DE MANTENIMIENTO.....	106
IV. CONCLUSIÓN	110
V. BIBLIOGRAFÍA	112
VI. ANEXO.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelo de matriz FODA.....	18
Tabla 2: Ejemplo de puntuación de factores universales.....	23
Tabla 3: Ejemplo de distribución de puntaje en rango selectivo.....	24
Tabla 4: Ejemplo de distribución de puntaje en subfactores aditivos.....	24
Tabla 5: Valores para gravedad del daño.....	25
Tabla 6: Valores para frecuencia de exposición.....	26
Tabla 7: Valores para probabilidad de ocurrencia.....	26
Tabla 8: Valoración del riesgo.....	26
Tabla 9: FODA.....	32
Tabla 10: Listado de equipos relacionados al proceso de hormigón en la empresa.....	39
Tabla 11: Puntajes de subfactores pertenecientes al factor producción.....	42
Tabla 12: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor calidad.....	43
Tabla 13: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor mantenimiento.....	43
Tabla 14: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor medioambiente.....	44
Tabla 15: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor seguridad.....	44
Tabla 16: Cuantificación de probabilidad de ocurrencia.....	44
Tabla 17: Puntaje de criticidad para camiones.....	45
Tabla 18: Puntaje de criticidad para mixer.....	46
Tabla 19: Puntaje de criticidad para pala cargadora.....	47
Tabla 20: Puntaje de criticidad para bomba elevadora.....	48
Tabla 21: Puntaje de criticidad para tolva cementera.....	49
Tabla 22: Puntaje de criticidad para planta dosificadora.....	50
Tabla 23: Puntaje de factores básicos.....	53
Tabla 24: Rango de puntaje para edad de equipo.....	53
Tabla 25: Rango de puntaje para medio ambiente de operación.....	53
Tabla 26: Rango de puntaje para carga de trabajo.....	54
Tabla 27: Puntaje de inspecciones visuales para tolvas.....	54
Tabla 28: Puntaje de pruebas de funcionamiento de tolvas.....	54
Tabla 29: Puntaje de inspecciones visuales de tornillo sin fin.....	54
Tabla 30: Puntajes de pruebas de funcionamiento de tornillo sin fin.....	55
Tabla 31: Puntajes de inspecciones visuales de silos.....	55
Tabla 32: Puntaje de pruebas de funcionamiento de silos.....	55
Tabla 33: Puntaje de inspecciones visuales de banda transportadora.....	55
Tabla 34: Puntaje de pruebas de funcionamiento de banda transportadora.....	56
Tabla 35: Puntaje de inspecciones visuales de sistema de agua.....	56
Tabla 36: Puntaje de pruebas de funcionamiento de sistema de agua.....	56
Tabla 37: Puntaje de inspecciones visuales de compresores.....	56
Tabla 38: Puntaje de pruebas de funcionamiento de compresores.....	57
Tabla 39: Confiabilidad de tolvas.....	57
Tabla 40: Confiabilidad de tornillos sin fin.....	57
Tabla 41: Confiabilidad de silos.....	58
Tabla 42: Confiabilidad de bandas transportadoras.....	58
Tabla 43: Confiabilidad de sistema de agua.....	58
Tabla 44: Confiabilidad de compresores.....	59
Tabla 45: Análisis AMEF del sistema de agua.....	74

Tabla 46: Análisis AMEF de bandas transportadoras	85
Tabla 47: Plan de mantenimiento preventivo para el sistema de agua	88
Tabla 48: Plan preventivo para bandas transportadoras	90
Tabla 49: Plan preventivo para silos	91
Tabla 50: Plan preventivo para transportadores de tornillo sin fin.....	92
Tabla 51: Plan preventivo para tolvas.....	94
Tabla 52: Plan preventivo para compresores	95
Tabla 53: Evaluación de riesgo por método Fine	100
Tabla I. 54: Tareas de mantenimiento para los silos	117
Tabla I. 55: Tareas de mantenimiento para tornillos sin fin	118
Tabla I. 56: Tareas de mantenimiento para tolvas	119
Tabla I. 57: Tareas de mantenimiento para compresores	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Camión hormigonera con motor a explosión.....	5
Figura 2: Camión hormigonera con sistema hidráulico (izquierda)/toma de fuerza (derecha)	6
Figura 3: Pala cargadora LG958L.....	6
Figura 4: Bomba elevadora plegada	7
Figura 5: Bomba elevadora desplegada y camión hormigonera.....	7
Figura 6: Bomba de arrastre Putzmeister.....	8
Figura 7: Tolva cementera	9
Figura 8: Planta amasadora de hormigón	10
Figura 9: Planta dosificadora de hormigón.....	10
Figura 10: Tolvas dosificadoras	11
Figura 11: Sistema de bandas transportadoras.....	11
Figura 12: Sistemas de elevación de cangilones (izquierda) y de skip (derecha)	12
Figura 13: Silos de cemento de distintos volúmenes.....	12
Figura 14: Sistema de tornillos sin fin para transporte de cemento	13
Figura 15: Motores eléctricos en distinto contexto operacional	19
Figura 16: Ejemplo AMEF	22
Figura 17: Clasificación de medidas de control.....	27
Figura 18: Elementos de protección personal	28
Figura 19: Categorías de costos	28
Figura 20: Diagrama de flujo del hormigón parte 1	37
Figura 21: Diagrama de flujo del hormigón parte 2.....	38
Figura 22: Resultado de análisis de criticidad.....	51
Figura 23: Comparación de índices de confiabilidad.....	59
Figura 24: Modelo de registro de actividades de mantenimiento	109
Figura II. 25: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 1	121
Figura II. 26: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 2	122
Figura II. 27: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 3	123
Figura II. 28: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 4	124
Figura II. 29: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 1.....	125
Figura II. 30: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 2.....	126

Figura II. 31: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 3..... 127
Figura II. 32: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 4..... 128
Figura II. 33: Modelo de registro de seguridad 129

TABLA DE SIGLAS

- AMEF: Análisis de modos y efectos de falla.
- EPP: Elementos de protección personal.
- FODA: Fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas.
- ISO: Organización Internacional de Normalización.
- MCC: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- NRP: Número Riesgo/Probabilidad.
- OHSAS: Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Laboral (siglas en inglés).
- RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad (siglas en inglés).
- RETEMA: Revista Técnica de Medio Ambiente
- S.A: Sociedad Anónima.
- SDLG: Maquinaria de Construcción Shandong Lingong
- S.L.: Sociedad Limitada
- S.R.L.: Sociedad Responsabilidad Limitada
- TPM: Mantenimiento productivo total.
- UNE: Una Norma Española.
- U.N.M.d.P: Universidad Nacional de Mar del Plata.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es ayudar en el desarrollo del área de mantenimiento de una empresa destacada por la comercialización de hormigón, a través del diseño de un plan preventivo para un equipo crítico del proceso de fabricación y distribución de dicho material. La problemática que origina el proyecto es la inexistencia de programas formales para mantener la maquinaria, así como la carencia del departamento correspondiente. Se considera un problema dado que se trata de un sector que destaca por el uso de activos y en el que una falla imprevista acarrea costos considerables. Inicialmente se realiza un análisis FODA, siendo una justificación para el desarrollo del trabajo a través de una de las estrategias resultantes. Se lleva a cabo un relevamiento del proceso, así como de los diversos sistemas mecánicos intervinientes, a través de observación directa y reuniones con personal. Seguidamente se elabora un análisis de criticidad en conjunto con los empleados para determinar aquel equipo de mayor importancia sobre el cual centrarse. El resultado es la misma planta dosificadora. Luego se confecciona un índice de confiabilidad para cada uno de sus componentes para establecer sobre cuáles se aplicarán las herramientas más exhaustivas, debido a su criticidad. Resultando en los sistemas de agua y de bandas transportadoras. Al detectar los principales componentes se aplica la técnica AMEF, estableciendo las tareas preventivas. Para el resto de los equipos se plantean acciones y frecuencias por otros medios, resaltando el relevamiento de las tareas actuales y planes de mantenimiento de elementos similares, así como manuales de fabricante. Se desarrollan instructivos de seguridad para aquellas actividades que lo ameritan. Modelos de registro para las tareas y autorizaciones de bloqueo, el primero con la finalidad de recopilar información y poder tomar decisiones de mejora y gestión, a futuro. Se propone debido a la falta de información detectada, que supuso un inconveniente considerable. Finalmente se arriba a la conclusión, a través del cálculo del costo de oportunidad, que la política correctiva de la empresa la exponía a pérdidas considerables por fallas imprevista, que pueden evitarse o reducirse desde una mirada preventiva.

PALABRAS CLAVE

Plan, mantenimiento, preventivo, hormigón, fallas, planta.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿QUÉ ES EL HORMIGÓN?

El hormigón es una mezcla de agregados (usualmente arena y grava o piedra triturada), agua y cemento.

El hormigón elaborado es aquel entregado al cliente como una mezcla en estado no endurecido (fresco). Las mezclas se diseñan para obtener las propiedades requeridas para determinada aplicación. Deben tener la consistencia o el asentamiento correcto para facilitar la trabajabilidad¹ y la colocación, así como una adecuada resistencia y durabilidad para soportar cargas, las condiciones ambientales que se anticipan y las condiciones de servicio. Los insumos se mezclan, ya sea en una unidad mezcladora en la planta o en un camión mezclador (motohormigonera). Dicho vehículo se utiliza para la entrega ya que mantiene al producto de forma homogénea hasta que se descarga en la zona de colocación (Hormix S.R.L., 2018)

1.2. LA EMPRESA

Dedicada a la venta de materiales de construcción (hormigón, arena, cemento, grifería, cerámicos, entre otros), comenzó como un emprendimiento familiar hace más de 30 años, con el objetivo de proveer hormigón elaborado a la ciudad de Mar del Plata. A lo largo de su historia ha ido evolucionando y ampliando su cartera de productos, hasta llegar a la gran variedad que hoy dispone. A su vez fue mejorando la tecnología utilizada para la producción y colocación de hormigón. Hoy posee una capacidad productiva de 1000 metros cúbicos diarios aproximadamente.

La compañía cuenta con varios puntos en la ciudad. Sin embargo, sus actividades relacionadas al hormigón se concentran en la planta productora en las afueras de Mar del Plata donde se ubican los equipos necesarios, almacenes de materia prima y talleres de vehículos.

¹ Trabajabilidad: término que describe cuán fácilmente se puede mezclar, colocar, consolidar y terminar el hormigón recién mezclado con una mínima pérdida de homogeneidad.

1.3. SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA

La motivación del proyecto surge como consecuencia de la interacción con personal de la organización durante las prácticas profesionales supervisadas. Allí se toma conocimiento de la situación actual, tanto en el área de mantenimiento como de calidad.

La principal temática que destacan los trabajadores es la falta de mantenimiento general, desde vehículos hasta la planta dosificadora y el conjunto edilicio.

Actualmente la empresa no posee planes para el cuidado de los equipos o instalaciones, más allá de las recomendaciones de fabricantes en ciertos casos. Tampoco existe una persona encargada, siendo gestionado por el único mecánico y el Director de la planta, el cual no cuenta con el tiempo ni la capacitación.

Meses antes del inicio de las prácticas se incorporó a dos personas, una como encargada del almacenamiento de corralón y otra para el laboratorio. Debido a experiencia obtenida previamente en otras empresas del rubro comenzaron a desarrollar acciones relacionadas a la gestión de mantenimiento.

Por otro lado, tomando en cuenta aspectos relacionados a sistemas de gestión, como los presentes en la norma ISO 55001 “Gestión de Activos” (Organización Internacional de Normalización, 2014), no existe documentación relacionada al mantenimiento. No se poseen instructivos, procedimientos, programas o registros y los pocos desarrollados nunca se utilizaron. Una de las razones que se plantea es que, al contar con un solo mecánico, no dispone del tiempo suficiente para realizar sus tareas y completar la documentación.

No contar con una persona idónea designada para dirigir el área, y la dificultad para que se asignen los fondos establecidos, desemboca en que realizar las actividades presente un nivel de dificultad mayor. Lo que lleva a que se den casos de equipos parados por reparaciones durante un período superior al requerido.

La situación no es beneficiosa para la empresa, en especial en el rubro en que se desempeña donde los equipos y maquinaria juegan un papel principal. Esto implica que una falla puede afectar fácilmente el proceso productivo y por lo tanto los ingresos. Por tal motivo se propuso la ejecución del trabajo, cuya finalidad es ayudar en el desarrollo del área a través de un plan de mantenimiento para un sistema crítico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

El propósito del trabajo es diseñar un plan de mantenimiento preventivo para un sistema interviniente en el proceso de fabricación y distribución de hormigón de una empresa de materiales de construcción de la ciudad de Mar del Plata, ayudando así en el desarrollo del área de mantenimiento actualmente inexistente.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las debilidades, fortalezas y oportunidades de la empresa en relación al mantenimiento.
- Relevamiento del proceso productivo de hormigón.
- Recopilar información de equipos y unidades.
- Realizar un análisis de criticidad de los equipos.
- Seleccionar un sistema en el cual trabajar.
- Aplicar herramientas de mantenimiento al sistema seleccionado.
- Establecer las acciones y frecuencias de mantenimiento para dicho equipo.
- Establecer el costo de oportunidad de no realizar mantenimiento preventivo.
- Identificar la necesidad de elementos de protección personal para las tareas establecidas.

1.5. ALCANCE

El trabajo se enfoca en el diseño de un plan de mantenimiento para un equipo que se identifique como crítico, dentro de las instalaciones de producción de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción. Dado que la organización destaca por la comercialización de dicho producto, mantener un correcto funcionamiento de la maquinaria que interviene en su fabricación resulta estratégicamente conveniente.

1.6. ORDENAMIENTO DEL PROYECTO

Se inicia con una introducción en la que se detallan conceptos asociados al hormigón, se presentan la empresa y la situación que motiva el proyecto y sus objetivos. A continuación, se desarrolla el marco teórico, en el cual se mencionan los equipos asociados a la producción, nociones de mantenimiento, seguridad, costos y herramientas utilizadas.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Seguidamente se encuentra el desarrollo, que incluye la aplicación de las herramientas para la identificación de estrategias, selección del/los sistema/s a estudiar y establecimiento de tareas. El capítulo cierra con la identificación de costos, requisitos de seguridad y un apartado asociado a la aplicación de registros para la generación de historiales. Por último, se tienen las conclusiones, seguidas por la bibliografía y los anexos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. MÁQUINAS RELACIONADAS A LA PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE HORMIGÓN

A continuación, se presenta una breve descripción teórica de los principales equipos que intervienen en la producción y distribución de hormigón.

2.1.1. Camiones hormigonera

Según el “Cuaderno preventivo: El camión hormigonera” publicado por la Secretaría de Política Sindical/Salud Laboral de la Unión General de Trabajadores de Cataluña (2014), se considera como el encargado de transportar el hormigón; se compone por una cuba de forma cónica o bombo giratorio soportado por un bastidor que va montado sobre un eje inclinado, de forma que pueda girar.

El material siempre debe estar en movimiento para retrasar su fraguado, es por ello que la función del camión es mantener la cuba rotando para lograr la homogeneidad en la mezcla. La rotación se consigue a través de un motor auxiliar, como se aprecia en la figura 1. En otros casos, como es el de la figura 2, se logra utilizando la transmisión del propio vehículo (toma de fuerza) y un sistema hidráulico.

En el interior de la cuba existen palas soldadas a las paredes en una posición específica que permiten mezclar el hormigón durante el giro; para expulsar el material por la abertura del extremo opuesto a la cabina, el bombo debe rotar en el sentido opuesto.



Figura 1: Camión hormigonera con motor a explosión.
Fuente: Betonmac S.A. (2019).



Figura 2: Camión hormigonera con sistema hidráulico (izquierda)/toma de fuerza (derecha).
Fuente: Betonmac S.A. (2019, Adaptada).

2.1.2. Pala cargadora

Se denomina cargadora a la máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas, equipada con una cuchara frontal, su estructura soporte y un sistema de brazos articulados (accionados por cilindros hidráulicos), capaz de cargar y excavar mediante su desplazamiento y el movimiento de sus brazos, y de elevar, transportar y descargar materiales. Es de uso común en el sector de la construcción.

Tiene como funciones principales: carga de las unidades de transporte o alimentación de tolvas, acopio de productos, efectuar operaciones de excavación en terrenos no muy duros o compactos, elevación, manejo y acarreo de materiales a cortas distancias. Atendiendo a su sistema de desplazamiento se dividen en palas sobre neumáticos y orugas (Yepes, 2013).

También varían en tamaño, desde minicargadoras (de aproximadamente $0,5 \text{ m}^3$) hasta las más grandes de entre 3 y 5 m^3 (Quick Equipments, 2019), como la que se visualiza en la figura 3.



Figura 3: Pala cargadora LG958L.
Fuente: SDLG (2019).

2.1.3. Bomba elevadora

Equipos telescópicos montados sobre un camión (figura 4) conformados por una tolva receptora conectada mediante tuberías, codos y reducciones a brazos que se mueven en diversas direcciones y capaces de girar sobre su eje hasta 360 grados (Donadi ,2018).

Se emplea para transportar el hormigón fresco distancias horizontales o verticales de entre 20 y 63 metros hasta el sitio de colocación, o cuando el punto en el que se necesita el material es de difícil acceso, como muestra la figura 5. Esta acción se realiza mediante un brazo elevador o grúa que sube el hormigón mediante un grupo de bombeo. La bomba suele estar accionada por el motor del vehículo y poseer una capacidad variable entre 12 y 200 m³ por hora (*Putzmeister, 2019*).



Figura 4: Bomba elevadora plegada.
Fuente: Putzmeister (2019).



Figura 5: Bomba elevadora desplegada y camión hormigonera.
Fuente: Transgruma (2019).

2.1.4. Bomba de arrastre

Las bombas de arrastre, o estacionarias, se componen por una tolva receptora con una boca de salida a la cual se le debe conectar manualmente un sistema de tubos, codos, reductores, mangueras, entre otros, hasta llegar al sitio donde se desea realizar el vertido. Es un equipo estático y sólo puede moverse manualmente desacoplando los componentes mencionados. Se otorga el impulso al material a través de una bomba accionada por un motor, generalmente de combustión (Donadi, 2018).

Es de menor tamaño que la elevadora y se utiliza en formato tráiler (figura 6).



Figura 6: Bomba de arrastre Putzmeister.
Fuente: Bromberg (2019).

2.1.5. Tolva cementera (semi-acoplado)

Vehículo sin tracción propia que tiene como finalidad el transporte de cemento a granel (figura 7). Es remolcado con un camión. Cuenta con aberturas en la parte superior por donde se carga la materia prima. Para descargar se utiliza un sistema de aire comprimido que dirige el material a través de mangueras hasta los silos donde es almacenado. Las paredes inclinadas de los depósitos facilitan el vaciado y la limpieza.



Figura 7: Tolva cementera.
Fuente: Danes S.R.L. (2019).

2.1.6. Planta de hormigón

Instalación para fabricar hormigón. En las centrales amasadoras, como la figura 8, las materias primas almacenadas en el predio o en zonas de acopio se dosifican, se mezclan y se cargan en los camiones hormigonera. En el caso de una planta dosificadora, como la figura 9, la mezcla tiene lugar dentro de los vehículos (Camelway, 2019).

Existen distintos tipos que se pueden agrupar en diferentes clasificaciones dependiendo del punto de vista. Las principales son:

- ❖ Según dónde se realice la mezcla de materiales (Camelway, 2019):
 - Dosificadora (o secas): se lleva a cabo en los camiones hormigonera y la planta solo gradúa las cantidades y carga el camión.
 - Mezcladora (o húmedas): La preparación del hormigón tiene lugar en la planta.
- ❖ En base a la movilidad (Talleres Alquezar S.A., 2019):
 - Fija: Corresponde a un centro productivo. Es una estructura que se diseña y se instala en un lugar fijo sin posibilidad de ser trasladada.
 - Móvil: se pueden montar y desmontar en una obra y luego dirigirse a donde se necesite.
- ❖ Por el sistema de almacenamiento (Talleres Alquezar S.A., 2019):
 - Horizontal: el acopio de áridos se realiza a nivel del suelo. Cuando la materia prima es requerida se cargan las tolvas para comenzar el proceso.
 - Vertical: los áridos se almacenan en la parte superior de la planta.



Figura 8: Planta amasadora de hormigón.
Fuente: Centralde (2019).



Figura 9: Planta dosificadora de hormigón.
Fuente: Sitsa (2019).

Si bien se menciona a la planta como un equipo en sí, se conforma de distintos subsistemas que trabajan en conjunto.

2.1.6.1. Batería de tolvas

Conjunto de recipientes de gran capacidad (figura 10) en los que se almacena la materia prima. El número de tolvas habitualmente varía entre 2 y 8, igualando la cantidad de áridos diferentes incluidos en el proceso. Para una correcta dosificación de los materiales pueden contar con un sistema de cinta pesadora. El elemento medidor empleado es la célula de carga (Grupexcuatro, 2019).



Figura 10: Tolvas dosificadoras.
Fuente: Milanuncios (2019).

2.1.6.2. Sistema de transporte de áridos

Existen distintas soluciones. Entre ellas se ubican la banda transportadora (figura 11), siendo la más habitual ya que requiere menos mantenimiento. Otra solución consiste en un sistema de elevación por *skip*², el cual se compone por un elevador volteador. Finalmente, se puede optar por cangilones, es decir, una cinta de transporte dotada de cajones que poseen un circuito cerrado de carga y descarga. Estas dos opciones se pueden observar en la figura 12 (Yepes, 2017).



Figura 11: Sistema de bandas transportadoras.
Fuente: Arias Ulloa (2011).

² *Skip*: Elevador, en referencia a que el medio de transporte se corresponde a un cajón elevador.

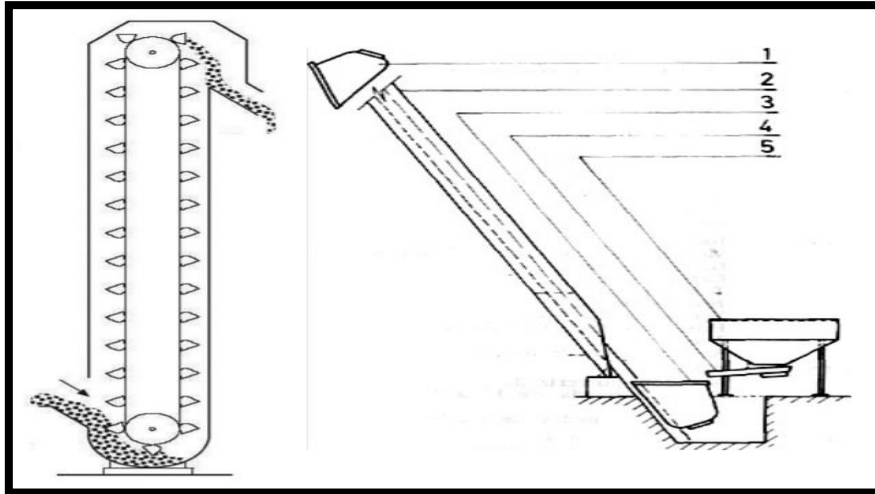


Figura 12: Sistemas de elevación de cangilones (izquierda) y de *skip* (derecha).
Fuente: Hidalgo Redondo (2016), Hoyos Cogollo (2020) (Adaptada).

2.1.6.3. Silos de cemento

Sistema de almacenamiento utilizado para el cemento. Se los puede encontrar de distintos tamaños, como muestra la figura 13, con capacidades desde 30 hasta 1000 m³. Normalmente se equipan con filtros de polvo en el punto de carga, pueden poseer válvulas de seguridad por sobrepresión y sensores de nivel. Comúnmente disponen de una escalera de servicio y una plataforma de operación en la parte superior. Y suelen estar equipados con fluidificadores, es decir inyectores de aire, para mejorar la descarga evitando la aparición de bóvedas en la masa almacenada.

La carga se realiza desde un camión cisterna o granelero por medio de mangueras con un sistema de aire comprimido. Por otro lado, la extracción de cemento puede ser por alimentadores alveolares o por gravedad (Groupexcuatro, 2019).



Figura 13: Silos de cemento de distintos volúmenes.
Fuente: Elkon (2019), Tecnus S.R.L. (2019) (Adaptada).

2.1.6.4. Sistema de transporte de cemento

Los sin fin son instalaciones transportadoras de materiales a granel que se basan en el principio de funcionamiento del tornillo de Arquímedes. El elemento transportador es un metal plano moldeado en forma de hélice que rota alrededor del eje longitudinal. El componente portante, por donde se traslada el material, es una artesa o un tubo en reposo en dirección axial. Es posible mover la materia en forma horizontal, vertical o en plano inclinado (*Schrage Conveying Systems*, 2019)

Se utilizan uno a varios, dependiendo de la disposición de los silos, para transportar el cemento a la tolva o hasta la amasadora (figura 14). En ambos destinos se usan células de carga para dosificar.



Figura 14: Sistema de tornillos sin fin para transporte de cemento.
Fuente: Betonmac S.A. (2019).

2.2. ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO?

Se define como “una combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida” (Agencia de Normalización Española UNE, 2011). Para el caso que corresponde al trabajo, se puede afirmar que es el conjunto de acciones a llevar a cabo para asegurar el correcto funcionamiento de un equipo/máquina/sistema, según los requisitos del usuario.

2.3. IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO

Existen diferentes motivos por los que abordar la ejecución del mantenimiento en una empresa. Generalmente el que predomina es prevenir o reducir el riesgo o número de fallas. Si bien es un aspecto importante, no es el único elemento de interés que debe tenerse en cuenta. Según Coronado Arroyo (2016) otras razones para impulsarlo son las siguientes:

- Alargar la vida útil. Muchas veces los bienes que la organización utiliza para sus operaciones diarias requieren para su adquisición una inversión considerable, que debe ser amortizada, lo que depende de su vida útil y del mantenimiento que se le brinde.
- Aspecto ambiental, legal y de seguridad. Muchas tareas se enfocan en disminuir este tipo de consecuencias y cumplir con las responsabilidades asociadas.
- Imagen de la empresa, ambiente laboral, entre otros. Se ven afectados por las políticas y actividades. Un ejemplo es el mantenimiento edilicio, aspecto importante de la imagen brindada al público.

2.4. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Para la clasificación se toma como referencia el libro “RCM 2” de John Moubray (2004):

Dos ramas principales: reactivos y proactivos. Luego se tiene el detectivo, que según Moubray (2004), no encuadra en las antes mencionadas.

Mantenimiento reactivo: es aquel en que en primera instancia tiene lugar el incidente y luego se actúa. Dentro se encuentra:

- Correctivo: una vez producida la falla, se busca reparar el equipo.

Mantenimiento proactivo: se actúa previamente a la ocurrencia. Engloba los siguientes casos:

- Preventivo: se basa en actividades rutinarias de prevención.
- Predictivo: se fundamenta en el monitoreo del sistema para predecir cuándo ocurrirá una falla y evitarla.

Detectivo: ejecución de actividades para detectar fallos ocultos.

A continuación, se desarrollan descripciones más detalladas de cada uno de los tipos de mantenimiento, inspiradas en las realizadas por Moubray (2004) y Torres (2005).

2.4.1. Mantenimiento correctivo

Comprende todas las tareas que se realizan luego de que el equipo ha dejado de funcionar o ha disminuido su desempeño por debajo del límite aceptable establecido por el usuario.

Existen dos formas de reparación a través de tareas correctivas. La primera es un arreglo rápido para que se pueda continuar operando, pero no necesariamente en las condiciones originales, es de urgencia. La segunda es definitiva, se soluciona la causa raíz y se devuelve el equipo a su estado estándar de operación. Las tareas pueden llevarse a cabo por reparación propiamente dicha o por sustitución de elementos (Coronado Arroyo, 2016).

Es recomendable utilizar este tipo de mantenimiento cuando los costos de realizar tareas preventivas superan el del total de la falla (compuesto principalmente por el costo de oportunidad y el de la reparación, como se explica en el apartado 2.7.4). O cuando no existen actividades proactivas que puedan llevarse a cabo.

Si la consecuencia del incidente presenta un riesgo para la seguridad, tanto de las personas como del medioambiente, entonces no será válido optar por este tipo de mantenimiento y en caso de no haber tareas proactivas, se deberá rediseñar el equipo o proceso.

Una de las principales desventajas de es que el sistema llega a perder su funcionalidad, lo que conlleva un tiempo de parada si no se cuenta con un equipo de respaldo.

2.4.2. Mantenimiento preventivo

Conjunto de tareas que se llevan a cabo antes de que se produzca una falla, con el fin de evitar que tengan lugar durante el funcionamiento del equipo. Incluye actividades programadas sistemáticamente, tanto de inspección y/o control, así como de reacondicionamiento y recambio cíclico de piezas.

Se puede dividir en automantenimiento, siendo las tareas más simples realizadas por los operarios, como la limpieza y lubricación. Y por otro lado el mantenimiento programado, trabajos que responden a un plan, tienen una fecha establecida y un tiempo de

inicio y finalización aprobado. Se destina a ciertos equipos o áreas en particular y es ejecutado por personal idóneo.

Cabe destacar que las labores de recambio cíclico se deben establecer adecuadamente, dado que es recomendable cuando el sistema padece desgaste o pérdida de funcionalidad por el paso del tiempo. Hay otros que sufren de la llamada “mortalidad infantil” y realizarlo aumentaría las probabilidades de falla, resultando contraproducente.

2.4.3. Mantenimiento predictivo

También llamado condicional, consiste en el estudio de ciertas variables en el tiempo, que se seleccionan asociándolas a la ocurrencia de las fallas a prevenir. Realizar el seguimiento permite establecer cuándo el incidente va a tomar relevancia y planificar una intervención con antelación suficiente para que no acarree consecuencias graves (Coronado Arroyo, 2016).

Consiste principalmente en inspecciones (visuales, de grado de desgaste), monitoreos (vibraciones, ultrasonido, termografía, líquidos penetrantes, radiografía industrial, entre otras) y chequeos (de lubricantes).

Es importante mencionar que suele tener un costo elevado, por lo que es necesario analizar si es conveniente o no aplicarlo. Pudiendo realizar un estudio en relación al costo de otras posibilidades, al de la falla, o a si las consecuencias lo ameritan.

Un requisito es que la medición de las variables no debe afectar el normal funcionamiento del equipo (Coronado Arroyo, 2016).

2.4.4. Mantenimiento detectivo

Conjunto de rutinas/tareas cuya finalidad es poner de manifiesto fallos ocultos que ocurren en dispositivos redundantes o de protección, por medio de chequeos regulares de funcionamiento o de alguna variable de proceso. El motivo es asegurarse que funcionarán cuando sean necesarios.

No corresponde a las otras categorías porque su objetivo no es reparar el dispositivo, efectuar recambio de elementos o la detección de síntomas. Simplemente busca fallas que no han sido detectadas, para luego proceder con la tarea de mantenimiento correspondiente (Marchetti y Negri, 2013).

Tiene considerable importancia en relación a los desperfectos asociados con un alto riesgo industrial, equipos redundantes, o de protección (por ejemplo, un interruptor diferencial o una alarma).

Las inspecciones se deben ejecutar con una frecuencia que garantice la disponibilidad requerida de los dispositivos de seguridad, para disminuir la probabilidad de que su fallo y aquellos de los que protege se den simultáneamente. Dicha frecuencia dependerá de la confiabilidad del equipo a proteger, la peor consecuencia aceptada para la falla simultánea y el nivel de disponibilidad del elemento de protección.

2.5. HERRAMIENTAS

2.5.1. Matriz FODA

La matriz de FODA es una herramienta que ayuda a desarrollar cuatro tipos de estrategias. En primer lugar las FO, que utilizan las fortalezas internas de una empresa para aprovechar las oportunidades externas. Las DO, cuyo objetivo es superar las debilidades de la organización aprovechando las oportunidades del entorno. Las FA, con las fortalezas evitar o reducir el efecto de las amenazas del exterior (no implica que al ser fuerte deba encararlas siempre de frente). Por último, las DA son tácticas defensivas dirigidas a la reducción de las debilidades y a evitar las amenazas (David, 2008).

La tabla 1 presenta un ejemplo de formato de la matriz. Hay cuatro celdas en las cuales se listan los factores clave. Es decir, las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. En los casilleros restantes se establecen las distintas estrategias.

	<u>Fortalezas (F)</u>	<u>Debilidades (D)</u>
	1...	1...
	2...	2...

<u>Oportunidades (O)</u>	<u>Estrategias FO</u>	<u>Estrategias DO</u>
1...
2...	Utilizar (F) para aprovechar las (O)	Superar las (D) al aprovechar las (O)
...
<u>Amenazas (A)</u>	<u>Estrategias FA</u>	<u>Estrategias DA</u>
1...
2...	Utilizar (F) para evitar las (A)	Reducir las (D) y evitar las (A)
...

Tabla 1: Modelo de matriz FODA.
Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. ¿Qué es el MCC o RCM?

El RCM es una técnica cuyo objetivo no es mantener o restaurar el equipo a un estado estándar, sino que busca restablecer su capacidad para hacer lo que el usuario quiere que haga. Se enfoca en conservar altos valores de confiabilidad para las funciones del sistema.

Según Moubray (2004), la definición es: “un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.

2.5.3. Contexto operacional

El contexto operacional se refiere al entorno, el ambiente, la situación en la que opera el equipo. Aunque el activo sea el mismo, si varía el contexto, muy probablemente cambiará el mantenimiento.

Un claro ejemplo son dos motores eléctricos idénticos operando en entornos distintos, como en la figura 15 (si bien no son idénticos, si están en contextos operacionales diferentes). Uno se encuentra en una zona libre de polvo y a temperatura ambiente, y el otro funcionando en presencia de polvo y/o temperaturas elevadas. Claramente el mantenimiento no será el mismo.



Figura 15: Motores eléctricos en distinto contexto operacional.
Fuente: RETEMA (2018) (Adaptada).

2.5.4. Las 7 preguntas

John Moubray (2004) establece que la técnica RCM formula siete preguntas acerca del sistema que se intenta revisar:

1 ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

Es necesario establecer qué es lo que los usuarios quieren que el equipo haga y asegurarse de que es capaz de realizarlo. Dentro de estas funciones hay que tener en cuenta parámetros de velocidad, producción, capacidad, entre otras, según se necesiten. Y además se pueden considerar aspectos como la seguridad, el control, confort, economía, cumplimiento de la legislación relativa al medio ambiente, etc.

2 ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

Se define como falla funcional al estado de falla, es decir cuando un equipo no puede desempeñarse cumpliendo los parámetros establecidos por los usuarios. Pueden ser totales o parciales, si el activo puede operar pero con un desempeño inaceptable.

3 ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de falla)?

Se refiere a identificar todos aquellos sucesos que pueden llevar a la ocurrencia de la falla. Puede tratarse de un síntoma fácilmente observable, como por ejemplo: una bomba incapaz de bombear, su modo de falla podría ser: filtro de la bomba obstruido. Se trata de identificar la causa raíz. Por lo tanto es importante identificarla con suficiente detalle para no desperdiciar tiempo tratando los síntomas.

4 ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?

Se elabora un listado con cada uno de los efectos de la falla, teniendo en cuenta que evidencia hay de que ha ocurrido, si la hay. Si representa una amenaza para la seguridad de las personas y/o el ambiente, si la representa. Cómo afecta a la producción, si causa daños físicos y qué debe hacerse para repararla.

Las cuatro primeras preguntas sirven para establecer objetivos, definir el problema y recoger la información básica.

5 ¿En qué sentido es importante cada falla? (Consecuencias de fallas)

La base del RCM es evitar o disminuir las consecuencias de las fallas. Por eso esta es una de las preguntas clave que además permite establecer prioridades a la hora de trabajar, dado que un equipo puede tener una elevada cantidad de fallas pero solo unas pocas con consecuencias graves. Se clasifican en 4 grupos:

- De fallas ocultas: no hay impacto directo, pero exponen a la ocurrencia de incidentes múltiples con resultados críticos.
- Ambientales/seguridad: infringe alguna normativa o reglamento ambiental, puede causar daño o muerte a las personas.
- Operacionales: afectan la producción.
- No operacionales: impactan en el costo directo de reparación, son puramente económicas.

Hasta aquí, estas primeras cinco preguntas, conforman lo que se conoce como la herramienta AMEF.

6 ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

Implica las técnicas de manejo que comprenden las tareas proactivas: el mantenimiento preventivo, predictivo y el reacondicionamiento cíclico.

En el caso de consecuencias sobre la seguridad o el medioambiente, sólo se deberá realizar una tarea proactiva si se elimina la probabilidad de ocurrencia o se reduce a un nivel aceptable.

Para efectos sobre las operaciones se llevará a cabo una acción de este tipo si a lo largo de un tiempo, esta cuesta menos que el costo de las consecuencias más la reparación.

Para resultados sobre aspectos no operacionales sólo se realizarán si estas cuestan menos que el costo del arreglo en un periodo de tiempo.

Finalmente para consecuencias de fallas ocultas, sólo se ejecutarán tareas proactivas si se logra reducir la probabilidad de ocurrencia múltiple a un mínimo aceptable, asegurando la disponibilidad del equipo.

7 ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

En este caso se deben desarrollar tareas “a falta de”. Engloban lo siguiente:

- Búsqueda de fallas: consiste en revisar periódicamente los fallos ocultos.
- Rediseño: se basa en modificar el equipo o el proceso.
- A rotura: significa dejar que ocurra el incidente y aplicar mantenimiento correctivo.

2.5.5. Análisis de modos y efectos de falla

Como se mencionó, las primeras 5 de las 7 preguntas conforman la herramienta denominada Análisis de Modos y Efectos de Fallas.

El primer paso consiste en establecer el sistema sobre el que se utilizará y sus componentes. Luego se definen las funciones que el usuario desea que lleven. A partir de estas se establecen las posibles fallas del sistema, que serán las distintas formas en que no cumplirá con la función solicitada. Una vez planteadas, se enumeran los modos de cada una. Una falla funcional puede tener varias causas asignadas.

A seguir se definen los efectos. Son los síntomas apreciables inmediatamente ocurrida la falla. Sirven, en parte, para poder identificarla. Puede tener varios efectos asociados y viceversa.

Definidos los síntomas, se establece el tipo de consecuencia.

Al precisar todo lo anterior se completan las primeras cinco preguntas. Resta plantear las tareas proactivas para cada causa/efecto. De no ser posible, se enumeran las actividades “a falta de”.

En la figura 16 se muestra un ejemplo correspondiente al sistema de entrada de una máquina envasadora de frascos utilizada en la industria farmacéutica.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

FUNCION	FALLO FUNCION	MODO DE FALLO (Causa)	EFEECTO DE LOS FALLOS (Qué sucede cuando falla)
1) Entrada de frascos desde una bandeja a una velocidad de 3800 frascos/ hora de 50 ml	A) No ingresan frascos a la maquina	1) No funciona el disco organizador de ingreso por: falla motorreductor eléctrico	Paro del proceso. Al tercer frasco sin llenar la máquina se para y suena la alarma. La producción se continúa en forma manual. Mantenimiento desarma, manda a bobinar y reconecta en 72hs.
		2) No funciona el disco organizador de ingreso por: falla variador de velocidad motor.	Paro del proceso. Al tercer frasco sin llenar la máquina se para y suena la alarma. La producción se continúa en forma manual. Mantenimiento desarma, cambia variador, parametriza y reconecta en 72hs.
		3) No funciona el disco organizador de ingreso por: falla automatismo	Paro del proceso. Servicio tercerizado diagnostica si es problema de software o hardware, repara y reconecta en 2 semanas.
		4) No funciona el disco organizador de ingreso por: falla sensor inductivo fin de carrera	Paro del proceso. Al tercer frasco la máquina se para y suena la alarma. La producción se continúa en forma manual. Mantenimiento alinea y/o cambia el sensor y reconecta en 24 hs..
		5) Sensor fotoeléctrico de entrada no funciona (cuenta la entrada de frascos)	Paro del proceso. Al tercer frasco la máquina se para y suena la alarma. La producción se continúa en forma manual. Mantenimiento alinea y/o cambia el sensor y reconecta en 24 hs..
	B) Ingresan inadecuadamente los frascos	1) No funciona organizador de ingreso	Atascamiento y posible rotura de los frascos. La estrella gira antes de que llegue el frasco y se para por sobre torque. El operador resetea la máquina, ordena y reinicia el ciclo

Figura 16: Ejemplo AMEF.
Fuente: Gangi, et al. (2016).

2.5.6. Análisis de criticidad

Según Moubray (2004) existen gran cantidad de técnicas que pueden utilizarse para establecer un criterio, generalmente cuantitativo, para decidir qué activo se beneficiará más de la aplicación de herramientas o requiere atención prioritaria. Son llamadas evaluaciones de criticidad y la mayoría utiliza alguna variación del concepto conocido como “numero riesgo/probabilidad” o NRP.

Un NRP se obtiene asignando un valor numérico a la probabilidad de falla de un activo (a mayor probabilidad, mayor es el valor), y otro para la gravedad de las consecuencias (de nuevo, a mayor seriedad, más alto es el valor). Los dos números se multiplican para dar el coeficiente, como muestra la ecuación 1. Los activos con el NRP más elevado se analizan primero y luego aquellos con menores puntajes.

$$NRP = Probabilidad \times Gravedad \quad (1)$$

Otras variaciones desarrollan NRP compuestos, asignando diferentes ponderaciones a distintas categorías de consecuencias de falla.

Si se dispone de datos históricos válidos de tasas de fallas y costos, las clasificaciones pueden ser refinadas posteriormente usando el análisis de Pareto³. Pueden utilizarse para generar consenso acerca de los activos que realmente importan. Sin embargo, el criterio y las ponderaciones relativas usadas para evaluar la gravedad y la probabilidad varían completamente de una compañía a otra.

2.5.7. Índice de confiabilidad

Amendola (2002) define a la confiabilidad operacional como: “la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico”.

En la práctica puede apreciarse por el estado que guardan o el comportamiento que tienen cinco factores llamados universales y que se consideran existen en todo recurso por conservar (Escalona, 2004); son los siguientes:

- Edad del equipo.
- Medio ambiente en que opera.
- Carga de trabajo.
- Apariencia física.
- Mediciones o pruebas de funcionamiento.

A cada uno de los factores se les otorga un puntaje (cuya suma total debe ser 100 como se muestra en la tabla 2), estableciendo la importancia relativa entre cada uno y permitiendo formar un equipo estándar con el cual comparar el activo en estudio.

Factor	Puntaje
Edad del equipo	10
Medio ambiente	20
Carga de trabajo	15
Apariencia física	25
Pruebas de funcionamiento	30
Total	100

Tabla 2: Ejemplo de puntuación de factores universales.
Fuente: Elaboración propia.

³ Análisis de Pareto: conocida como regla del 80-20 sostiene que el 80% de la actividad es causada por el 20% de los factores vitales. Pueden identificarse por medio de un gráfico de Pareto, es decir, un diagrama de barras en el que los factores están representados a lo largo del eje horizontal, por orden decreciente de frecuencia. Tiene dos ejes verticales, uno a la izquierda que ilustra la frecuencia (igual que un histograma) y el otro a la derecha, que muestra su porcentaje acumulativo. La curva acumulativa identifica los pocos factores vitales que requieren la atención inmediata (Krajewski, et al., 2008).

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

A continuación se deben establecer los subfactores, una desagregación de los universales en rubros o rangos. El puntaje universal se debe distribuir en cada uno estos, lo que se puede realizar de dos formas distintas: aditiva o selectiva.

En los selectivos, a cada una de las opciones se le asigna un valor que no puede superar el universal dentro del cual se considera. En el análisis se seleccionará sólo la opción que represente mejor ese factor para ese equipo.

Por ejemplo para “edad” se plantea una distribución selectiva, como se ve en la tabla 3. Se escogerá sólo la opción que corresponda al activo y ese será el puntaje del factor “edad” para el cálculo del índice de confiabilidad.

Edad del equipo (10 puntos)	
Rango de años	Puntaje
De 0 a 5	10
De 5 a 10	5
De 10 a 15	1

Tabla 3: Ejemplo de distribución de puntaje en rango selectivo.
Fuente: Elaboración propia.

En los aditivos, el valor del factor universal debe ser igual a la suma de los puntajes de cada subfactor en que se divide. Un ejemplo es la apariencia física, que se muestra en la tabla 4.

Apariencia física (25 puntos)	
Sistema hidráulico	10
Sistema de lubricación	10
Sistema de refrigeración	5

Tabla 4: Ejemplo de distribución de puntaje en subfactores aditivos.
Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el equipo, a cada categoría se le otorgará una puntuación igual o menor a la establecida. Siguiendo con el ejemplo sería de 10 o menos para “sistema hidráulico”. La suma de los subfactores será igual o menor al valor del universal, y al sumar estos últimos se obtiene el índice de confiabilidad del activo.

La herramienta puede utilizarse como un método para establecer un estándar de mantenimiento antes de iniciar una política preventiva o para priorizar los equipos sobre los que actuar, a través de una comparación.

2.6. SEGURIDAD

En seguridad y salud ocupacional se define al riesgo como “combinación de probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso o exposición, y la severidad de la lesión o enfermedad ocupacional que puede ser causada por el evento o la exposición” (*British Standards Institution*⁴, 2007). Es un valor que permite conocer la necesidad de intervenir para mejorar el nivel de seguridad de las personas.

El método Fine fue publicado por William T. Fine en 1971, como un método de evaluación matemática para control de riesgos. Propone, por un lado, el uso de la exposición o frecuencia con la que se producen los sucesos iniciadores o desencadenantes y por otro la probabilidad de que una vez se haya dado la situación de riesgo, llegue a ocurrir el accidente (Rubio Romero, 2004). Finalmente se asocia la gravedad que se define como el daño más grave razonablemente posible debido al riesgo considerado.

La ecuación 2 muestra la fórmula que da lugar al grado de riesgo:

$$GR = F \times P \times G \quad (2)$$

Siendo:

- GR = Grado de riesgo
- G = Gravedad
- F = Frecuencia
- P = Probabilidad

Los puntajes de las variables y la valoración del riesgo se muestran en las tablas 5 a 8.

Gravedad	Valor
Catastrófica (numerosas muertes, gran quebranto en la actividad)	100
Desastrosa (varias muertes)	40
Muy seria (muerte)	15
Seria (lesiones muy graves: amputación, invalidez)	7
Importante (lesiones con baja: incapacidad permanente, temporal)	3
Leve (pequeñas heridas, contusiones)	1

Tabla 5: Valores para gravedad del daño.

Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales (Rubio Romero, 2004).

⁴*British Standards Institution*: Institución de Estándares Británicos.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Frecuencia de exposición	Valor
Continua (o muchas veces al día)	10
Frecuentemente (una vez por día)	6
Ocasional (semanalmente)	3
Poco usual (mensualmente)	2
Rara (unas pocas veces al año)	1
Muy rara (anualmente)	0,5
Inexistente (no se presenta nunca)	0

Tabla 6: Valores para frecuencia de exposición.
Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales (Rubio Romero, 2004).

Probabilidad	Valor
Casi segura (es el resultado <más probable y esperado> si se presenta la situación de riesgo)	10
Muy posible (es completamente posible, no sería nada extraño; tiene probabilidad del 50%)	6
Posible (sería una secuencia o coincidencia <rara> pero posible; ha ocurrido)	3
Poco posible (sería una coincidencia muy rara, aunque se sabe que ha ocurrido)	1
Remota (extremadamente rara; no ha sucedido hasta el momento)	0,5
Muy remota (secuencia o coincidencia prácticamente imposible; posibilidad <uno en un millón>)	0,2
Casi imposible (virtualmente imposible; se acerca a lo imposible)	0,1

Tabla 7: Valores para probabilidad de ocurrencia.
Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales (Rubio Romero, 2004).

Valoración del riesgo		
Magnitud (G x F x P)	Clasificación	Actitud frente al riesgo
Mayor de 400	Muy alto	Detención inmediata de la actividad
Entre 200 y 400	Alto	Corrección inmediata
Entre 70 y 200	Notable	Corrección necesaria urgente
Entre 20 y 70	Posible	No es emergencia, pero debe ser corregido
Menos de 20	Aceptable	Puede omitirse la corrección

Tabla 8: Valoración del riesgo.
Fuente: Métodos de evaluación de riesgos laborales (Rubio Romero, 2004).

Las medidas de control se pueden clasificar según su impacto en el proceso o la tarea, como muestra la figura 17.



Figura 17: Clasificación de medidas de control.
Fuente: Cátedra Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (2018).

Los EPP son cualquier equipo o accesorios con el objetivo de ser utilizados por el trabajador para garantizar su protección frente a los riesgos que pueden poner en juego su seguridad o salud en el trabajo. Una clasificación y qué protegen puede observarse en la figura 18.

Los criterios de utilización comprenden:

- Cuando no se pueden evitar los riesgos o limitarse por medios técnicos de protección colectiva. El uso es una medida excepcional.
- Cuando no hay medidas alternativas.
- Como complemento de otras medidas que no garantizan un control suficiente del riesgo.
- Provisionalmente, hasta que se adopten medidas colectivas.
- Tareas esporádicas y de corta duración, donde no sean viables medidas colectivas
- En situaciones de rescate o emergencia.



Figura 18: Elementos de protección personal.
Fuente: Cátedra de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (2018).

2.7. COSTOS DE MANTENIMIENTO

Es un componente del precio del producto, siendo una de las formas en que afecta el desempeño de las organizaciones. Su aumento, visto simplídicamente, puede acarrear una disminución del beneficio percibido. Por lo tanto se destaca la importancia de mantenerlo lo más bajo posible sin ir en detrimento del desempeño de los equipos.

Según Torres (2005) los costos de mantenimiento se pueden agrupar en las categorías de la figura 19.

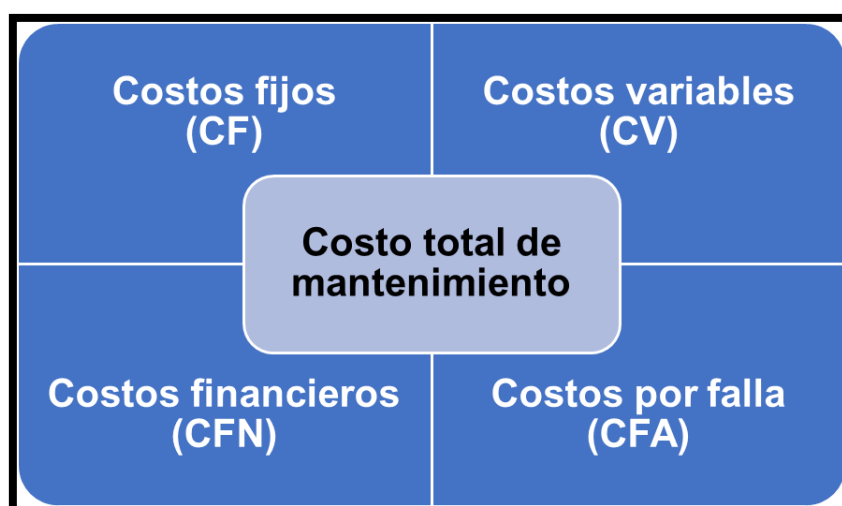


Figura 19: Categorías de costos.
Fuente: Torres (2005) (Adaptada).

2.7.1. Fijos

Su principal característica es que no dependen de la producción y las ventas. Están compuestos, mayormente, por la mano de obra y los materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo.

Tiende a asegurar el estado de la instalación a medio y largo plazo. La disminución del presupuesto y recursos limita la cantidad de mantenimiento preventivo. Aunque en un primer momento supone un ahorro, desemboca en un menor índice de fiabilidad en el estado de las máquinas, equipos, instalaciones y sistemas.

2.7.2. Variables

Son proporcionales a la producción, es decir varían con ella. Dentro se encuentra la mano de obra directa necesaria para el mantenimiento correctivo.

Resulta difícil de reducir, ya que está directamente ligado a la necesidad de efectuar una reparación para poder continuar la producción, no obstante se puede disminuir evitando que se produzcan averías en forma inesperada.

2.7.3. Financieros

Surgen tanto del valor de los repuestos como también de las amortizaciones de las máquinas que se encuentran en reserva para asegurar la producción.

Los costos de almacenamiento de los repuestos necesarios para poder realizar las reparaciones implican un desembolso de dinero para la empresa, que limita su liquidez. Si son utilizados con cierta frecuencia existe un costo financiero bajo, dado que la inversión contribuye a mantener la capacidad productiva. Sin embargo cuando las piezas de recambio tardan mucho tiempo en emplearse, se trata de un costo financiero alto, ya que no produce ningún beneficio.

2.7.4. Por falla

Generalmente implican una mayor significación monetaria, punto que se cumple tanto para empresas productivas como de servicios. Se refiere a la pérdida de beneficio que la organización tiene por causas relacionadas directamente con mantenimiento.

En las productivas se deben fundamentalmente a:

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

- Pérdidas de materia prima.
- Descenso de la productividad de la mano de obra como consecuencia de la realización de reparaciones.
- Pérdidas de energía por malos arreglos o por no realizarlos.
- Rechazos de productos por falta de calidad adecuada.
- Producción perdida durante un trabajo no programado.
- Contaminación del medio ambiente, debido a reparaciones realizadas en forma defectuosa o por no ejecutarlas.
- Averías que pongan en riesgo a las personas o a las instalaciones.

A los costos que pueden generar estos hechos se les debe adicionar el importe de las reparaciones para volver a la normalidad. En muchos casos es pequeño frente al costo por falla que provoca, que será más elevado en la medida que mayor sea la automatización y amortización de la instalación.

Es posible calcular el costo por falla de forma simplificada, sumando los fijos durante el tiempo de reparación, más el valor del arreglo y el beneficio que deja de obtener la empresa en el mismo período (costo de oportunidad).

III. DESARROLLO

3.1. METODOLOGÍA

Para diseñar el plan se utilizan distintas herramientas, siendo la principal el análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF), parte de la técnica RCM. También el índice de confiabilidad y el análisis de criticidad. Se aprovechan los conocimientos del personal, trabajos académicos relacionados y documentación asociada a los equipos en estudio.

Para poder aplicar dichas herramientas se asiste al predio donde se encuentra ubicada la planta dosificadora. Las visitas comienzan el 14 de junio de 2019 y se repiten cada viernes hasta finalizar el mes de septiembre. Se utiliza esa modalidad debido a que el día mencionado el personal presenta mayor disponibilidad.

A lo largo de los días se conoce el funcionamiento de la planta, se realizan las observaciones directas y se mantienen reuniones con los empleados designados.

Los encuentros no se realizan con el sólo objetivo de recopilar información asociada al funcionamiento de los equipos y su mantenimiento. También se involucra a los trabajadores en el desarrollo del análisis de criticidad y el índice de confiabilidad. Una vez obtenida la lista preliminar de actividades del plan, se refina en conjunto con la plantilla.

Al desarrollar el repertorio de tareas y mejorarlo, se analizan aquellas actividades correctivas que se llevan a cabo actualmente y se incorporan las que se consideran adecuadas, tomando en cuenta la función del equipo y ambiente operativo.

Completado el paso anterior, se estudian los aspectos relacionados a la seguridad y la evolución de los costos. Se consultan las medidas actuales de seguridad y se tiene en cuenta la normativa vigente. Para obtener información referente al aspecto monetario, se dialoga con la dirección de la planta y el área de laboratorio.

En cuanto a la orientación del proyecto, se opta por la metodología a utilizar, y no aplicar la filosofía TPM. Así como tampoco se desarrollan estrategias de mantenimiento predictivo.

3.2. ANÁLISIS FODA

Basado en el libro de Fred R. David (2008) se desarrolla un análisis FODA, se utiliza para justificar el trabajo y demostrar la importancia del área de mantenimiento en el

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

rubro. Para mayor claridad y facilidad de lectura sólo se diagraman en la tabla 9 las cuatro celdas correspondientes a los factores, las estrategias que se obtienen se presentan luego.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con talleres propios en la planta, con pañol de herramientas. • Posee un mecánico con trayectoria y muy interiorizado con los equipos. • Personal dispuesto a realizar mejoras en el área. • Se adquirieron nuevos equipos el último año. • Choferes realizan tareas menores sobre camiones. • Larga trayectoria en la ciudad. • Buena imagen frente al público. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo un mecánico para toda la planta. • Personal nuevo destinado a la gestión del área, debe interiorizarse. • Falta de documentación. • Falta de registros históricos. • Falta de planes de mantenimiento. • Problemas edilicios. • Hay un presupuesto pero el dinero no está disponible. • Desconocimiento de productos por parte de los vendedores.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de realizar convenios con la U.N.M.d.P. y aprovechar futuros profesionales. • Posibilidad de tomar obra de parque eólico en Miramar. • Actualmente está en contacto con un ingeniero mecánico que brinda software de mantenimiento y realiza capacitaciones. • Posibilidad de expansión a localidades cercanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sector con importante nivel de competencia en la ciudad. • Otras empresas si brindan importancia al mantenimiento. • Situación económica del país. • Baja demanda en el corriente año.

Tabla 9: FODA.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. ESTRATEGIAS DERIVADAS DE LA MATRIZ FODA

3.2.1.1. FO

Con el ingeniero en contacto y la gente dispuesta a realizar mejoras se presenta la posibilidad conseguir una demo de un programa de gestión de mantenimiento. Una demo

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

consiste en una versión gratuita del software con ciertas limitaciones. Normalmente hacen referencia a un período de tiempo durante el cual el cliente puede utilizar el programa para realizar pruebas y tomar la decisión sobre su adquisición. Puede utilizarse para demostrar a la gerencia los beneficios que acarrea dicho programa.

Aprovechar la imagen de la empresa en la ciudad y sus años de trayectoria para comenzar a operar con mayor énfasis en localidades cercanas.

3.2.1.2. FA

Aprovechar la experiencia del mecánico y al nuevo personal para potenciar el área de mantenimiento y así alargar la vida útil de los equipos reduciendo la necesidad de invertir en la adquisición de nuevos, lo que puede resultar una complicación en la economía actual.

Emplear al personal y las instalaciones para no debilitarse a nivel mantenimiento en comparación con la competencia, la falla de los equipos puede afectar el servicio al cliente.

3.2.1.3. DO

Valiéndose de los posibles convenios con la universidad, incorporar profesionales a modo de pasantías o prácticas. Para desarrollar la gestión, planes y otras documentaciones o acciones en toda la empresa.

3.2.1.4. DA

Incorporar personal de taller para disminuir la cantidad de trabajo atrasado y potenciar el área de mantenimiento.

Capacitar a vendedores en temas técnicos relacionados a los productos de hormigón y la importancia de su conocimiento para mejorar la atención al cliente.

3.2.1.5. Otras

Relacionando las fortalezas con las debilidades se obtiene:

A partir del mecánico con una trayectoria importante, capacitar a los nuevos empleados sobre el funcionamiento de los equipos y a los choferes para que ejecuten mayor cantidad de tareas de automantenimiento.

El personal nuevo puede ocuparse de desarrollar la gestión del área, estableciendo planes, registros y la documentación pertinente.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Aprovechar los talleres y pañol para reducir el mantenimiento tercerizado.

3.2.2. CONCLUSIÓN FODA

Como se aprecia en un análisis de la matriz, más allá de las estrategias que se plantean, el mantenimiento es un aspecto de suma importancia en el rubro. Debido al protagonismo de los vehículos en las actividades diarias. También existe el hecho de que parte de la competencia se centra en el cuidado de los activos, por lo que las unidades suelen estar en condiciones favorables. Por otro lado, dada la situación económica actual del país, es recomendable realizar mantenimiento de los bienes para no tener que incurrir en la adquisición de nuevos.

La empresa cuenta con todo lo necesario para comenzar a establecer el área. Posee el equipamiento edilicio y las herramientas. Sólo requiere mayor organización y la asignación del personal adecuado.

El trabajo se desprende de una estrategia DO. Aprovechando la posibilidad de que un estudiante avanzado de la carrera de ingeniería industrial trabaje en el desarrollo del departamento, diseñando un plan de mantenimiento para un equipo y elaborando un análisis de criticidad para establecer prioridades a la hora de generar planes futuros.

3.3. RELEVAMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO Y EQUIPOS INTERVINIENTES

Mediante el relevamiento se pueden identificar aquellos bienes que intervienen en la producción y distribución de hormigón. Para recopilar información se optó por el diálogo con personal del laboratorio y plantistas, aquellos con mayor conocimiento del proceso, y por la observación directa del funcionamiento de las instalaciones. Cabe destacar que el proceso no está documentado formalmente, por lo que no existe un diagrama de flujo, que se desarrolló para el trabajo.

3.3.1. El proceso productivo

La fabricación de hormigón comienza con la recepción de materia prima. El cemento se traslada en tolvas cementeras que se conectan a través de mangueras a los silos de la planta. Se descarga mediante un sistema de aire comprimido y se envía a la parte superior del depósito por donde ingresa al cuerpo.

La empresa cuenta con un gran acopio horizontal de arena y piedras de distintos tamaños. De necesitar más, se transportan al predio con volcadores.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Cuando los camiones arriban a las instalaciones se pesan en una báscula para corroborar que la carga se corresponde con lo solicitado. Se registra.

Los aditivos se compran en tanques, se despachan y depositan en una zona designada.

Una vez se recibe el pedido del cliente, con la cantidad y tipo de hormigón, se comienzan a preparar los materiales.

Si las tolvas de materia prima no se encuentran cargadas se utiliza la pala para mover lo necesario desde las zonas de acopio. Normalmente se mantienen al máximo de capacidad. Un operario abre manualmente las puertas por medio de un sistema neumático, dejando caer el árido en las cintas pesadoras provistas de celdas de carga. Cuando se alcanza la cantidad necesaria se cierran las compuertas y las bandas lo transportan hasta la motohormigonera.

El cemento se descarga de los silos nuevos por gravedad hacia un tornillo, que lo dirige a una tolva común equipada con un motor vibrador y elementos de pesaje. Luego pasa a otro sin fin que lo impulsa hasta el vehículo. De utilizarse la batería antigua, se transporta por aire comprimido hasta un depósito balanza dotado de compuertas neumáticas. Seguidamente cae por gravedad al camión. La cuba ya se encuentra girando al recibir la materia prima.

El agua se incorpora desde un tanque en altura. Se conduce mediante un sistema de mangueras y cañerías y se dosifica con una electroválvula y un caudalímetro. Una bomba la impulsa hasta la mezcladora.

Si se requieren aditivos, los operarios los incorporan manualmente desde los tanques por medio de baldes.

Debido a que se trata de una planta dosificadora, el proceso de mezclado siempre se realiza en las motohormigoneras.

Una vez vertidos todos los componentes se toman muestras de hormigón para el laboratorio de calidad que realiza las probetas. Esta fase no se tendrá en cuenta en el presente trabajo.

El rodado se dirige a la puerta de salida del predio, donde se pesa y se registra la cantidad de material. Al finalizar parte a la ubicación solicitada por el cliente.

En la obra, el chofer se encuentra con el encargado de la recepción para la firma de papeles y comenzar la descarga del producto.

En caso que se haya solicitado una bomba elevadora, se envía junto con el camión hormigonera. Se posicionan los vehículos y se prepara la bomba. Finalizado, regresan al complejo para recomenzar el proceso o, en caso que no sea necesario, para ser lavados.

3.3.2. Diagrama de flujo

En las figuras 20 y 21 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al proceso explicado. Para su desarrollo se consideró la utilización de la batería nueva de silos, dejando de lado los antiguos. Se optó por esta alternativa debido a que ambos sistemas son similares, variando el método de transporte. Además, incorporar ambas al diagrama no aporta información relevante y sólo logra aumentar sus dimensiones. Lo que dificulta la lectura.

El diagrama se divide en dos secciones para mayor comodidad. Se unen por un conector circular identificado con la letra “A” que simboliza la continuidad del proceso.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

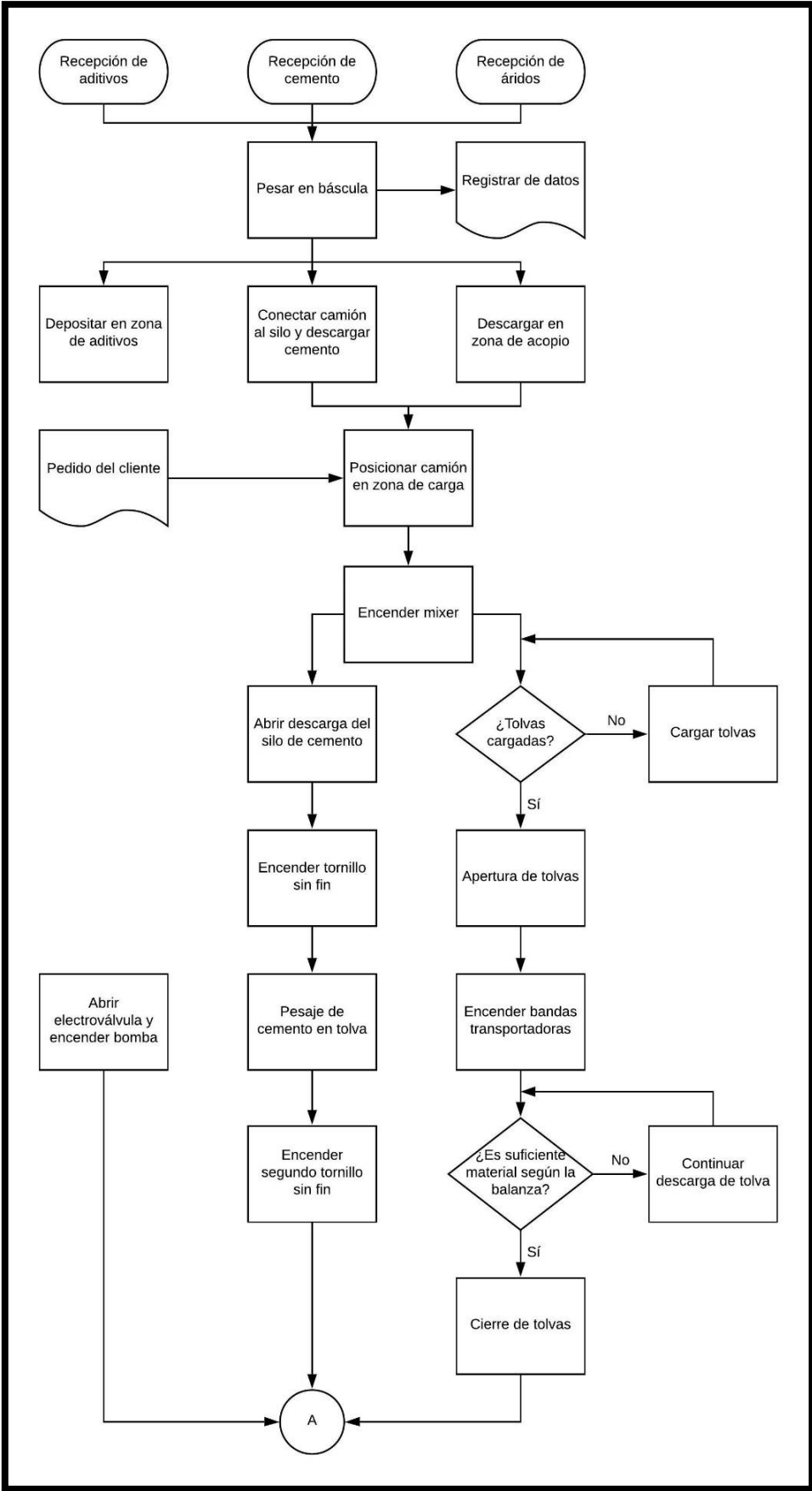


Figura 20: Diagrama de flujo del hormigón parte 1.
Fuente: Elaboración propia.

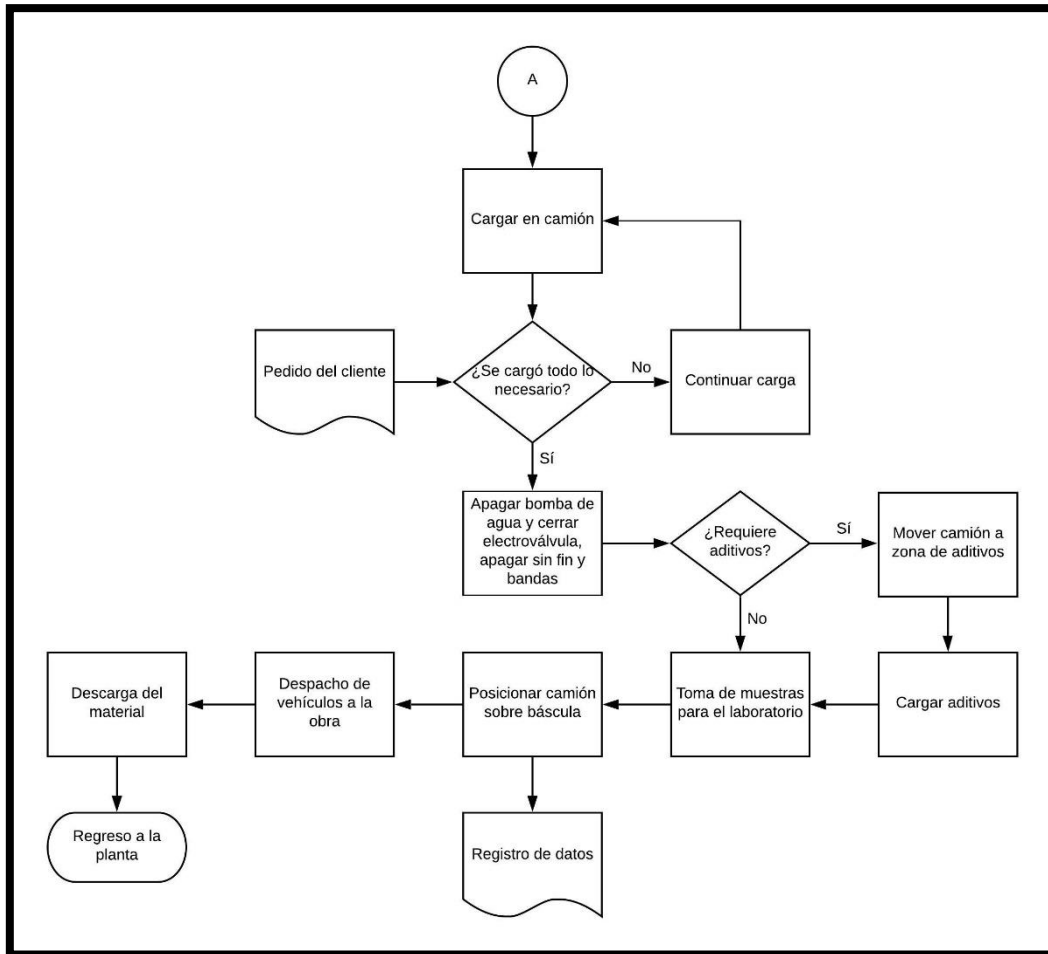


Figura 21: Diagrama de flujo del hormigón parte 2.
Fuente: Elaboración propia.

3.4. LISTADO Y DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

3.4.1. Listado de equipos

La tabla 10 muestra los equipos que intervienen en la fabricación y entrega de hormigón. Se incorpora una breve descripción de cada uno y del contexto operacional. Para confeccionar la lista se abogó por reuniones con el encargado de stock y uno de los empleados de laboratorio, personas que actualmente se ocupan de organizar los temas asociados al cuidado de los activos. Durante los encuentros se desarrolló un listado de todos los bienes de la empresa y se detalló cada uno. Sin embargo, sólo se mostrarán los relacionados con el proceso de interés.

Vehículos	Cantidad
Camión hormigonera	11
<ul style="list-style-type: none"> • Ford C 1722 • Iveco Trakker 380 • Iveco Stralis 380 • Iveco 260 E30 	<p style="text-align: center;">5 3 1 2</p>
Bomba elevadora	3
<ul style="list-style-type: none"> • Ford C 2632 • Iveco 260 E 30 	<p style="text-align: center;">2 1</p>
Pala cargadora	2
<ul style="list-style-type: none"> • LG958L • LG933 	<p style="text-align: center;">1 1</p>
Bomba de arrastre	1
<ul style="list-style-type: none"> • Putzmeister 	<p style="text-align: center;">1</p>
Tolva cementera	2
<ul style="list-style-type: none"> • CATT 1497 	<p style="text-align: center;">2</p>

Tabla 10: Listado de equipos relacionados al proceso de hormigón en la empresa.
Fuente: Elaboración propia.

Por último, se tiene la planta dosificadora que será descrita más adelante. No fue incluida en el cuadro debido a falta de información por parte de la empresa en cuanto a marca y modelo.

3.4.2. Descripción del equipamiento

3.4.2.1. Camiones hormigonera

La organización cuenta con vehículos equipados con motores de combustión y con toma de fuerza. Los sistemas de mezcla más antiguos corresponden a la marca Liebherr con una capacidad máxima que va de los 9 a los 11 m³. Los de menor antigüedad son de la marca INDUMIX de 10 m³.

3.4.2.2. Pala cargadora

Poseen diferentes volúmenes de carga, siendo una de 3 m³ y la otra de 1 m³. La pequeña se utiliza normalmente como respaldo. Ambas de la marca SDLG.

3.4.2.3. Bomba elevadora

Equipos Putzmeister, dos adquiridos recientemente. El mantenimiento se realiza de forma tercerizada, en su mayor parte, debido a la complejidad del equipo.

3.4.2.4. Bomba de arrastre

Putzmeister del año 2009. Prácticamente no se utiliza debido a la dificultad de transporte, ya que por su peso es difícil de remolcar. También requiere de un mayor trabajo

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

para ser empleada porque es necesario transportar y ensamblar caños y mangueras, siendo más sencillo el uso de las bombas elevadoras. La empresa considera la venta, por lo tanto no se tendrá en cuenta en el resto del trabajo.

3.4.2.5. Tolva cementera (semi-acoplado)

En el predio se dispone de dos semi-acoplados tolva cementera en funcionamiento, se utilizan únicamente para el transporte de cemento desde el proveedor hasta la planta. Ambos provistos de sistemas de aire comprimido para la descarga.

3.4.2.6. Planta de hormigón

Existen dos plantas dosificadoras fijas con sistema de almacenamiento horizontal. Sus capacidades son de 65 y 15 metros cúbicos. La que se utiliza normalmente es la nueva, de mayor porte, siendo la otra un respaldo en caso de falla de la primaria o como su soporte si resultase insuficiente.

3.4.2.6.1. Batería de tolvas

Posee una batería de 6 (3 para arena y 3 para piedra). Cuentan con compuertas en la parte inferior, operadas a través de un sistema neumático. Debajo se ubican las balanzas, conformadas por una serie de embudos y dos bandas transportadoras de menor longitud que la principal. Todo el conjunto se sostiene de la estructura de las tolvas mediante celdas de carga, formando el sistema de pesaje.

Existe otra destinada a la dosificación del cemento proveniente de los silos nuevos. Posee un motor vibrador para evitar que el material quede fijo en las paredes y se conecta a un tornillo sin fin que lo eleva hasta la boca del camión.

3.4.2.6.2. Sistema de transporte de áridos

La empresa opera utilizando 3 bandas transportadoras para el movimiento de áridos. Las dos primeras, de menor longitud y equipadas con motorreductores, se ubican debajo de las tolvas y alimentan a la principal. La tercera opera con un sistema de rodillos triples como guía y es impulsada por un motor eléctrico acoplado a través de poleas y correas.

3.4.2.6.3. Silos de cemento

Hay 8 de 75 T que funcionan por gravedad para su descarga y se conectan a tornillos sin fin. Otros 5 de 50 T alimentan por aire comprimido al silo balanza posicionado sobre la boca de carga. Todos cuentan con inyectores de aire en la parte inferior.

3.4.2.6.4. Sistema de transporte de cemento

El tornillo sin fin es el método que emplea la empresa en estudio. Hay 4 (2 por cada fila de silos) que desembocan en una tolva común conectada a un quinto transportador que se eleva hasta la boca de carga. El conjunto de silos antiguo utiliza aire comprimido para mover el material.

3.4.2.6.5. Sistema de agua

La planta está dotada con un tanque de agua en la parte superior, el cual alimenta la cuba del *mixer*⁵ a través de cañerías. El flujo se corta mediante válvulas y/o una electroválvula. Posee un caudalímetro y una bomba impulsora.

3.4.2.6.6. Compresores

Se tienen dos compresores de 420 litros que pueden operar hasta una presión de 8 bar. Alimentan los pistones neumáticos de las tolvas y el silo balanza, los inyectores de aire y el mecanismo de transporte antiguo. La planta es capaz de funcionar con un compresor.

3.4.3. Contexto operacional

Todos los equipos funcionan en un contexto similar. La zona de operación en la planta es un área al aire libre donde la temperatura puede variar en un amplio rango. En verano llega a más de 30 °C y en invierno a menos de un grado. También se ven expuestos a otros fenómenos climáticos como lluvias, granizo, etc. Hay gran cantidad de polvo debido a las materias primas.

Para el caso de los vehículos, las áreas de desplazamiento poseen irregularidades que pueden dañarlos y dificultar el transporte. En los días de lluvia existen zonas donde se acumulan grandes cantidades de agua.

⁵ *Mixer*: palabra en inglés para “mezclador”, se utiliza para hacer referencia a la cuba de los camiones hormigonera. En ocasiones se suele utilizar para referirse a dichos camiones.

Los camiones circulan por la ciudad al transportar el hormigón. En los recorridos que realizan existen diversos tipos desniveles y/o anomalías. Además deben afrontar el tráfico, lo que los obliga a desplazarse a bajas velocidades y realizar cambios de marcha constantemente.

3.5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Como se puede observar en la lista referida al equipamiento, hay varios vehículos que cumplen la misma función, como es el caso de los camiones hormigonera. Para el análisis de criticidad se trabajará con la función de cada equipo en lugar de cada uno de los modelos. Es decir, se realizará uno para los *mixer*, uno para las bombas elevadoras, uno para las cargadoras, uno para camiones en general, uno para tolva cementera y otro para la planta en sí.

De la tabla 11 a la 16 se observan los puntajes a utilizar y su significado. Luego de la 17 a la 22 se muestran los análisis de cada equipo con su resultado.

Producción

La falla produce demoras en la producción	
Gravedad	Demoras
5	Día
3	Horas
1	No genera demora o minutos de demora
Tiempo de uso del equipo	
Gravedad	Porcentaje de uso
3	80% o más
2	Entre 50% y 80%
1	Menos de 50%
Influencia sobre otros equipos	
Gravedad	Nivel de influencia
5	Toda la planta
4	Alta
3	Media
2	Baja
1	Solo este equipo

Tabla 11: Puntajes de subfactores pertenecientes al factor producción.
Fuente: Elaboración propia.

Calidad

Influencia en la calidad final del producto	
Gravedad	Nivel de influencia
3	Alto
2	Medio
1	Escasa o ninguna
Pérdidas por no cumplir requisitos	
Gravedad	Tipo de pérdidas
3	La falla puede provocar la pérdida de cliente
2	Puede provocar la pérdida de pedido
1	No genera pérdidas, pero afecta la imagen

Tabla 12: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor calidad.
Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento

Frecuencia de averías	
Gravedad	Frecuencia
3	Días
2	Semanas
1	Meses
Tiempo de parada	
Gravedad	Tiempo de parada por reparación
4	Semanas
3	Días
2	Horas
1	Minutos
Especialización del personal necesario	
Gravedad	Nivel de especialización
3	Personal altamente especializado
2	Técnico de mantenimiento
1	Operario

Tabla 13: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia.

Medioambiente

Impacto de una falla a nivel ambiental	
Gravedad	Grado de impacto
3	Una falla puede provocar daños ecológicos severos o irreversibles
2	Puede provocar contaminación grave
1	Puede provocar contaminación leve

Tabla 14: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor medioambiente.
Fuente: Elaboración propia.

Seguridad

Riesgo para las personas	
Gravedad	Grado de accidente
4	La falla puede producir accidentes laborales fatales
3	Puede producir accidentes laborales con lesiones graves
2	Puede producir accidentes laborales leves
1	No hay riesgo
Riesgo para los equipos	
Gravedad	Nivel de riesgo
3	La falla puede inutilizar otros equipos.
2	Puede dañar a otros equipos
1	No hay riesgo

Tabla 15: Puntaje de subfactores pertenecientes al factor seguridad.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla de probabilidad

Probabilidad	
Elevada probabilidad de ocurrencia, no es nada extraño que suceda	3
Probabilidad de ocurrencia media, es posible, ya ha ocurrido	2
Probabilidad de ocurrencia baja, muy raro pero se sabe que ha ocurrido	1

Tabla 16: Cuantificación de probabilidad de ocurrencia.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo: Camiones (general)				
Factor	Criterios	Probabilidad	Gravedad	NRP
Producción	La falla produce demoras en la producción (probabilidad de que se produzca una falla que genere demoras)	1	1	1
	Tiempo de uso (probabilidad de que falle ese equipo)	2	3	6
	Influencia sobre otros equipos (probabilidad de que haya una falla que inflencie a otros equipos)	1	3	3
Calidad	Influencia en la calidad final del producto	1	2	2
	Pérdidas por no cumplir requisitos	2	1	2
Mantenimiento	Frecuencia de averías (probabilidad de que ocurra con esa frecuencia)	2	2	4
	La falla requiere de tiempo de parada del equipo	1	3	3
	La falla requiere personal especializado	2	2	4
Medio ambiente	Impacto de una falla a nivel ambiental	2	1	2
Seguridad	Riesgo para las personas	1	3	3
	Riesgo para los equipos	1	2	2
Suma total				32

Tabla 17: Puntaje de criticidad para camiones.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo: Mixer				
Factor	Criterios	Probabilidad	Gravedad	NRP
Producción	La falla produce demoras en la producción (probabilidad de que se produzca una falla que genere demoras)	1	1	1
	Tiempo de uso (probabilidad de que falle ese equipo)	2	2	4
	Influencia sobre otros equipos (probabilidad de que haya una falla que inflencie a otros equipos)	2	2	4
Calidad	Influencia en la calidad final del producto	2	3	6
	Pérdidas por no cumplir requisitos	2	1	2
Mantenimiento	Frecuencia de averías (probabilidad de que ocurra con esa frecuencia)	3	1	3
	La falla requiere de tiempo de parada del equipo	2	3	6
	La falla requiere personal especializado	2	2	4
Medio ambiente	Impacto de una falla a nivel ambiental	2	1	2
Seguridad	Riesgo para las personas	1	2	2
	Riesgo para los equipos	1	1	1
Suma total				35

Tabla 18: Puntaje de criticidad para *mixer*.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo: Pala cargadora				
Factor	Criterios	Probabilidad	Gravedad	NRP
Producción	La falla produce demoras en la producción (probabilidad de que se produzca una falla que genere demoras)	1	3	3
	Tiempo de uso (probabilidad de que falle ese equipo)	2	3	6
	Influencia sobre otros equipos (probabilidad de que haya una falla que inflencie a otros equipos)	1	1	1
Calidad	Influencia en la calidad final del producto	1	1	1
	Pérdidas por no cumplir requisitos	1	1	1
Mantenimiento	Frecuencia de averías (probabilidad de que ocurra con esa frecuencia)	2	1	2
	La falla requiere de tiempo de parada del equipo	1	3	3
	La falla requiere personal especializado	2	2	4
Medio ambiente	Impacto de una falla a nivel ambiental	2	1	2
Seguridad	Riesgo para las personas	1	3	3
	Riesgo para los equipos	1	2	2
Suma total				28

Tabla 19: Puntaje de criticidad para pala cargadora.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo: Bomba elevadora				
Factor	Criterios	Probabilidad	Gravedad	NRP
Producción	La falla produce demoras en la producción (probabilidad de que se produzca una falla que genere demoras)	1	3	3
	Tiempo de uso (probabilidad de que falle ese equipo)	2	2	4
	Influencia sobre otros equipos (probabilidad de que haya una falla que inflencie a otros equipos)	2	2	4
Calidad	Influencia en la calidad final del producto	1	1	1
	Pérdidas por no cumplir requisitos	2	1	2
Mantenimiento	Frecuencia de averías (probabilidad de que ocurra con esa frecuencia)	2	1	2
	La falla requiere de tiempo de parada del equipo	2	3	6
	La falla requiere personal especializado	1	3	3
Medio ambiente	Impacto de una falla a nivel ambiental	2	1	2
Seguridad	Riesgo para las personas	1	3	3
	Riesgo para los equipos	1	1	1
Suma total				31

Tabla 20: Puntaje de criticidad para bomba elevadora.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo: Tolva cementera				
Factor	Criterios	Probabilidad	Gravedad	NRP
Producción	La falla produce demoras en la producción (probabilidad de que se produzca una falla que genere demoras)	1	1	1
	Tiempo de uso (probabilidad de que falle ese equipo)	1	1	1
	Influencia sobre otros equipos (probabilidad de que haya una falla que inflencie a otros equipos)	1	1	1
Calidad	Influencia en la calidad final del producto	1	1	1
	Pérdidas por no cumplir requisitos	1	1	1
Mantenimiento	Frecuencia de averías (probabilidad de que ocurra con esa frecuencia)	2	1	2
	La falla requiere de tiempo de parada del equipo	2	2	4
	La falla requiere personal especializado	2	2	4
Medio ambiente	Impacto de una falla a nivel ambiental	1	2	2
Seguridad	Riesgo para las personas	1	2	2
	Riesgo para los equipos	1	1	1
Suma total				20

Tabla 21: Puntaje de criticidad para tolva cementera.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: Planta dosificadora				
Factor	Criterios	Probabilidad	Gravedad	NRP
Producción	La falla produce demoras en la producción (probabilidad de que se produzca una falla que genere demoras)	2	3	6
	Tiempo de uso (probabilidad de que falle ese equipo)	3	3	9
	Influencia sobre otros equipos (probabilidad de que haya una falla que inflencie a otros equipos)	2	3	6
Calidad	Influencia en la calidad final del producto	2	3	6
	Pérdidas por no cumplir requisitos	2	1	2
Mantenimiento	Frecuencia de averías (probabilidad de que ocurra con esa frecuencia)	2	2	4
	La falla requiere de tiempo de parada del equipo	2	2	4
	La falla requiere personal especializado	2	2	4
Medio ambiente	Impacto de una falla a nivel ambiental	1	2	2
Seguridad	Riesgo para las personas	1	3	3
	Riesgo para los equipos	1	2	2
Suma total				48

Tabla 22: Puntaje de criticidad para planta dosificadora.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra, en la figura 22, un gráfico resumen de los resultados.

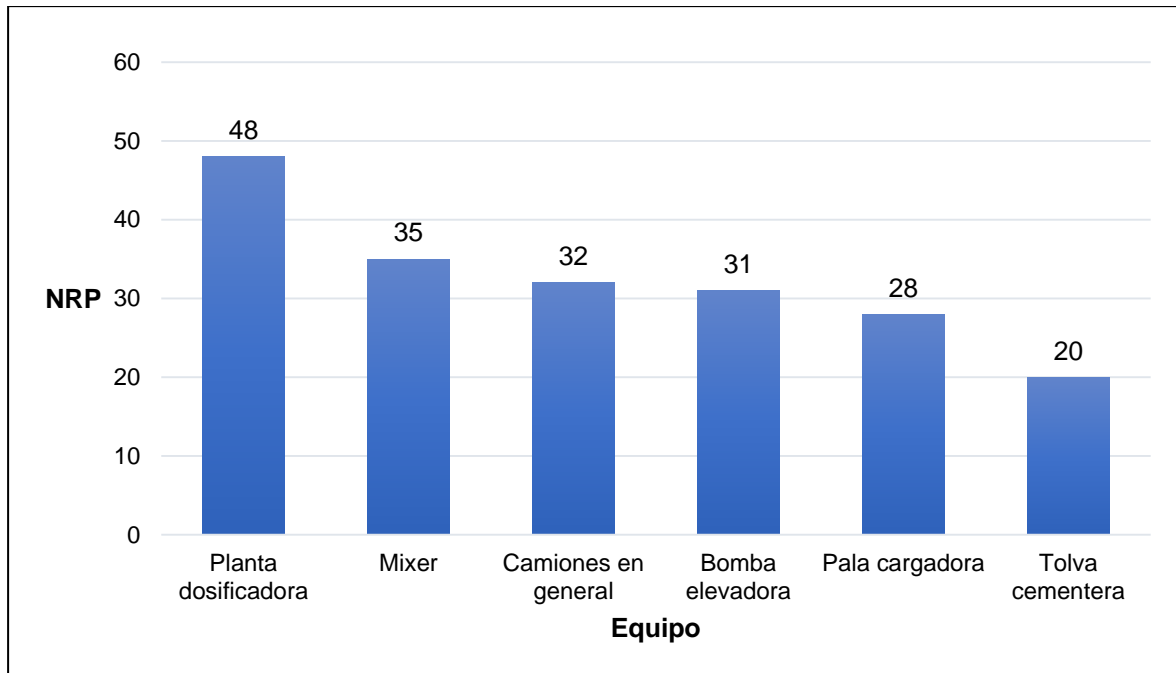


Figura 22: Resultado de análisis de criticidad.
Fuente: Elaboración propia.

La planta dosificadora posee el puntaje más elevado, siendo el equipo de mayor criticidad a considerar. Lo que concuerda con la realidad, dado que si bien la empresa cuenta con un respaldo, es de una capacidad mucho menor e insuficiente para cubrir la demanda de una jornada laboral normal. Además, es el centro de producción, de ocurrir una falla se detendrían la mayor parte de las actividades hasta que pueda volver a entrar en funcionamiento.

En cuanto al resto de los activos, cabe destacar que los *mixer* y el sistema de bomba elevadora fueron considerados por separado del propio camión. Por lo tanto tiene sentido que el mezclador obtuviese una mayor criticidad que el vehículo en sí. Dado que si tiene lugar una falla, se pone en riesgo la calidad del producto y es más probable que requiera un tiempo de parada. Uno de los motivos de la diferencia de puntaje entre la planta y los *mixer* es la cantidad de unidades disponibles. En caso de que uno de los últimos no pueda entregar el pedido por algún contratiempo, es posible enviar otra unidad como reemplazo.

En relación a las bombas elevadoras, tienen una menor influencia en la calidad final del producto. Aunque no se pueda bombear el hormigón, puede mantenerse en la motohormigonera hasta que se solucione el inconveniente o se disponga de un reemplazo. Pero, de surgir una falla, es más probable que requiera de personal especializado debido a la complejidad del equipo. Motivo por el cual la empresa terceriza el mantenimiento.

La baja puntuación de las palas cargadoras, a pesar de sólo contar con dos unidades y de diferente capacidad, se debe principalmente a la poca influencia que tienen sobre la calidad del producto. Sólo se dedican al movimiento de la materia prima, que de presentar defectos, no son consecuencia del activo. Además, normalmente las tolvas se encuentran cargadas. Es decir, no se espera a que estén vacías para recargar por lo que la planta puede continuar operando.

Finalmente, el reducido puntaje de las tolvas cementeras se debe a su bajo uso, sólo son necesarias para el transporte de cemento hasta los silos. Y su influencia en la calidad del material es escasa.

Como conclusión se llegó a que el principal equipo sobre el que trabajar es la planta dosificadora. Es el sistema de mayor criticidad. Adicionalmente, no posee un plan de mantenimiento establecido, ni información referida a detalles técnicos, marca, modelo, historial de fallas. Motivos por los que es de suma importancia establecer una base inicial sobre la que generar mejoras a futuro.

3.6. SISTEMA A ESTUDIAR Y DESCOMPOSICIÓN EN SUBSISTEMAS

El sistema sobre el que se realiza el trabajo es la planta dosificadora. Sin embargo, como se plantea en el listado de equipos, está formada por un conjunto de subsistemas cuya importancia varía debido a la existencia de duplicados, antigüedad, estado actual y tipo de mantenimiento que requieren y que se les realiza. Lo que conlleva a estudiar su prioridad.

La herramienta a utilizar es el cálculo del índice de confiabilidad. Aquel con menor valor será prioritario a la hora de establecer un plan.

Para aquellos con menor puntuación se elaborará un AMEF a partir del cual se establecerán las acciones. Para el resto se recopilarán las distintas tareas que se llevan a cabo actualmente, se buscará información sobre las realizadas a equipos similares, se las validará y se incorporarán al proyecto.

3.6.1. Cálculo de índice de confiabilidad

En la tabla 23 se muestran los factores básicos a utilizar en el cálculo.

Factor básico	Puntaje
Edad del equipo	10
Medio ambiente	10
Carga de trabajo	20
Apariencia física	30
Pruebas de funcionamiento	30
Total	100

Tabla 23: Puntaje de factores básicos.
Fuente: Elaboración propia.

Para otorgar el puntaje a cada factor se tuvo en cuenta la importancia relativa de cada uno a la hora de estudiar el estado de los equipos del proyecto. Por lo tanto el de apariencia física, correspondiente a inspecciones visuales o similares, y las pruebas de funcionamiento resultan de mayor consideración.

Se optó por dar importancia considerable a la carga de trabajo, medida como la posibilidad de contar con equipos de respaldo, ya que reduce las consecuencias en gran medida si el activo principal queda fuera de servicio.

De las tablas 24 a 26 se presentan los rangos para los factores selectivos. La 27 a 38 corresponden a los aditivos divididos en subfactores.

Edad del equipo	Puntaje
0 a 10 años	10
10 a 15 años	7
15 a 20 años	5
20 a 25 años	3
Más de 25 años	1

Tabla 24: Rango de puntaje para edad de equipo.
Fuente: Elaboración propia.

Medio ambiente de operación	Puntaje
Sin polvo, temperatura ambiente	10
Temperatura ambiente, presencia de polvo y suciedad	5
Temperatura superior a 30 °C, presencia de polvo y suciedad	1

Tabla 25: Rango de puntaje para medio ambiente de operación.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Carga de trabajo	Puntaje
Equipo con más de un respaldo	20
Equipo con un respaldo	10
Equipo único de funcionamiento continuo	5

Tabla 26: Rango de puntaje para carga de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

Apariencia física tolvas	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Carcasas	4	3
Sistema neumático	10	8
Cableado	6	5
Celdas de carga	10	9
Total	30	25

Tabla 27: Puntaje de inspecciones visuales para tolvas.
Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de funcionamiento tolvas	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Compuertas	15	14
Celdas de carga	15	13
Total	30	27

Tabla 28: Puntaje de pruebas de funcionamiento de tolvas.
Fuente: Elaboración propia.

Apariencia física sin fin	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Motor	10	7
Carcasa de tornillo	5	4
Bridas de conexión	4	3
Conexiones a la carcasa del tornillo	4	3
Tornillo	7	6
Total	30	23

Tabla 29: Puntaje de inspecciones visuales de tornillo sin fin.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Pruebas de funcionamiento sin fin	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Encendido del motor	10	10
Apertura de puertas de revisión	10	9
Funcionamiento del tornillo	10	9
Total	30	28

Tabla 30: Puntajes de pruebas de funcionamiento de tornillo sin fin.
Fuente: Elaboración propia.

Apariencia física silos	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Sistema de inyección de aire	7	6
Estructura del silo	7	6
Boca de carga y boca de descarga	5	4
Válvula de descarga	7	7
Escalera	4	1
Total	30	24

Tabla 31: Puntajes de inspecciones visuales de silos.
Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de funcionamiento silo	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Sistema de inyección de aire	15	15
Válvula de descarga	15	14
Total	30	29

Tabla 32: Puntaje de pruebas de funcionamiento de silos.
Fuente: Elaboración propia.

Apariencia física banda transportadora	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Rodillos	7	5
Banda	8	6
Estructura	5	3
Motor y sistema de transmisión	10	8
Total	30	22

Tabla 33: Puntaje de inspecciones visuales de banda transportadora.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Pruebas de funcionamiento banda transportadora	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Encendido del motor	15	14
Capacidad de carga	5	5
Velocidad de transporte	10	8
Total	30	27

Tabla 34: Puntaje de pruebas de funcionamiento de banda transportadora.
Fuente: Elaboración propia.

Apariencia física sistema de agua	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Cañería	4	3
Tanque de agua	3	3
Conjunto de bomba	10	7
Válvulas	6	3
Caudalímetro	7	7
Total	30	23

Tabla 35: Puntaje de inspecciones visuales de sistema de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de funcionamiento sistema de agua	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Encendido del motor y bomba	10	9
Apertura y cierre de válvulas	10	4
Caudalímetro	10	9
Total	30	22

Tabla 36: Puntaje de pruebas de funcionamiento de sistema de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Apariencia física compresores	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Cañerías	3	2
Válvulas	5	4
Motor/compresor	5	4
Manómetros	5	3
Presostato	6	6
Depósito	6	5
Total	30	24

Tabla 37: Puntaje de inspecciones visuales de compresores.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Pruebas de funcionamiento compresores	Puntaje máximo	Puntaje obtenido
Encendido motor/compresor	8	7
Válvulas	7	6
Manómetros	7	5
Presostato	8	8
Total	30	26

Tabla 38: Puntaje de pruebas de funcionamiento de compresores.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, las tablas 39 a 44, muestran los resultados para cada equipo y su índice de confiabilidad final.

Equipo: Tolvas		
Factor	Valor	Puntaje obtenido
Edad del equipo	10	7
Medio ambiente	10	5
Carga de trabajo	20	20
Apariencia física	30	25
Pruebas de funcionamiento	30	27
Confiabilidad total	100	84

Tabla 39: Confiabilidad de tolvas.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: Tornillos sin fin		
Factor	Valor	Puntaje obtenido
Edad del equipo	10	10
Medio ambiente	10	5
Carga de trabajo	20	10
Apariencia física	30	23
Pruebas de funcionamiento	30	28
Confiabilidad total	100	76

Tabla 40: Confiabilidad de tornillos sin fin.
Fuente: Elaboración propia.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo: Silos		
Factor	Valor	Puntaje obtenido
Edad del equipo	10	10
Medio ambiente	10	5
Carga de trabajo	20	20
Apariencia física	30	24
Pruebas de funcionamiento	30	29
Confiabilidad total	100	88

Tabla 41: Confiabilidad de silos.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: Bandas transportadoras		
Factor	Valor	Puntaje obtenido
Edad del equipo	10	7
Medio ambiente	10	5
Carga de trabajo	20	5
Apariencia física	30	22
Pruebas de funcionamiento	30	27
Confiabilidad total	100	66

Tabla 42: Confiabilidad de bandas transportadoras.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: Sistema de agua		
Factor	Valor	Puntaje obtenido
Edad del equipo	10	7
Medio ambiente	10	5
Carga de trabajo	20	5
Apariencia física	30	23
Pruebas de funcionamiento	30	22
Confiabilidad total	100	62

Tabla 43: Confiabilidad de sistema de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: Compresores		
Factor	Valor	Puntaje obtenido
Edad del equipo	10	10
Medio ambiente	10	5
Carga de trabajo	20	10
Apariencia física	30	24
Pruebas de funcionamiento	30	26
Confiabilidad total	100	75

Tabla 44: Confiabilidad de compresores.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 23 se aprecia un gráfico resumen de los resultados obtenidos.

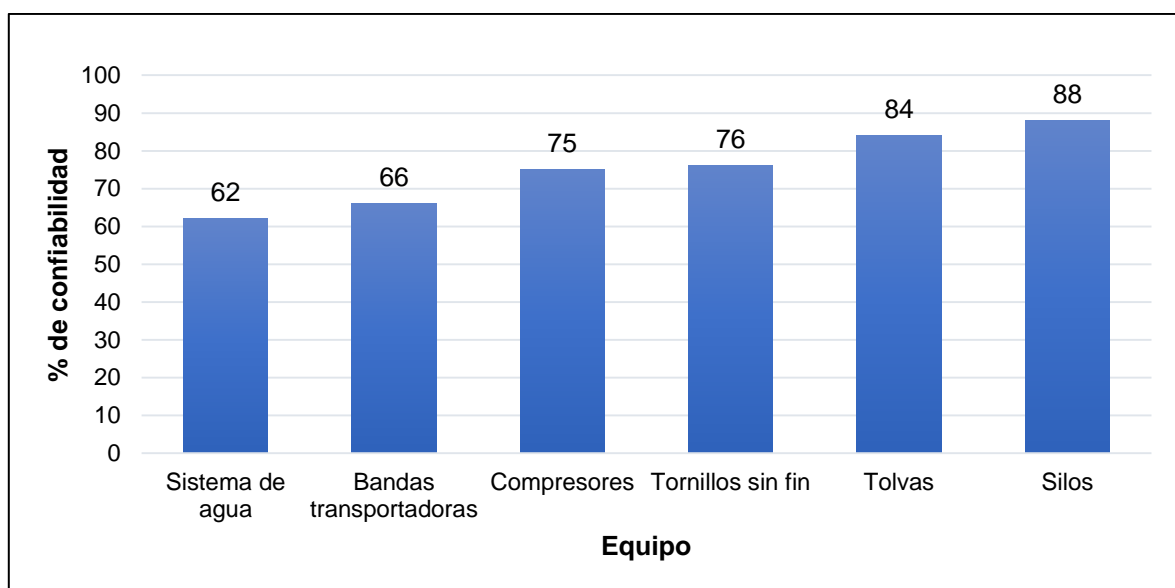


Figura 23: Comparación de índices de confiabilidad.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Conclusión del índice de confiabilidad

Los dos subsistemas con menor puntuación son el sistema de agua y las bandas transportadoras, por lo que se les aplicará la técnica AMEF.

Los resultados obtenidos son congruentes con la situación observada en la realidad. Las partes que reciben mayor mantenimiento, según se informó por los encargados, son las bandas y el sistema de agua. La falta de información documentada impidió corroborar este hecho. Al analizar los puntajes otorgados, se comprueba que son los únicos equipos que no cuentan con respaldo que pueda entrar en funcionamiento de forma inmediata. Lo que implica la detención del proceso productivo para realizar un cambio.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Por otro lado, ambos son esenciales para la fabricación de hormigón. El agua y su dosificación son de vital importancia para las características del producto. Y mediante la banda se logra colocar la materia prima en los camiones. Si se detienen, igual la planta y por ende el proceso productivo.

Para los dos existen repuestos en el taller. Sin embargo, su sustitución y puesta en marcha requiere un tiempo de trabajo durante el cual la planta no puede operar.

Para el resto de los subsistemas considerados (silos de cemento, tornillos sin fin, tolvas de pesaje y compresores) se establecerán las actividades de mantenimiento pertinentes a partir de datos de manuales o se basará en equipos similares utilizados en ambientes operativos semejantes. Por último, se consultará con los operarios de la planta aquellas tareas realizadas actualmente, para incorporarlas a la lista si corresponde. La recopilación se muestra en las tablas del anexo 1.

A continuación se dividen los subsistemas seleccionados en sus componentes:

- Sistema de agua:
 - Cañerías
 - Tanque de agua
 - Motor eléctrico
 - Impulsor de bomba
 - Válvulas mecánicas
 - Electroválvula
 - Caudalímetro
 - Cableado
 - Techo de bomba
 - Bocas de descarga
 - Filtro
- Banda transportadora
 - Rodillos de carga
 - Cinta
 - Estructura de soporte
 - Motor eléctrico
 - Correas
 - Poleas reductoras
 - Tambor motriz
 - Tambor de cola
 - Rodillos tensor
 - Rodillos de retorno
 - Reductor
 - Rodillos laterales
 - Cableado

3.7. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

El presente apartado muestra en la tabla 45 el AMEF para el sistema de agua y en la 46 el correspondiente a las bandas transportadoras. A partir de esta técnica se establecen las acciones preventivas para cada modo de falla identificado, y las correctivas, al considerarse que no es posible llevar a cabo ninguna del primer tipo.

Con las tareas se elabora un resumen, agrupando aquellas similares, repetidas y/o que pueden realizarse simultáneamente y se les asigna una frecuencia.

Entre los equipos no estudiados con esta técnica, existen algunos que cuentan con componentes similares a los analizados. En dichos casos se plantearon las mismas acciones que las obtenidas con el AMEF, variando la frecuencia según fue necesario.

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Cañerías	Permitir la circulación de agua desde el tanque hasta la boca de descarga, sin pérdidas	No permite la circulación de agua	Cañería tapada total o parcialmente	No llega agua a la boca de descarga. No se puede completar la mezcla del material. Se detiene el proceso. Se verifica si llega agua a la bomba identificando la sección con el problema. No hay presencia de charcos. Se procede a destapar la sección	Operacional: pérdida de tiempo, afecta la calidad del producto	-	Destapar cañería
			Cañería rota	No llega agua a la boca de descarga, se genera acumulación de agua en la zona. No se puede completar la mezcla de materiales. Se detiene el proceso. Se procede a reemplazar la sección	Operacional y seguridad: pérdida de tiempo, puede causar accidentes, afecta la calidad del producto	Inspección periódica en busca de indicios de rotura	
		Hay pérdidas	Cañería con fisuras o desperfectos	Se generan charcos de agua en la zona, disminuye el caudal a la salida. Si es necesario se detiene el proceso. Se emparcha la zona o se cambia la sección	Seguridad: puede causar accidentes	Inspección periódica en busca de indicios de rotura	
			Corrosión	Partículas de óxido en el flujo de agua, se pueden generar roturas en la cañería. Se observa corrosión en la tubería. Se detiene el proceso y se cambia la sección	Operacional: afecta la calidad del producto, puede dañar bomba de agua	Inspección en busca de signos de corrosión	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Tanque de agua	Almacenar y abastecer al sistema de agua limpia	No contiene el agua	Tanque dañado	Pérdidas de agua por las paredes del tanque, flujos de agua en las paredes, debilitamiento de la estructura. Se procede a vaciar el tanque y realizar las reparaciones	No operacional: costo de reparación del tanque	Revisar en busca de grietas	
		No abastece al sistema	Boca de salida obstruida	No llega agua a la boca de descarga ni a la bomba. No puede realizarse la mezcla de los materiales. Se detiene el proceso. Se accede al tanque y se destapa la boca de salida	Operacional: pérdida de tiempo	-	Destapar boca de salida y limpiar tanque
		El agua no está limpia	Presencia de sedimentos o materiales extraños en el tanque	Presencia de partículas de material extraño en el agua al final del sistema, tuberías tapadas. Vibración y ruido en la bomba. Afecta la calidad del producto si hay gran cantidad de partículas. Se vacía el tanque y se realiza su limpieza. Se revisa el filtro en la cañería y se lo reemplaza si está dañado	Operacional: afecta la calidad del producto, puede dañar bomba de agua	Limpieza periódica del tanque	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Válvulas mecánicas	Impedir/permitir el paso de agua	No impide el paso de agua	Válvula dañada	No se puede cortar el flujo de agua, la manija se acciona pero la válvula no funciona. Puede provocar exceso de agua en la mezcla. Se procede a desarmar la sección y reemplazar la válvula	No operacional: costo de reparación de válvula	Control de funcionamiento programado	
			No se puede cerrar la válvula	No se puede accionar la manija de la válvula. No se puede cortar el flujo de agua. Se procede a destrabar la manija limpiando la zona, o se cambia la válvula	No operacional: costo de reparación de válvula	Limpiar manija, accionar periódicamente	
		No permite la circulación de agua	No se puede abrir la válvula	No se puede accionar la manija de la válvula. No se puede incorporar el agua a la mezcla. Se detiene el proceso. Se procede a limpiar la manija y destrabar, o se cambia la válvula	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo	Limpiar manija, accionar periódicamente	
			Válvula dañada	No se puede abrir el flujo de agua, la manija se acciona pero la válvula no funciona. No se puede incorporar el agua a la mezcla. Se detiene el proceso. Se procede a desarmar la sección y reemplazar la válvula	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo	Control de funcionamiento programado	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Electroválvula	Impedir/permitir el paso de agua reaccionando a una señal eléctrica	No impide el paso de agua	Sistema eléctrico dañado	La válvula no se acciona, el flujo de agua no se detiene. Se desarma la sección y se reemplaza la electroválvula	No operacional: costo de reparación de la válvula	Control de funcionamiento periódico, reemplazo sistemático	
			No llega electricidad	La válvula no se acciona, el flujo de agua no se detiene. Se procede a revisar el cable de alimentación y reemplazar la sección dañada o todo el cable	No operacional: costo de reparación de la válvula	Revisión periódica del cableado	
			Válvula dañada	La válvula no se acciona, el flujo de agua no se detiene. Se procede a reemplazar la electroválvula	No operacional: costo de reparación de la válvula	Control de funcionamiento programado, inspección visual periódica	
		No permite la circulación de agua	Sistema eléctrico dañado	La válvula no se acciona, se mantiene en posición cerrada y no circula agua. Se detiene el proceso. Se desarma la sección y se reemplaza la electroválvula	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo, costo de reparación	Control de funcionamiento periódico, reemplazo sistemático	
			No llega electricidad	La válvula no se acciona, se mantiene en posición cerrada y no circula agua. Se detiene el proceso. Se desarma la sección y se reemplaza la electroválvula	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica del cableado	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Válvula dañada	La válvula no se acciona, se mantiene en posición cerrada y no circula agua. Se detiene el proceso. Se desarma la sección y se reemplaza la electroválvula	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo, costo de reparación	Control de funcionamiento programado, inspección visual periódica	
Filtro	Filtrar el agua, impidiendo el paso de partículas extrañas sin afectar el caudal	No impide el paso de partículas extrañas	Filtro dañado	Presencia de partículas de material extraño en el agua al final del sistema. Afecta la calidad del producto si hay gran cantidad de partículas. Se cambia el filtro y se revisa el tanque de agua	Operacional: afecta la calidad del producto	Recambio periódico del filtro de agua	
		Afecta el caudal de agua	Filtro tapado	El caudal de agua se reduce en la boca de descarga. El caudalímetro marca un caudal menor al normal. No hay presencia de charcos. Se verifica el filtro Se procede a limpiarlo	Operacional: pérdida de tiempo, afecta la calidad del producto	Limpieza periódica del filtro de agua	
Caudalímetro	Medir el caudal de agua que circula en la tubería	No mide el caudal de agua	Cableado dañado	El indicador de medición no funciona, se mantiene apagado. No se puede llevar un control del agua cargada en la cuba. Se revisa el cableado y conexiones en busca del fallo y se repara	Operacional: afecta la calidad del producto, costo de reparación	Revisión periódica del cableado	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Componentes internos dañados	No registra medición alguna. El indicador funciona pero no muestra medición. No se puede llevar un control del agua cargada en la cuba. Se detiene el proceso, y se reemplaza el caudalímetro	Operacional: afecta la calidad del producto, costo de reparación	Desmontaje, revisión y limpieza periódica	
Cableado eléctrico	Suministrar energía eléctrica al motor	No suministra energía eléctrica	Cableado dañado	El motor no enciende, se apaga. No hay tensión en los bornes del motor. Se acciona el termomagnético o el diferencial. Se detiene el proceso. Se inspecciona el cableado y los dispositivos de seguridad, se cambia si se encuentran daños	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica del cableado	
Techo de bomba	Proteger a la bomba y el motor del agua y posible caída de material	No protege	Techo dañado	Se filtra agua en el techo y se moja el motor, puede generar cortocircuito y que se apague el motor. Se reemplaza o repara el techo dañado	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica	
			Techo caído	Se filtra agua en el motor, puede provocar cortocircuito. Puede caer material sobre el motor provocando calentamiento. Se	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
				procede a colocar el techo y ajustarlo correctamente			
Bocas de descarga	Descargar el agua dentro de la boca de carga de la cuba del camión	No descarga el agua	Bocas tapadas con material	No fluye agua por alguna de las bocas de descarga de la cañería. Afecta al caudal de agua. Si la boca está tapada parcialmente el agua puede dispararse fuera de la cuba del camión, generando zonas con charcos. Se procede a limpiar el material acumulado	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo	Limpieza periódica de bocas	
Motor eléctrico	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, entregando una cantidad de revoluciones por minuto determinada en su eje	No convierte energía eléctrica en energía mecánica	No llega electricidad al motor	El motor no enciende o se apaga. No hay tensión en los bornes del motor. Se para el proceso. Personal revisa bornera del motor, cables y dispositivos de seguridad. Se procede a cambiar los dispositivos dañados o a cambiar/ reparar el cableado	Operacional: se detiene el proceso, pérdida de tiempo	Revisión periódica del cableado, bornes, limpieza de bornes. Inspección de tableros	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Bobinado quemado/dañado	Paro del proceso. El motor no enciende o se apaga, puede generar humo u olor a quemado. Rastros de quemadura si se observa el bobinado. Se acciona el termomagnético. Reemplazar por bomba de repuesto y enviar el dañado a reparación	Operacional: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y limpieza periódica del rotor y estator	
			Fallo de aislamiento	Se detiene el proceso. El motor se apaga, se acciona interruptor diferencial. Se cambia por equipo de repuesto y se busca el fallo de aislamiento	Operacional y seguridad: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, puede causar lesiones en las personas si se da un fallo en el interruptor diferencial	Revisión periódica de resistencia y tableros	
		No entrega la cantidad necesaria de revoluciones por minuto en el eje	Rodamientos dañados	Pérdida de potencia en el eje, funciona frenado, elevado consumo de electricidad, aumento de temperatura de los rodamientos. Presencia de vibraciones y/o ruido excesivo. Reemplazar por bomba de repuesto, y cambiar los rodamientos	Operacional: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, lubricación y recambio periódicos	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Suciedad	Elevación de la temperatura en la carcasa externa. Puede generar vibraciones por presencia de partículas extrañas. Mal funcionamiento del ventilador. Se reemplaza por bomba de repuesto y se limpia, se cambia el ventilador si es necesario	Operacional: pérdida de tiempo	Limpieza y verificación del ventilador periódicas	
Impulsor de la bomba	Impulsar el agua hasta el punto de descarga del sistema sin pérdidas	No impulsa el agua	Boca de entrada obstruida	No llega agua al punto de descarga del sistema. El agua llega a la bomba pero no sale. El caudalímetro no registra medición. No se puede realizar la mezcla de materiales. Se detiene el proceso. Se desconecta el equipo y se limpia la cañería de entrada	Operacional: pérdida de tiempo		Destapar boca de entrada
			Rodamientos dañados	El eje no gira, no llega agua al punto de descarga. Ruido y vibración en la bomba. Aumento de temperatura de los rodamientos. Se detiene el proceso. Se reemplaza por equipo de repuesto y se cambian los rodamientos	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, lubricación y recambio periódicos	

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			El impulsor gira en sentido contrario	El agua no es impulsada al punto de descarga. La bomba gira y el agua llega a la bomba pero no al punto de descarga. Se procede a revisar la caja de conexiones del motor e inspeccionar el cableado para asegurarse que las fases estén conectadas correctamente	Operacional: pérdida de tiempo	Revisión luego de realizar mantenimiento al motor o la bomba	
			Álabes dañados	El agua no es impulsada al punto de descarga, mayor consumo eléctrico, calentamiento del motor, vibraciones. El eje gira libre. Se detiene el proceso. Se reemplaza por equipo de repuestos, remover impulsor y cambiar por uno nuevo	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica	
			Punto de descarga demasiado elevado/falta de potencia	No llega agua al punto de descarga, la bomba funciona correctamente y no hay obstrucción de cañerías. Aumento del consumo eléctrico. Aumento de temperatura. Se cambia el equipo por uno de mayor potencia	Operacional: pérdida de tiempo	Revisión luego de instalación	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
		Caudal impulsado insuficiente	Álabes dañados	Menor caudal de agua en el punto de descarga, mayor consumo eléctrico, calentamiento del motor, vibraciones. Se reemplaza por equipo de repuesto y se cambia el impulsor dañado	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica	
			Boca de salida obstruida parcialmente	Disminución del caudal en el punto de descarga, aumento de consumo eléctrico. El agua llega a la bomba. Vibraciones en el impulsor. Se desconecta la cañería de salida y se limpia	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo		Destapar boca de salida.
			Rodamientos dañados	No llega suficiente agua al punto de descarga, funciona frenado, elevado consumo de electricidad, aumento de temperatura de los rodamientos. Presencia de vibraciones y/o ruido excesivo. Reemplazo por bomba de repuesto, y se procede a reemplazar los rodamientos	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, lubricación y recambio periódicos	

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Punto de descarga demasiado elevado/falta de potencia	No llega suficiente agua al punto de descarga, la bomba funciona correctamente y no hay obstrucción de cañerías. Aumento del consumo eléctrico. Aumento de temperatura. Se cambia el equipo por uno de mayor potencia	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo	Revisión luego de instalación	
			Sello mecánico dañado	No llega suficiente agua al punto de descarga, pérdidas de agua que pueden generar charcos. Se filtra agua al motor pudiendo provocar cortocircuito, se acciona el termomagnético. Reemplazar por equipo de repuesto y cambiar sello mecánico	Operacional: afecta la calidad del producto, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica	
		Hay pérdidas de agua en el equipo	Sello mecánico gastado	Se filtra agua a través del sello, se observa pérdida de agua en el área del eje, y se puede generar humedad o charcos en la zona de operación. Se reemplaza el equipo por el repuesto y se cambia el sello mecánico	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica	

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Empaque gastado	Se evidencia pérdida de agua por las uniones de la carcasa. Se generan zonas de humedad o charcos. Se reemplaza por equipo de repuesto y se cambia el empaque	No operacional: costo de reparación	Revisión periódica	

Tabla 45: Análisis AMEF del sistema de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Cinta	Transportar la carga desde el punto de origen al punto de descarga, con una velocidad determinada	No transporta la carga hasta el punto de descarga	Cinta dañada	El material a transportar se cae de la banda, agujeros o cortes en la cinta por donde cae el material, se puede cortar la cinta, se puede desalinear. Se detiene el proceso y se reemplaza por repuesto, o se emparcha en el momento. Se verifica la alineación	Operacional: desperdicio de material, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión (emparchar zonas con indicios de daños, reemplazar por repuesto si es necesario para realizar el trabajo), alinear de ser necesario	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
		No funciona a la velocidad determinada	Cinta gastada	Pérdida de fricción con el tambor motriz, pérdida de velocidad, el tambor gira a mayor velocidad que la cinta, desalineación de la cinta. Se detiene el proceso y se cambia por repuesto, se verifica la alineación de la cinta	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica, cambio por repuesto de ser necesario, alineación	
			Cinta no tensada	Pérdida de fricción con el tambor motriz, pérdida de velocidad, el tambor gira a mayor velocidad que la cinta, el rodillo tensor no gira o no lo hace de forma continua, desalineación de la cinta. Se detiene el proceso y se cambia rodillo tensor, si persiste, se cambia la cinta y se verifica alineación	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica de banda y rodillo tensor, reemplazar rodillo tensor si es necesario, alineación periódica	
Rodillos de carga	Soportar la banda transportadora y la carga y acompañar el	No soporta la banda y la carga	Desgaste	Se evidencia separación entre el rodillo y la banda, el rodillo no gira o lo hace de forma	Operacional: desperdicio de material, costo de reparación	Revisión y limpieza periódica de rodillos. Cambiar rodillo si es necesario	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
	movimiento de la banda (darle forma a la banda)			intermitente, se forma una zona de depresión en la banda. Se detiene el proceso y se cambia el rodillo y se verifica la alineación de la banda			
		No acompaña el movimiento	Desgaste	Se evidencia separación entre el rodillo y la banda, el rodillo no gira o lo hace en forma intermitente, desalineación de la banda. Se detiene el proceso y se cambia el rodillo y se verifica la alineación de la banda	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y limpieza periódica de rodillos. Cambiar si es necesario. Verificar alineación de la banda	
Rodillo tensor	Tensionar la banda transportadora	La banda no está tensada	Desgaste	Pérdida de fricción de la banda con el tambor motriz, pérdida de velocidad, el rodillo tensor no hace contacto y no gira o lo hace de forma intermitente o frenada. Se cambia el rodillo	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, limpieza periódica	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Rodillos de retorno	Acompañar y sostener la banda transportadora en el recorrido de retorno	No sostiene la banda	Desgaste	Se evidencia separación entre el rodillo y la banda, el rodillo no gira. Se detiene el proceso y se procede a cambiar el rodillo	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Limpeza y revisión periódicas, cambiar rodillo de ser necesario	
		No acompaña el movimiento	Desgaste	Se evidencia separación entre el rodillo y la banda, el rodillo no gira o lo hace en forma intermitente. Se detiene el proceso y se procede a cambiar el rodillo	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Limpeza y revisión periódicas, cambiar rodillo de ser necesario	
Rodillos laterales	Servir como sistema de alineado automático acompañando el movimiento de la banda	No acompañan el movimiento de la banda	Desgaste	El rodillo no gira o lo hace de forma intermitente, se puede desalinear la banda, desgaste de la banda. Se cambian los rodillos y se procede a alinear la banda	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Limpeza y revisión periódicas, cambiar rodillo si es necesario. Verificar alineación de la banda	
Correas	Transferir el movimiento del eje del motor a la polea reductora de la banda	No transfiere el movimiento	Correa cortada	La banda se detiene, el eje del motor gira libre, detención del proceso. Se procede a colocar nueva correa. Se cambian todas las correas	Operacional: detención del proceso, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y cambio de correa periódico	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Desgaste	Pérdida de velocidad en la banda transportadora, chirrido de rozamiento, la correa patina sobre las poleas o el motor. Se cambian todas las correas	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y recambio cíclico	
			Estiramiento	Pérdida de velocidad en la banda transportadora, chirrido de rozamiento, la polea o el motor patinan en la correa. Recambio de todas las correas	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y recambio cíclico	
Poleas reductoras	Reducir la velocidad angular del eje del motor y transferirla a través del eje al tambor motriz de la banda transportadora	No transfiere el movimiento adecuadamente	Desgaste	Pérdida de velocidad en la banda transportadora, chirrido de rozamiento, la correa patina sobre la polea. Se cambia la polea	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y limpieza periódica.	
			Falta de lubricación	Posible pérdida de velocidad en la banda, elevación de la temperatura de los rodamientos. Ruido excesivo. Se procede a lubricar, y cambiar los rodamientos si es necesario	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Lubricación periódica	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Tambor motriz	Transferir movimiento a la banda transportadora a través de la fricción	No transfiere el movimiento	Desgaste	Pérdida de roce entre la banda y el tambor, reducción en la velocidad de la banda, el tambor gira libremente, se puede desalinear la banda. Detención del proceso. Se cambia el tambor motriz, se lubrica y se procede a alinear la banda	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, limpieza periódica, reemplazo cíclico y alineación de la banda	
			Falta de lubricación	El tambor motriz funciona frenado, pérdida de velocidad de la banda, elevación de temperatura de rodamientos. Ruido excesivo. Se procede a lubricar, y cambiar los rodamientos si es necesario	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, lubricación y limpieza periódica	
Tambor de cola	Permitir el retorno de la banda una vez que esta termino el recorrido en el tramo portante	No acompaña el movimiento de la banda	Desgaste	Pérdida de roce entre la banda y el tambor, reducción en la velocidad de la banda, el tambor no gira, se puede desalinear la banda. Se cambia el tambor de cola, se lubrica y se procede a alinear	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, limpieza periódica, reemplazo cíclico y alineación de la banda	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Falta de lubricación	El tambor funciona frenado, aumento de temperatura de rodamientos. Ruido excesivo. Se procede a lubricar los rodamientos del tambor. Se cambian si es necesario	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, lubricación y limpieza periódica	
Estructura de soporte	Soportar todo el sistema de la banda transportadora de forma estable y alineada	No soporta el sistema	Corrosión	Puede debilitar la estructura provocando vibraciones, desprendimiento de partes, desalineación del equipo. Se evidencia óxido en la zona. Se detiene el proceso, se elimina y reemplaza la sección corroída o se la refuerza	Operacional y seguridad: pérdida de tiempo, puede lesionar personas si se desprende una parte del equipo	Inspecciones periódicas	
			Parte de la estructura dañada	Puede generar vibraciones, caída de partes, desalineación de la banda o los ejes. Daños en los equipos. Se detiene el proceso y se procede a reparar y asegurar la sección dañada, se verifica la alineación	Operacional y seguridad: pérdida de tiempo, puede lesionar personas si se desprende una parte del equipo	Inspecciones periódicas	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
		No es estable	Corrosión	Puede generar vibraciones en la estructura o en los mismos elementos, desprendimiento de partes, desalineación del equipo. Se procede a revisar los elementos de unión y ajustarlos de ser necesario	Operacional y seguridad: pérdida de tiempo, puede lesionar personas si se desprende una parte del equipo	Inspecciones y ajustes periódicos	
			Parte de la estructura dañada	Puede generar vibraciones, desprendimiento de partes, desalineación de la banda o los ejes. Daños en los equipos. Se detiene el proceso y se procede a reparar y asegurar la sección dañada, se verifica la alineación	Operacional y seguridad: pérdida de tiempo, puede lesionar personas si se desprende una parte del equipo		Inspecciones periódicas
Reductor	Reducir la velocidad angular del eje del motor y transferirla a través del eje al tambor motriz de la banda transportadora	No reduce la velocidad adecuadamente	Rodamientos dañados	Ruido anormal y/o vibraciones en el reductor, pérdida de velocidad en la banda. Aumento de temperatura en los rodamientos. Se retira el reductor y se cambian los rodamientos	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación		Se cambia el reductor

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
			Engranajes dañados/gastados	Ruido anormal y/o vibraciones en el reductor, pérdida de velocidad en la banda, puede ocasionar la detención del equipo. Se retira el equipo y se envía a reparación	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación		Se cambia el reductor
			Falta de lubricante	Elevación de temperatura, puede provocar agarrotamiento, desgaste, pérdida de velocidad en la banda. Se detiene el proceso y se procede a lubricar. Si los daños son considerables, se retira el reductor y se envía a reparación	Operacional: pérdida de tiempo, costo de reparación	Lubricación y limpieza del equipo periódica	
		No transmite movimiento	Engranajes dañados	La banda no se mueve o reducción apreciable de la velocidad, ruidos anormales, vibraciones. Puede funcionar el motor y no moverse los tambores. Se envía a reparación	Operacional: el proceso se detiene, pérdida de tiempo, costo de reparación		Se cambia el reductor (correctivo)

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Motor eléctrico	Convertir energía eléctrica en energía mecánica, entregando una cantidad de revoluciones por minuto determinada en su eje	No convierte energía eléctrica en energía mecánica	No llega electricidad al motor	El motor no enciende o se apaga. No hay tensión en los bornes. Se para el proceso. Personal revisa bornera del motor, cables y dispositivos de seguridad. Se procede a cambiar los dispositivos dañados o a cambiar/ reparar el cableado	Operacional: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión periódica del cableado, bornes, limpieza de bornes. Inspección de tableros	
			Bobinado quemado/dañado	Paro del proceso. El motor no enciende o se apaga, puede generar humo u olor a quemado. Rastros de quemadura si se observa el bobinado. Se acciona el termomagnético. Reemplazo por motor de repuesto y se envía el dañado a reparación	Operacional: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión y limpieza periódica del rotor y del estator	
			Fallo de aislamiento	Se detiene el proceso. El motor se apaga, se acciona interruptor diferencial. Se cambia por motor de repuesto y se	Operacional y seguridad: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, puede	Revisión periódica de resistencia, interruptor diferencial y cableado	

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
				busca el fallo de aislamiento	causar lesiones en las personas si se da un fallo en el interruptor diferencial		
		No entrega la cantidad necesaria de revoluciones por minuto en el eje	Rodamientos dañados	Pérdida de potencia en el eje, funciona frenado, elevado consumo de electricidad, aumento de temperatura de los rodamientos. Presencia de vibraciones y/o ruido excesivo. Reemplazo por motor de repuesto, reemplazar rodamientos	Operacional: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, costo de reparación	Revisión, lubricación y recambio periódicos	
			Suciedad	Elevación de la temperatura del motor, notoria en la carcasa externa. Puede generar vibraciones por presencia de partículas extrañas. Mal funcionamiento del ventilador. Se detiene el motor y se limpia, se cambia el ventilador si es necesario	Operacional: pérdida de tiempo		

Equipo	Función	Falla	Modo de falla	Efecto de falla	Tipo de consecuencia	Acciones preventivas	Acciones correctivas
Cableado	Suministrar energía eléctrica al motor	No suministra energía eléctrica	Cableado dañado	El motor no enciende, se apaga. No hay tensión en los bornes del motor. Se acciona el termomagnético o el diferencial. Se detiene el proceso. Se inspecciona el cableado y los dispositivos de seguridad, se cambia si se encuentran daños	Operacional y seguridad: se detiene el proceso, pérdida de tiempo, puede causar lesiones en las personas	Revisión periódica del cableado	

Tabla 46: Análisis AMEF de bandas transportadoras.
Fuente: Elaboración propia.

3.8. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las tablas 47 a 52 presentan los planes de mantenimiento preventivo para los distintos equipos con las tareas a realizar y, marcada con un cruz, su frecuencia. En aquellas que deban ejecutarse cada más de dos años o que dependan de otro factor, se aclara la condición.

Para la elaboración se tuvo en cuenta el manual de los silos fijos ST75 (TECNUS S.R.L., 2019). El “Manual general de instalación, operación y mantenimiento de motores eléctricos” de la empresa WEG (2019). Los trabajos de grado de Arias Ulloa (2011), Zumba Novay y Chafra Auquilla (2016) y Bustios Orellana (2014) asociados a planes para centrales hormigoneras similares a la estudiada.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Sistema de agua	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Inspección por indicios de rotura y corrosión en cañerías				X					
Revisar tanque de agua en busca de material extraño y grietas							X		
Limpieza del tanque de agua							X		
Control de funcionamiento de válvulas mecánicas						X			
Limpiar y accionar manijas de válvulas						X			
Control de funcionamiento de electroválvula				X					
Revisión de cableado de electroválvula				X					
Inspección visual y limpieza de electroválvula				X					
Reemplazo de fuelle de electroválvula								X	
Limpieza del filtro							X		
Revisión de cableado de caudalímetro						X			
Desmontaje y limpieza de caudalímetro								X	
Revisión del cableado eléctrico				X					
Revisión techo de bomba	X								
Limpieza de bocas de descarga		X							
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes						X			

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Sistema de agua	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Revisión y limpieza del rotor/estator								X	
Revisión de rodamientos y eje (ruidos, vibraciones, alineación)						X			
Lubricar rodamientos	Si se detecta presencia de vibraciones o ruidos anómalos durante revisión								
Recambio de rodamientos	Si a pesar de ser lubricado, el ruido y vibraciones continúan, o cada 5 años (10.000 horas aprox.)								
Revisión de resistencia de aislamiento del motor								X	
Revisión y prueba de tableros (de mando y eléctricos)				X					
Limpieza de motor, chequeo del ventilador, acople y sellado				X					
Limpieza general del impulsor de la bomba					X				
Revisión de álabes					X				
Revisión del sello de la bomba					X				
Revisión del empaque de la bomba			X						

Tabla 47: Plan de mantenimiento preventivo para el sistema de agua.
Fuente: Elaboración propia.

Bandas transportadoras	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Revisión de daños/desgaste de cinta		X							
Revisión/Alineación	X								
Revisión y limpieza de rodillos de carga				X					

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Bandas transportadoras	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Revisión y limpieza de rodillo tensor				X					
Limpieza y revisión de rodillos de retorno					X				
Limpieza y revisión de rodillos laterales					X				
Revisión de correas (desgaste / daños)				X					
Recambio de correas						X			
Revisión y limpieza de poleas (desgaste /daños)						X			
Lubricar poleas			X						
Revisión, limpieza de tambor motriz (desgaste / daños)						X			
Lubricar tambor motriz			X						
Revisión, limpieza de tambor de cola (desgaste / daños)						X			
Lubricar tambor de cola			X						
Inspección estructural (daños / corrosión / elementos de ajuste)		X							
Limpieza de estructura						X			
Revisión de rodamientos y engranajes del reductor (ruido, vibraciones)							X		
Lubricación y limpieza del reductor							X		
Revisión de cableado y bornes del						X			

Bandas transportadoras	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
motor, limpieza de bornes									
Revisión y limpieza del rotor/estator								X	
Revisión de rodamientos y eje (ruidos, vibraciones, alineación)						X			
Lubricar rodamientos	Si se detecta presencia de vibraciones o ruidos anómalos durante revisión								
Recambio de rodamientos del motor	Si a pesar de ser lubricado el ruido y vibraciones continúan, o cada 5 años (10.000 horas aprox.)								
Revisión de resistencia de aislamiento del motor								X	
Revisión y prueba de tableros (de mando y eléctricos)				X					
Limpieza de motor, chequeo del ventilador, acople y sellado				X					

Tabla 48: Plan preventivo para bandas transportadoras.
Fuente: Elaboración propia.

Silos	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Inspección de fluidificadores, verificar funcionamiento				X					
Limpieza de fluidificadores externa/interna						X			
Desagote de pulmón	X								
Inspección de estructura y escaleras							X		
Limpieza de estructura								X	

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Silos	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Prueba de funcionamiento de válvula de descarga						X			
Inspección de conexión de boca de descarga				X					
Inspección de mangueras de aire		X							
Inspección de pistones neumáticos				X					
Limpieza de pistones neumáticos				X					
Inspección de electroválvulas				X					
Limpieza de electroválvulas						X			
Reemplazo de fuelle/rotación de electroválvulas	Al detectar pérdidas o disminución del flujo durante las inspecciones								
Revisión y limpieza de válvulas direccionales				X					

Tabla 49: Plan preventivo para silos.
Fuente: Elaboración propia.

Tornillos sin fin	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Inspección de carcasa						X			
Limpieza de carcasa							X		
Inspección de mangas de unión				X					
Inspección y limpieza de rodamientos del sin fin				X					
Inspección de aletas del tornillo							X		

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

<u>Tornillos sin fin</u>	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Lubricación de rodamientos del sin fin				X					
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes						X			
Revisión y limpieza del rotor/estator								X	
Lubricar rodamientos de motor	Si se detecta presencia de vibraciones o ruidos anómalos durante revisión								
Revisión de rodamientos y eje (ruidos, vibraciones, alineación)						X			
Recambio de rodamientos del motor	Si a pesar de ser lubricado, el ruido y vibraciones continúan, o cada 5 años (10.000 horas aprox.)								
Revisión de resistencia de aislamiento del motor								X	
Revisión y prueba de tableros (de mando y eléctricos)				X					
Limpieza de motor, chequeo del ventilador, acople y sellado						X			
Revisión de rodamientos del reductor							X		
Recambio de rodamientos del reductor	Presencia de vibraciones/ruidos anómalos durante revisión, o cada 4 años (7000 horas aprox.)								
Revisión de engranajes del reductor							X		
Lubricación y limpieza del reductor								X	

Tabla 50: Plan preventivo para transportadores de tornillo sin fin.
Fuente: Elaboración propia.

<u>Tolvas</u>	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Inspección de estructura				X					

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Tolvas	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Limpieza de estructura						X			
Inspección de celdas de carga				X					
Calibración de celdas de carga								X	
Limpieza de celdas de carga				X					
Inspección del cableado				X					
Inspección de mangueras de aire		X							
Inspección de pistones neumáticos				X					
Limpieza de pistones neumáticos				X					
Lubricación de sistema neumático			X						
Limpieza de filtro de sistema neumático			X						
Inspección de electroválvulas				X					
Limpieza de electroválvulas				X					
Reemplazo de electroválvulas	Si durante la revisión se detectan pérdidas / Correctivo								
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes (vibrador)				X					
Revisión y limpieza de rotor/estator								X	
Revisión de rodamientos (ruidos, vibraciones)						X			
Lubricar rodamientos del motor	Si se detecta presencia de vibraciones o ruidos anómalos durante revisión								
Recambio de rodamientos del motor	Si a pesar de ser lubricado el ruido y vibraciones continúan, o cada 5 años (10.000 horas aprox.)								
Revisión de resistencia de aislamiento del motor								X	

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Tolvas	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Revisión y prueba de tableros (de mando y eléctricos)				X					
Limpieza de motor, chequeo del ventilador y sellado						X			

Tabla 51: Plan preventivo para tolvas.
Fuente: Elaboración propia.

Compresores	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Limpieza del equipo				X					
Inspección de almacenamientos		X							
Inspección/recambio de correa						X			
Lubricar compresor					X				
Inspección de polea						X			
Purga del compresor		X							
Inspección de mangueras y cañerías		X							
Inspección de válvulas				X					
Limpieza de filtros de aire						X			
Inspección de manómetros		X							
Inspección de presostato				X					
Limpieza de presostato				X					
Inspección de válvula de seguridad	X								
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes						X			

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Compresores	Diario	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral	Anual	2 años
Revisión de rodamientos y eje (ruidos, vibraciones, alineación)						X			
Lubricar rodamientos	Si se detecta presencia de vibraciones o ruidos anómalos durante revisión								
Recambio de rodamientos del motor/equipo compresor	Si a pesar de ser lubricado, el ruido y vibraciones continúan, o cada 5 años (10.000 horas aprox.)								
Limpieza de motor, chequeo del ventilador y sellado				X					
Revisión de resistencia de aislación del motor								X	
Revisión y prueba de tableros (de mando, eléctricos y emergencia)				X					

Tabla 52: Plan preventivo para compresores.
Fuente: Elaboración propia.

3.9. RELACIONADO A LA SEGURIDAD

Para poder trabajar en las instalaciones es obligatorio el uso de EPP, estando correctamente señalado en distintas ubicaciones del predio. Para operar en las inmediaciones de la planta dosificadora se debe contar con:

- Calzado de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Casco.
- Protectores auditivos (zona de carga de camiones).
- Barbijo (zona de carga de camiones).
- Protección ocular.
- Ropa de trabajo.

Lo anterior no es una recomendación del presente trabajo, es un requisito de la empresa y fue establecido dadas las características del proceso productivo y del ambiente laboral. Se consideró que esta era la única forma de gestionar la seguridad de los empleados.

Dado que ciertas actividades del plan presentan riesgo en su ejecución, se desarrolló la evaluación a través del método Fine. Se llevó a cabo para las siguientes categorías, que engloban aquellas en que se detectó peligro: tareas con o en presencia de tensión (a), que requieren trabajar en altura (b), con máquinas que normalmente están en movimiento o poseen partes móviles (c).

- a) La persona puede entrar en contacto con elementos tensionados ya sea debido a un requerimiento o por accidente. La revisión de cableado y conexiones de motores implican retirar la tapa y acceder a la bornera. Lo mismo sucede al analizar la resistencia de aislamiento. El cuidado de los tableros requiere remover la cubierta protectora dejando expuestos los terminales. La revisión de cables en busca de daños en el material aislante puede llevar al contacto accidental con el conductor.
- b) Deben desempeñarse a una distancia superior a 2m del nivel del suelo, sobre una depresión de más de 2m de profundidad o existiendo máquinas en movimiento debajo. Las principales tareas a considerar son la revisión y limpieza del tanque de agua, tuberías y silos (más de 10m), todo tipo de actividad en la sección elevada de la banda principal (aproximadamente 3m y maquinaria operando debajo). La limpieza e inspección de las tolvas de áridos

ubicadas sobre una depresión que ronda 3 m y dentro de la que se encuentran las cintas transportadoras secundarias (partes móviles).

- c) Incluye las asociadas a las bandas de transporte y que se realizan sobre componentes como rodillos, correas y poleas, o en sus proximidades (por ejemplo, la revisión de los bornes del motor que se encuentra a menos de 30 centímetros de la polea). Actividades que se desarrollan a centímetros del sistema de transmisión de movimiento del compresor, que enciende de forma automática y sin aviso. Por último, la inspección de las aletas del tornillo sin fin dado que es necesario abrir las tapas de la carcasa.

En la evaluación no se incluye el contacto con sustancias químicas provenientes del mantenimiento y limpieza debido a que la única presente en el plan es la grasa de litio, como lubricante. Según su hoja de seguridad (Lubrax, 2019) no presenta riesgos específicos bajo condiciones normales de uso.

En la tabla 53 se muestran los resultados obtenidos del análisis.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Actividad	Tipo de peligro	Consecuencias para la SST	G	F	P	GR	Nivel de riesgo
Revisión de cableado y bornes de motor, limpieza de bornes	Presencia de tensión	Quemadura grave, caída, lesión por contracciones	7	2	3,0	42	Posible
Revisión de resistencia de aislamiento de motor	Presencia de tensión	Contusión por caída, contracción muscular	1	1	1,0	1	Aceptable
Revisión y prueba de tableros (de mando y eléctricos)	Presencia de tensión	Quemadura grave, caída, lesión por contracciones	7	2	3,0	42	Posible
Limpieza de tableros	Presencia de tensión	Quemadura grave, caída, lesión por contracciones	7	2	3,0	42	Posible
Revisión de cableado eléctrico	Presencia de tensión	Quemaduras, contracción muscular, caída	3	2	0,5	3	Aceptable
Limpieza de motor, chequeo de ventilador, acople y sellado	Presencia de tensión	Quemaduras, contracción muscular, caída	3	2	1,0	6	Aceptable
Revisión de tanque de agua	Trabajo en altura	Muerte por caída, fracturas, contusiones	15	1	3,0	45	Posible
Revisión de tuberías	Trabajo en altura	Muerte por caída, fracturas, contusiones	15	1	1,0	15	Aceptable
Limpieza de tanque de agua	Trabajo en altura	Muerte por caída, fracturas, contusiones	15	1	3,0	45	Posible
Inspección de silos	Trabajo en altura	Muerte por caída, fracturas, contusiones	15	1	3,0	45	Posible
Todo trabajo a realizar en la parte alta de la banda principal	Trabajo en altura	Fracturas, contusiones	3	3	1,0	9	Aceptable
Todo trabajo a realizar sobre los motores en la parte alta de la banda principal	Trabajo en altura	Fracturas, contusiones	3	2	1,0	6	Aceptable
Limpieza de silos	Trabajo en altura	Muerte por caída, fracturas, contusiones	15	1	3,0	45	Posible
Revisión por daños y desgaste de banda transportadora	Máquina con movimiento transversal	Amputación, fracturas	7	3	6,0	126	Notable
Alineación de banda transportadora	Máquina con movimiento transversal	Amputación, fracturas	7	6	6,0	252	Alto
Revisión y limpieza de rodillos de carga	Máquina con	Amputación, fracturas	7	2	3,0	42	Posible

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Actividad	Tipo de peligro	Consecuencias para la SST	G	F	P	GR	Nivel de riesgo
	movimiento transverso						
Revisión y limpieza de rodillo tensor	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas	7	2	3,0	42	Posible
Revisión y limpieza de rodillos de retorno	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas	7	1	6,0	42	Posible
Revisión y limpieza de rodillos laterales	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas	7	1	3,0	21	Posible
Revisión de correas de banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Quemaduras por roce, fracturas	3	2	3,0	18	Aceptable
Recambio de correas de banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Quemaduras por roce, fracturas	3	1	3,0	9	Aceptable
Revisión y limpieza de poleas de banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas	7	1	3,0	21	Posible
Lubricar poleas de banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas, contusiones	7	3	1,0	21	Posible
Revisión y limpieza de tambor motriz	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas	7	1	6,0	42	Posible
Lubricar tambor motriz	Máquina con movimiento transverso	Contusiones, quemaduras por roce	3	3	1,0	9	Aceptable
Revisión y limpieza de tambor de cola	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas	7	1	6,0	42	Posible
Inspección estructural de banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas, contusiones, cortes	7	3	3,0	63	Posible
Lubricar tambor de cola	Máquina con movimiento transverso	Contusiones, quemaduras por roce	3	3	1,0	9	Aceptable
Limpieza de estructura de banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Amputación, fracturas, contusiones, cortes	7	1	3,0	21	Posible
Revisión de cableado y bornes de motor, limpieza de bornes en banda transportadora	Máquina con movimiento transverso	Quemaduras por roce	1	1	3,0	3	Aceptable
Limpieza de motor, chequeo de ventilador, acople y sellado en	Máquina con	Quemaduras por roce	1	2	3,0	6	Aceptable

Actividad	Tipo de peligro	Consecuencias para la SST	G	F	P	GR	Nivel de riesgo
banda transportadora	movimiento transverso						
Inspección de aletas de tornillo sin fin	Máquina con movimiento de rotación	Contusiones	1	1	0,5	0,5	Aceptable
Inspección de estructura de tolvas	Trabajo en altura	Contusiones por caída, fracturas, amputaciones	7	2	3,0	42	Posible
Limpieza de estructura de tolvas	Trabajo en altura	Contusiones por caída, fracturas, amputaciones	7	1	3,0	21	Posible
Limpieza de pistones neumáticos	Máquina con movimiento de vaivén	Contusiones	1	2	1,0	2	Aceptable
Limpieza de compresor	Máquina con movimiento transverso	Quemaduras por roce, fracturas, contusiones	3	2	3,0	18	Aceptable
Inspección de almacenamiento de compresor	Máquina con movimiento transverso	Contusiones	1	3	1,0	3	Aceptable
Inspección/recambio de correa de compresor	Máquina con movimiento transverso	Quemaduras por roce, fracturas	3	1	6,0	18	Aceptable
Lubricar compresor	Máquina con movimiento transverso	Contusiones	1	1	3,0	3	Aceptable
Inspección de polea de compresor	Máquina con movimiento transverso	Quemaduras por roce, fracturas	3	1	6,0	18	Aceptable
Purga de compresor	Máquina con movimiento transverso	Contusiones	1	3	1,0	3	Aceptable
Inspección de válvulas de compresor	Máquina con movimiento transverso	Contusiones	1	3	1,0	3	Aceptable
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes en compresor	Máquina con movimiento transverso	Contusiones	1	1	3,0	3	Aceptable
Limpieza de motor, chequeo de ventilador del compresor	Máquina con movimiento transverso	Contusiones	1	2	1,0	2	Aceptable

Tabla 53: Evaluación de riesgo por método Fine.
Fuente: Elaboración propia.

Dado el nivel de riesgo obtenido para la mayoría de las tareas, que implica que debe ser corregido pero que no resulta una emergencia, se planteó la incorporación de medidas administrativas y de EPP. Si bien para la alineación y revisión de la banda transportadora se obtuvieron puntajes elevados, se considera que cumpliendo con el instructivo correspondiente se reduce el grado de riesgo a un nivel aceptable. El uso de elementos de protección se promueve como complemento en actividades esporádicas, o donde no se consideró viable la aplicación de acciones colectivas.

Para tareas relacionadas con máquinas que normalmente están en movimiento o poseen partes móviles:

La mayoría cuentan con resguardos fijos o están ubicados de forma que no se pueda acceder a ellos fácilmente. Sin embargo, debido a la necesidad entrar en contacto en ciertos casos, se plantea el instructivo de seguridad (código ISPD-TPM-1) y el registro (R-SBE-XX) mostrados en el anexo 2. Los documentos son genéricos y aplican a todas aquellas actividades donde se pueda/deba tratar con partes móviles:

- Revisión por daños y desgaste de banda transportadora.
- Alineación de banda transportadora.
- Revisión y limpieza de rodillos de carga.
- Revisión y limpieza de rodillo tensor.
- Revisión y limpieza de rodillos de retorno.
- Revisión y limpieza de rodillos laterales.
- Revisión de correas de banda transportadora.
- Recambio de correas de banda transportadora.
- Revisión y limpieza de poleas de banda transportadora.
- Lubricar poleas de banda transportadora.
- Revisión y limpieza de tambor motriz.
- Revisión y limpieza de tambor de cola.
- Inspección estructural de banda transportadora.
- Limpieza de estructura de banda transportadora.
- Limpieza de compresor.
- Inspección/recambio de correa de compresor.
- Inspección de polea de compresor.
- Purga de compresor.

Para las tareas relacionadas con o en presencia de tensión:

Según se establece en el Anexo 6 “Instalaciones eléctricas” del Decreto 351/79 para trabajos y maniobras en instalaciones de baja tensión, se debe hacer uso equipo aislante (guantes, herramientas y material sobre el que posicionarse) en aquellas tareas que lo requieran. Dentro del plan son:

- Revisiones de cableado eléctrico.
- Revisiones de cableado y bornes de motor eléctrico, limpieza de bornes.
- Revisiones y pruebas de tableros (de mando y eléctricos)
- Limpieza de tableros.

Para la ejecución de los trabajos sin tensión, y de acuerdo a lo planteado en el Decreto 351/79, se elaboraron el instructivo (código ISPD-TT-1) y el registro (R-SBE-XX) mostrados en el anexo 2. Son documentos genéricos y que abarcan actividades en equipos e instalaciones eléctricas.

Por otro lado, todos los tableros de los dispositivos de maniobra deben estar en condiciones para prevenir contactos fortuitos de personas o cosas, proteger del clima y estar correctamente señalizados.

Para tareas que requieren trabajar en altura:

Los empleados deberán realizarlas utilizando un arnés de seguridad o una cuerda salvavidas. Si bien para las relacionadas a la banda principal y al silo balanza se cuenta con una plataforma y barandas, se recomienda el uso del arnés por la cercanía de equipo en movimiento y las vibraciones que puede causar en la estructura.

Para trabajar en los silos es recomendable la colocación de un andamio o el alquiler de una plataforma elevadora. Sin embargo, las tareas deberán realizarse cuando no circulen camiones por la zona. Ya que se trata del área de maniobra de los vehículos para posicionarse debajo de la boca de carga.

Dentro de las actividades se encuentran:

- Revisiones del tanque de agua.
- Revisiones de tuberías en altura.
- Limpieza del tanque de agua.
- Inspección de estructura y escaleras de los silos.
- Limpieza de estructura de los silos.
- Inspecciones y limpiezas en las tolvas de áridos.

3.10. COSTO DE MANTENIMIENTO

Existen diversas políticas de mantenimiento que se pueden aplicar. Por ejemplo, correctivas, preventivas o una combinación. El decantarse por una u otra tendrá un impacto en los costos.

A continuación, se analiza la evolución teórica de las distintas categorías de dichos costos debido a la migración desde una política mayormente correctiva a una preventiva.

Cabe destacar que es recomendable desarrollar una capacitación y seguimiento de la implementación del plan, lo que genera un importe adicional por única vez. Una clase teórica sobre mantenimiento preventivo para los empleados, y un seguimiento semanal enfocado en la evolución del cumplimiento y ejecución de lo planificado. A cargo de un profesional contratado como consultor.

3.10.1. Costos fijos

Dentro se encuentra la mano de obra. No se verán modificados debido a que el personal que realiza mantenimiento a la planta también se dedica a operarla y a otras actividades dentro del predio según se necesite. No se planteó como necesaria la incorporación de personal adicional en esta etapa. Por lo cual se considera constante entre ambas políticas.

Actualmente también se ubican en esta categoría los lubricantes para los equipos, adquiridos por cantidad para todos los activos, no sólo para la planta. Al establecer intervalos de tiempo menores a los actuales entre cada lubricación, ya que se informó que se realizan con una variación considerable, es posible que su uso incremente en un principio y eleve el costo. En revisiones futuras el plan puede optimizarse, llevando a frecuencias más adecuadas que permitan reducirlo.

En cuanto a otros materiales necesarios para realizar mantenimiento preventivo, se tienen la adquisición de correas y rodillos de carga. Por las frecuencias de recambio de las primeras, su costo aumentará, ya que se deberá tener un stock mayor. El de cilindros se mantendrá pero no se descarta la posibilidad de reducirlo a futuro, una vez se pueda establecer la cantidad óptima de reposiciones por período a partir de los registros, lo que permitirá adecuar los lotes de pedido.

Por otro lado, se tienen los alquileres y servicios enfocados a mantenimiento programado. Dentro de los primeros se adicionan una escalera (575 \$/día) o plataforma elevadora (8.337 \$/día sin traslado) para los silos. En los servicios se cuentan el de los

tableros eléctricos, la calibración de celdas de carga (ambos existentes actualmente) y, de ser necesario, el de los motores que implique su desarme. No variarán en gran medida, pero dependerán de la decisión de la empresa sobre la tercerización.

3.10.2. Costos variables

Corresponde a la mano de obra y materiales necesarios para tareas correctivas. Disminuye debido a la aplicación del plan preventivo, ya que la cantidad de fallas imprevistas se reduce.

3.10.3. Costos financieros

Se consideran los equipos duplicados y los repuestos en stock. Dentro de los primeros no hay modificación, porque no se planteó adquirir o eliminar ningún activo. Para los otros hay ciertas opciones que pueden optimizarse.

En primera instancia hay repuestos que no se verán afectados, dado que ya se encuentran en poder de la empresa y permiten la rotación para realizar reparaciones o preventivos. Son los motores, la bomba, la electroválvula direccional, el pistón del sistema neumático y las bandas para la cinta transportadora. También, por su elevado valor de adquisición, es recomendable mantener su existencia ya que la autorización para la compra de nuevos demora un tiempo considerable que puede afectar la ejecución de las tareas.

En segundo lugar se encuentran aquellos que se pueden optimizar, como el stock de correas para motores. A causa del establecimiento de frecuencias de recambio se deberá contar con una provisión mayor a la disponible, por lo que el costo aumenta. Sin embargo, tendrán una rotación superior.

Finalmente, el correspondiente a los rodillos de carga (adquiridos en cantidad debido a facilidades de pago). Se podrá optimizar a futuro, gracias al seguimiento a realizar sobre los que se encuentran en uso. Aprovechando el sistema de registro se podrá establecer su vida útil real y en consecuencia la cantidad necesaria a tener en stock.

3.10.4. Costos por falla

Asociados a las reparaciones y costo de oportunidad, que se considera como el equivalente al beneficio que la empresa deja de percibir por no poder despachar camiones cargados de hormigón a sus clientes en el transcurso de tiempo que la planta no opera. Es uno de los motivos que se plantea para justificar el cambio a una política preventiva, dado que al realizar la transición se verán reducidos.

A continuación se muestra, en las ecuaciones 3 y 4, el cálculo del costo de oportunidad (CO) por hora de parada:

$$m^3 \text{ de hormigón por hora} \times (\text{Ingreso por } m^3 - \text{Costo por } m^3) = CO \quad (3)$$

Se puede escribir:

$$m^3 \text{ de hormigón por hora} \times \text{Beneficio percibido por } m^3 = CO \quad (4)$$

La planta tiene una capacidad de 65 m³/h y la unidad de respaldo 15 m³/h. Si ocurre una falla en la instalación principal, la producción se reduce en 50 m³/h. El beneficio neto que obtiene la empresa es de 558,11 \$/m³. El resultado se muestra en las ecuaciones 5 y 6.

$$50 \frac{m^3}{h} \times 558,11 \frac{\$}{m^3} = CO \quad (5)$$

$$\boxed{27.905,5 \text{ } \$/h = CO} \quad (6)$$

Como se puede observar, el monto es considerable (27.905,50 \$/h). Se debe tener en cuenta que el valor calculado es por hora de parada y que el tiempo promedio para una falla varía entre 3 y 4 horas, según fue informado. Por lo tanto la magnitud puede aumentar considerablemente, pero el resultado obtenido es más que suficiente para demostrar la importancia de llevar a cabo un plan preventivo que permita mitigarlo.

3.10.5. Ventajas de la política preventiva

El mantenimiento preventivo que se busca realizar para reducir los altos costos asociados al correctivo tiene la ventaja de centrarse en revisiones de las distintas partes de la planta para establecer cuándo debe llevarse a cabo una intervención. Lo que permite programar la tarea a realizar, administrando de mejor forma el tiempo y disminuyendo las fallas imprevistas. Esto es posible debido a que la mayoría de los elementos están sometidos a desgaste (por ejemplo, las correas, rodillos, rodamientos), por lo que se analiza su vida útil real para establecer las frecuencias que se vuelcan al plan.

Las frecuencias se obtuvieron a partir de información de fabricantes, planes y documentación de equipos similares en entornos semejantes, datos proporcionados por el personal sobre fallos y los intervalos de ejecución actuales para algunas de las tareas.

Finalmente, se propone que luego de un período de tiempo de la implementación del plan (por ejemplo 1 año) se realice una comparación entre los costos en los que se ha

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

incurrido con la nueva política y los anteriores. Lo que permitirá evidenciar la evolución del área y realizar las mejoras que sean necesarias. No se realiza en este momento debido a la falta de información, principalmente sobre los costos de la política actual.

La aplicación del sistema de registros propuesto más adelante facilitará un análisis y control más profundo.

3.11. HISTORIAL DE MANTENIMIENTO

Para ayudar en el establecimiento del área y debido a la carencia actual de información relacionada con la planta de hormigón, se elaboró el registro que se muestra en la figura 24.

La finalidad es permitir la creación de un historial del mantenimiento. A partir del cual se pueden obtener indicadores para la gestión, tales como:

- Cumplimiento del plan

$$\frac{\text{Horas programadas terminadas}}{\text{Horas programadas totales}} \times 100 = \% (7)$$

O bien

$$\frac{\text{Tareas programadas terminadas}}{\text{Tareas programadas totales}} \times 100 = \% (8)$$

Un porcentaje elevado implica que las tareas planificadas se llevan a cabo de acuerdo a lo establecido. Se debe contrastar con el porcentaje correctivas para establecer si la programación se ajusta a la realidad o si es necesario corregir frecuencias o modificar/incorporar tareas.

- Porcentaje de tareas correctivas y preventivas

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de correctivos}}{\text{Tareas totales realizadas}} \times 100 \text{ y } \frac{\text{N}^\circ \text{ de preventivos}}{\text{Tareas totales realizadas}} \times 100 (9)$$

Permite conocer el porcentaje de las realizadas que corresponden a mantenimiento correctivo y a preventivo. Un elevado valor del primero implica que el plan no se está ejecutando correctamente, o que debe modificarse.

- Eficiencia de la mano de obra

$$\frac{\text{Horas hombre previstas para preventivo}}{\text{Horas reales empleadas}} \times 100 (10)$$

Permite establecer el tiempo perdido en la ejecución o el grado de inexactitud en la planeación del tiempo de realización.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

- Horas empleadas en correctivo y en preventivo

Conociendo la cantidad de horas utilizadas para los distintos tipos de mantenimiento se pueden calcular otros indicadores como la disponibilidad de los equipos.

- Disponibilidad de equipos

$$\frac{\text{Horas calendario} - \text{Horas de mantenimiento}}{\text{Horas calendario}} \times 100 \quad (11)$$

Representa el porcentaje de tiempo durante el cual el activo estuvo disponible para su operación, en un período de tiempo específico. Dentro de las horas de mantenimiento se consideran las correctivas, preventivas y otros servicios. Una baja disponibilidad puede implicar un exceso de preventivo que causa tiempos de parada muy largos. También puede deberse a un excedente de correctivo por incumplimiento del plan.

- Tiempo medio para la falla

$$\frac{\sum \text{horas de operación}}{N^{\circ} \text{ total de fallas del equipo/componente}} \quad (12)$$

A partir del tiempo que estuvo operando el bien y del número total de fallas correspondiente se puede calcular el tiempo medio para la falla, para ítems no reparables. Sirve para establecer frecuencias de recambio.

- Tiempo medio entre fallas

$$\frac{N^{\circ} \text{ de ítems} \times \text{horas de operación}}{\sum N^{\circ} \text{ total de fallas}} \quad (13)$$

Para aquellos activos que se reparan luego de una falla. Se utiliza para generar frecuencias de recambio o de reparaciones.

- Gasto en mantenimiento correctivo/preventivo

$$\sum \text{Importes de materiales, insumos, repuesto} \quad (14)$$

Permite llevar un control de los gastos, para luego compararlo con otros valores como el presupuesto, la inversión en nuevos equipos o con los mismos datos pero de otros períodos de tiempo.

Aunque el registro guarda similitud con una orden de trabajo (en la empresa se elaboraron modelos y no se pudieron aplicar), no funcionará de la misma forma.

Luego de realizar cualquier actividad de mantenimiento (planificada o no) el trabajador completará el documento. Una vez al mes el encargado del área volcará los datos

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

en un archivo Excel con campos similares, que servirá como base de datos para el programa *Power BI*⁶, operado por otro empleado, para generar los índices que se soliciten.

Al no funcionar como orden de trabajo no es necesario esperar a que se emita para realizar la tarea, sino que se puede contar con una cantidad impresa previamente, agilizando el proceso.

⁶*Power BI*: software de análisis empresarial proporcionado por Microsoft de forma gratuita en su versión básica. Permite recopilar información de distintas bases de datos (por ejemplo, archivos de Excel, Access, páginas de internet, entre otros) para elaborar informes e indicadores con una amplia variedad de opciones gráficas y de cálculo. Su principal fortaleza radica en la variedad de opciones visuales y en la posibilidad de trabajar grandes cantidades de información con facilidad.

Código	R-Mant-P-XX	Rev. 1 (29/8/2019)	
Registro de Mantenimiento de Planta			
Responsable:			
Fecha programada:	Tipo de tarea (C/P)		
Fecha de realización:	Duración prevista	(Hs)	
Equipo:	Duración actual	(Hs)	
Ejecución	Interna	Externa (empresa)	
Prioridad	Alta	Media	Baja
Tarea (incluye descripción de la tarea, herramientas usadas):			
Materiales/insumos/repuestos			
Descripción	Cantidad	Importe total	
Observación:			
Preparado por: Pickering, Brian			
Revisado y aceptado por:			

Figura 24: Modelo de registro de actividades de mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIÓN

El trabajo presenta la situación de una empresa de venta de materiales de construcción, destacada por la comercialización de hormigón. No cuenta con área de mantenimiento ni planes preventivos o correctivos para el cuidado de activos.

Dado que el uso de maquinaria es de suma importancia en el mercado en que opera, conservar su correcto funcionamiento es un aspecto estratégico a tener en cuenta. Una falla puede causar la detención de la producción, incluso por varias horas.

Para ayudar a la organización se propuso diseñar un plan preventivo para un equipo crítico involucrado en el proceso de producción y distribución de hormigón.

Como justificación se elaboró análisis FODA enfocado en los aspectos relacionados a mantenimiento. Lo que permitió generar distintas estrategias, entre ellas, la posibilidad de obtener una versión demo de un programa para la gestión de actividades/activos; añadir personal de taller para disminuir los atrasos; valerse de convenios con la universidad para incorporar pasantes/practicantes orientados a desarrollar distintos aspectos de la empresa. Siendo esta última la que da origen al proyecto con la posibilidad de que un alumno avanzado de ingeniería industrial lleve a cabo su trabajo final en la organización.

Se recopiló información del proceso productivo, equipos intervinientes y se construyó un diagrama de flujo, dado que no se encontraba documentado. Cumpliendo con el objetivo del relevamiento del proceso.

Luego de presentar y detallar los activos se realizó el análisis de criticidad, en conjunto con personal de la empresa, para establecer aquel prioritario sobre el cual diseñar el plan. El resultado fue la planta dosificadora de hormigón con una diferencia de 10 puntos sobre el segundo puesto, los *mixer*.

Dado que el equipo crítico se divide en subsistemas que varían en su mantenimiento y estado actual, y a la existencia de duplicados, se decidió analizarlos mediante el cálculo del índice de confiabilidad. Los dos con menor valoración fueron el sistema de agua y las bandas transportadoras con 62 y 66 puntos, respectivamente. Como consecuencia se les aplicó la técnica AMEF, que permitió establecer con mayor detalle las tareas preventivas para cada uno.

Para el resto de activos que componen la planta se generaron las actividades del plan mediante el uso de manuales de fabricantes, trabajos de grado sobre el cuidado de equipos similares en ambientes equiparables y el relevamiento de las tareas actuales con sus frecuencias.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

Al tener definidas todas las acciones con su programación, se generaron los listados para cada subsistema, conformando el plan de mantenimiento preventivo de la planta dosificadora y cumpliendo con el objetivo principal.

En cuanto a la seguridad ocupacional, se detectó peligro en la ejecución de ciertas tareas. Por lo que se aplicó el método Fine para calcular el grado de riesgo en cada una. Se obtuvo una clasificación “posible” en su mayoría y “alto” para la alineación de bandas transportadoras. Lo que desencadenó en el desarrollo de dos instructivos generales para las relacionadas a equipos con partes móviles y las asociadas a tensión eléctrica. Además se elaboró un modelo de registro para autorización de bloqueo de los activos e instalaciones. En los casos donde fue requerido se asentó la necesidad del uso de EPP como única medida posible o complementaria.

Como justificación del cambio de política correctiva a preventiva se analizó la evolución teórica de los costos, y se calculó el de oportunidad por no realizar mantenimiento preventivo. Dando como resultado un monto considerable (27.905,50 \$/h) al que se debe adicionar el importe de la reparación, que es variable.

Finalmente, y debido a la carencia de información detectada durante el desarrollo del trabajo, se diseñó un registro para las tareas de mantenimiento. Con este documento se busca generar un historial, que permita la elaboración de indicadores y ayude a la toma de decisiones y planteamiento de mejoras a futuro.

Como conclusión se llega a que, habiendo finalizado las distintas etapas del proyecto, se pudo cumplir satisfactoriamente con todos los objetivos propuestos. Se logró establecer una base para el desarrollo del área de la empresa, utilizando herramientas y conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera.

V. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA DE NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA UNE. (2011). NORMA UNE-EN 13306:2011 "Terminología del Mantenimiento".
- AMENDOLA, L. (2016). *Modelos Mixtos de Confiabilidad, Primera edición*. Valencia: PMM Institute for Learning.
- ARIAS ULLOA, C. (2011). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una industria productora de hormigón premezclado*. Ecuador: Trabajo final. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- BETONMAC S.A. (2019). *Micro Tornillo*. Obtenido de <http://www.betonmac.com/index.php/accesorios> - 11 de Noviembre de 2019.
- BETONMAC S.A. (2019). *Motohormigonera Motor Auxiliar*. Obtenido de <http://www.betonmac.com/index.php/motohormigonera/60-motor-auxiliar> - 11 de Noviembre de 2019.
- BETONMAC S.A. (2019). *Motohormigonera Toma de Fuerza*. Obtenido de <http://www.betonmac.com/index.php/motohormigonera/61-toma-de-fuerza> - 11 de Noviembre de 2019.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. (2007). NORMA OHSAS 18001 "Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional - Requisitos".
- BROMBERG. (2019). *Bomba de Hormigón Estacionaria*. Obtenido de <http://www.bromberg.com.uy/construccion/M-putzmeister/1006-bomba-de-hormigon-estacionaria> - 5 de Septiembre de 2019.
- BUSTIOS ORELLANA, L. (2014). *Programa de mantenimiento preventivo de los equipos de una planta de concreto*. Perú: Trabajo Final. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Ingeniería.
- CAMELWAY MACHINERY MANUFACTURE CO., LTD. (2019). *¿Cuál es la diferencia entre la planta mezcladora de concreto seco y húmedo?* Obtenido de <https://es.camelway.com/faq/42.html> - 10 de Octubre de 2019.
- CÁTEDRA DE SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIO AMBIENTE. (2018). Unidad 1: Principios de la Higiene del Trabajo y Seguridad en el Trabajo. Mar del Plata: Material de estudio. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- CÁTEDRA DE SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIO AMBIENTE. (2018). Unidad 6: Elementos de Protección Personal. Mar del Plata: Material de estudio. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- CENTRALDE. (2019). *Plantas de Hormigón Usadas y Seminuevas con y sin Amasadora*. Obtenido de <https://www.centralde.com/tienda/maquinaria-usada/> - 5 de Septiembre de 2019.
- CORONADO ARROYO, J. (2016). *Diseño del plan de mantenimiento para flota vehicular en empresa dedicada al rubro medio ambiental*. Perú: Trabajo Final. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- DANES S.R.L. (2019). *Tolvas para Transporte de Cemento*. Obtenido de <https://cisternasdanes.com.ar/tolvas-para-cemento/> - 5 de Septiembre de 2019.

Diseño de un plan de mantenimiento para un sistema crítico de la división de hormigón de una empresa de venta de materiales de construcción

- DAVID, F. (2008). *Conceptos de Administración Estratégica, Decimoprimer edición*. México: Pearson Educación.
- DECRETO 351, ANEXO VI. (1979). *Instalaciones Eléctricas, Higiene y Seguridad en el Trabajo*. Buenos Aires.
- DONADI, L. (2018). *Bombas de concreto: Diferencia entre estacionarias y telescópicas*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/diferencias-en-bombas-de-concreto> - 10 de Octubre de 2019.
- ELKON. (2019). *Silos de Cemento y Sistemas de Entrega de Cemento*. Obtenido de <http://www.concretebatchingplants.com/es/silos-de-cemento-y-sistemas-de-entrega-de-cemento> - 5 de Septiembre de 2019.
- ESCALONA, I. (2004). *Factores universales para determinar la confiabilidad*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos16/confiabilidad/confiabilidad.shtml> - 5 de Septiembre de 2019.
- GANGI, S., INGARAMO, R., SASTRE, J., & PONTELLI, D. (2017). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria Farmacéutica*. Obtenido de <https://docplayer.es/16242589-Mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-ejemplo-de-aplicacion-en-una-industria-farmaceutica.html> - 5 de Septiembre de 2019.
- GRUPEX CUATRO S.L. (2019). *Mezclado*. Obtenido de <https://grupexcuatro.es/mezclado> - 11 de Octubre de 2019.
- HIDALGO REDONDO, B. (2016). *Otros Transportadores*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/4282850/> - 20 de Febrero de 2020.
- HORMIX SRL. (2019). *¿Qué es el hormigón elaborado?* Obtenido de <http://www.hormixnqn.com.ar/wp-content/uploads/2016/05/QUE-ES-EL-HORMIGON-ELABORADO.pdf> - 2 de Septiembre de 2019.
- HOYOS COGOLLO, L. F. (2020). *Elevador de Cangilones*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/luiferhoyos/elevador-de-cangilones> - 20 de Febrero de 2020.
- KRAJEWSKI, L., RITZMAN, L., & MALHOTRA, M. (2008). *Administración de Operaciones, Procesos y Cadenas de Valor*. México: Pearson Educación.
- LUBRAX. (2020). *Producto Lubrax Lith EP2*. Obtenido de <http://www.lubrax.com/Public/upload/products/AR/security/-MSDS-Lubrax-LITH-EP-2-rev1.pdf> - 19 de Febrero de 2020.
- MARCHETTI, M., & NEGRI, C. (2013). *Gestión del Mantenimiento de Electrobombas basado en confiabilidad en parque de electrobombas sumergibles de Obras Sanitarias MGP S.E. (MCC-RCM1/2)*. Argentina: Trabajo Final. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- MILANUNCIOS. (2019). *Planta de Hormigón Mod. PHD - 100*. Obtenido de <https://www.milanuncios.com/otras-vehiculos-industriales/planta-de-hormigon-mod-phd-100-214788260.htm> - 5 de Septiembre de 2019.
- MOUBRAY, J. (2004). *RCM 2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Edición en español*. Carolina del Norte: Aladon Ltd.

- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. (2014). NORMA ISO 55001 "Gestión de Activos - Sistemas de Gestión - Requisitos".
- PUTZMEISTER. (2019). *Bomba de Pluma de Hormigón 36Z*. Obtenido de <https://www.putzmeister.com/en/web/international/products/-/product-category/series/52566/53138/9652261/concrete/concrete-pumps/boom-pumps/30-meter-class/36z-meter> - 19 de Octubre de 2019.
- PUTZMEISTER. (2019). *Bombas de Pluma*. Obtenido de <https://www.putzmeister.com/es/web/americas/productos/-/product-category/view/52566/type1/hormig%F3n/bombas-de-hormig%F3n/bombas-de-pluma> - 10 de Octubre de 2019.
- QUICK EQUIPMENTS. (2019). *Características de las cargadoras*. Obtenido de <https://quickequipments.net/palas-o-cargadoras-frontales/> - 10 de Octubre de 2019.
- RETEMA. (2018). *WEG Facilita a SAMAE un Tratamiento de Agua Potable y Aguas Residuales Altamente Eficiente*. Obtenido de <https://www.retema.es/noticia/weg-facilita-a-samae-un-tratamiento-de-agua-potable-y-aguas-residuales-altamente-efic-JuSsr> - 19 de Septiembre de 2019.
- RUBIO ROMERO, J. (2004). *Métodos de evaluación de riesgos laborales*. Madrid: Ed. Díaz de Santos.
- S21 SEÑALIZACIÓN. (2020). *RIESGO ELECTRICO PROHIBIDO ACCIONAR*. Obtenido de <https://epiyvestuariolaboral.com/combinadas/3467-riesgo-electrico-prohibido-accionar.html> - 20 de Febrero de 2020.
- SCHRAGE CONVEYING SYSTEMS. (2019). *Transportadores de tornillo sin fin*. Obtenido de <https://www.schrage.de/es/schrage-informa/diccionario-tecnico/transportadores-de-tornillo-sin-fin.html> - 11 de Octubre de 2019.
- SDLG. (2019). *Cargadora de Ruedas LG958L*. Obtenido de <https://www.sdlgla.com/es/nossos-productos/cargadora-de-ruedas-lg958l/> - 19 de Octubre de 2019.
- SECRETARÍA DE POLÍTICA SINDICAL/SALUD LABORAL DE LA UNIÓN GENERAL DE TRABAJADORES DE CATALUÑA. (2014). *Cuaderno preventivo: El camión hormigonera*. Obtenido de http://www.ugt.cat/download/salut_laboral/documents_sectorials_de_preveni%C3%B3_de_riscos/QP%20EI%20cami%C3%B3n%20hormigonera.pdf - 28 de Mayo de 2019.
- SERIOR S.L. (2020). *Señal / Cartel de Peligro. Máquina en Reparación*. Obtenido de <https://serior.com/senal-cartel-de-peligro-maquina-en-reparacion/> - 20 de Febrero de 2020.
- SITSA. (2019). *Plantas Dosificadoras de Concreto*. Obtenido de <https://www.sitsa.com.mx/equipo-para-concreto/plantas-dosificadoras-de-concreto/> - 5 de Septiembre de 2019.
- TALLERES ALQUEZAR S.A. (2019). *Plantas de hormigón*. Obtenido de <https://www.talleresalquezar.es/es/plantas-de-hormigon/> - 10 de Octubre de 2019.
- TECNUS S.R.L. (2019). *Silo Fijo ST75*. Obtenido de http://www.tecnus.com.ar/silos_fijo_st75.html#prettyPhoto - 5 de Septiembre de 2019.
- Tecnus S.R.L. (2019). *Silo fijo ST75 Manual descriptivo y de funcionamiento general*. Bouwer, Córdoba, Argentina.

- TECNUS S.R.L. (2019). Silo fijo ST75 Manual descriptivo y de funcionamiento general. Bouwer, Córdoba, Argentina.
- TORRES, L. (2005). *Mantenimiento su implementación y gestión, Segunda edición*. Argentina: Universitas.
- TRANSGRUMA. (2019). *Autobomba Elevación de Hormigón 60m*. Obtenido de https://transgruma.com/project_tag/bombas-de-hormigon/ - 5 de Septiembre de 2019.
- WEG. (2019). *Manual general de instalación, operación y mantenimiento de motores eléctricos*. Obtenido de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0c/h3b/WEG-iom-installation-operation-and-maintenance-manual-of-electric-motors-50033244-manual-pt-en-es-de-ro-bg-ru-web.pdf> - 14 de Agosto de 2019.
- YEPES, V. (2013). *Palas cargadoras*. Obtenido de <https://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/2013/09/22/palas-cargadoras/> - 10 de Octubre de 2019.
- YEPES, V. (2017). *Planta de hormigón tipo torre*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/03/planta-hormigonado-torre/> - 10 de Octubre de 2019.
- ZUMBA NOVAY, E., & CHAFLA AUQUILLA, D. (2016). *Rediseño del sistema de inyección de agua e implementación de un plan de mantenimiento para la central de hormigonado de la planta prefabricados de la empresa pública cementera del Ecuador*. Ecuador: Trabajo Final. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

VI. ANEXO

ANEXO I: Lista de tareas de mantenimiento para equipos que componen la planta dosificadora.

A continuación se muestran las listas de actividades originales, con sus observaciones, correspondientes a los equipos: silos, tornillos sin fin, tolvas y compresores. Las que fueron establecidas en base a información de manuales, planes de equipos similares y tareas realizadas actualmente.

Equipo: Silos	
Tareas	Observaciones
Inspección de fluidificadores	Inspección visual en busca de daños, óxido, fisuras en mangueras, acumulación de material. Verificación de funcionamiento.
Limpieza de fluidificadores	Limpieza externa de material depositado, desconexión del silo y limpieza interna mediante encendido.
Desagote de pulmón	Con válvula ubicada en la parte inferior del pulmón.
Inspección de estructura y escaleras	Revisión visual en busca de fisuras o daños, óxido y/o golpes que se considere pueden debilitar el cuerpo.
Limpieza de estructura	Limpieza general del cuerpo.
Prueba de funcionamiento de válvula de descarga	Accionamiento.
Inspección de conexión de boca de descarga	Revisión en busca de daños en las mangas de descarga, acumulación de material. Verificar que las mangas no estén resacas.
Inspección de mangueras de aire	Búsqueda de pérdidas. Revisión de daños. Verificar conexiones.
Inspección de pistones neumáticos	Búsqueda de rayones, ranuras o golpes. Prueba de funcionamiento. Revisar presencia de pérdidas y ajuste de las piezas.
Limpieza de pistones neumáticos	-
Inspección de electroválvulas	Revisión visual. Búsqueda de golpes/daños,

Equipo: Silos	
	acumulación de material. Prueba de funcionamiento. Revisión del cableado.
Limpieza de electroválvulas	Limpieza externa.
Reemplazo de fuelle/electroválvulas	-
Revisión y limpieza de válvulas direccionales	Revisión en busca de daños o pérdidas. Limpieza externa. Comprobar conexiones.

Tabla I. 54: Tareas de mantenimiento para los silos.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: tornillo sin fin	
Tarea	Observación
Inspección de carcasa	Búsqueda de rayones, fisuras, golpes o daños que puedan debilitar el cuerpo. Búsqueda de pérdidas.
Limpieza de carcasa	Limpieza general externa.
Inspección de mangas de unión	Búsqueda de pérdidas, fisuras o daño. Verificar que las mangas no estén reseca.
Inspección y limpieza de rodamientos del sin fin.	Revisión de vibraciones y ruidos extraños.
Inspección de aletas del tornillo	Revisar desgaste de las aletas. Búsqueda de indicios de fisuras o roturas.
Lubricar rodamientos del sin fin	-
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes	Verificar estado del cableado, bornes. Ajustar bornera.
Revisión de rotor y estator del motor	Limpieza del bobinado, inspección en busca de quemaduras o roturas.
Lubricar rodamientos del motor	-
Revisión de rodamientos y eje del motor	Revisión de vibraciones y ruidos extraños.
Recambio de rodamientos del motor	-
Revisión de resistencia de aislamiento del motor	Comprobar el aislamiento de todas las fases y carcasa con megóhmetro.
Limpieza del motor, chequeo del ventilador, acople y sellado	Limpieza externa, eliminar depósitos de material. Verificar funcionamiento y estado del ventilador, acople y sellado.
Revisión de rodamientos del reductor.	Revisión de vibraciones y ruidos extraños.
Recambio de rodamientos del reductor.	-

Equipo: tornillo sin fin	
Revisión de engranajes del reductor.	Revisión de vibraciones y ruidos extraños.
Lubricación y limpieza del reductor.	-

Tabla I. 55: Tareas de mantenimiento para tornillos sin fin.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: tolvas	
Tarea	Observaciones
Inspección de estructura	Daños que debiliten el cuerpo o puedan provocar pérdidas. Verificar ajuste de bulones.
Limpieza de estructura	Limpieza general de toda la estructura.
Inspección de celdas de carga	Prueba de funcionamiento, revisión en busca de rayones, fisuras o daños.
Calibración de celdas de carga	-
Limpieza de celdas de carga	-
Inspección del cableado	Daños en el aislamiento. Verificar que el cableado no se encuentre suelto. Aislante reseco.
Inspección de mangueras de aire	Búsqueda de pérdidas. Revisión de daños. Verificar conexiones.
Inspección de pistones neumáticos	Búsqueda de rayones, ranuras o golpes. Prueba de funcionamiento, revisar presencia de pérdidas. Revisar ajuste de las piezas.
Limpieza de pistones neumáticos	-
Lubricación de sistema neumático	Revisar nivel de lubricante y reponer.
Limpieza de filtro de sistema neumático	Remover filtro y limpiar.
Inspección de electroválvulas	Revisión visual. Búsqueda de daños, acumulación de material. Prueba de funcionamiento. Revisión del cableado.
Limpieza de electroválvulas	Limpieza externa.
Reemplazo de electroválvulas	-
Revisión y limpieza de válvulas direccionales	Revisión en busca de daños o pérdidas. Limpieza externa. Comprobar conexiones.
Limpieza de motor, chequeo del ventilador y sellado.	Limpieza externa. Verificar funcionamiento y estado del ventilador y sellado.
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes (vibrador)	Verificar cableado y bornes. Ajustar bornera.

Equipo: tolvas	
Revisión y limpieza del rotor/estator	Limpieza del bobinado, inspección en busca de quemaduras o roturas.
Revisión de rodamientos	Revisión de vibraciones y ruidos anormales.
Lubricar rodamientos	-
Recambio de rodamientos	-
Revisión de resistencia de aislamiento del motor.	Comprobar el aislamiento de todas las fases y carcasa con megóhmetro.
Revisión y prueba de tableros (diferencial/termomagnético)	Prueba de funcionamiento de interruptores. Revisión de estanqueidad del tablero. Limpieza.

Tabla I. 56: Tareas de mantenimiento para tolvas.
Fuente: Elaboración propia.

Equipo: Compresores	
Tarea	Observación
Limpieza del equipo	Limpieza general externa.
Inspección de almacenamientos	Revisar en busca de fisuras, abolladuras, corrosión o golpes. Posibilidad de prueba de espesor por ultrasonido.
Inspección/recambio de correa	Verificar desgaste y estiramiento. Búsqueda de fisuras o roturas.
Lubricar compresor	-
Inspección de polea	Verificar desgaste.
Purga del compresor	-
Revisión de mangueras y cañerías	Búsqueda de pérdidas. Revisión de fisuras o daños. Verificar conexiones.
Revisión de válvulas	Pruebas de funcionamiento, pérdidas.
Limpieza de filtros de aire	-
Revisión de manómetros	Prueba de funcionamiento, revisar legibilidad. Búsqueda de daños en la estructura, pérdidas.
Revisión de presostato	Prueba de funcionamiento, revisar en busca de pérdidas.
Limpieza de presostato	-
Inspección de válvula de seguridad	Prueba de funcionamiento y limpieza, verificar que no esté tapada.
Limpieza de motor, chequeo del	Limpieza externa. Verificar funcionamiento y

Equipo: Compresores	
ventilador y sellado	estado del ventilador, sellado y daños en la carcasa.
Revisión de cableado y bornes del motor, limpieza de bornes.	Verificar estado del cableado y bornes. Ajustar bornera.
Revisión de rodamientos del motor/equipo compresor.	Revisión de vibraciones y ruidos anormales.
Lubricar rodamientos	-
Recambio de rodamientos del motor/equipo compresor.	-
Revisión de resistencia de aislación del motor.	Comprobar el aislamiento de todas las fases y carcasa con megóhmetro.
Revisión y prueba de tableros (diferencial/termomagnético/parada de emergencia)	Prueba de funcionamiento de interruptores. Revisión de estanqueidad de tablero. Limpieza.

Tabla I. 57: Tareas de mantenimiento para compresores.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II: Instructivos de seguridad para tareas de mantenimiento

A continuación se muestran los instructivos y registro de seguridad desarrollados para aquellas actividades en las que se estableció como necesario. Se componen por una lista de pasos a seguir para poder llevar a cabo las tareas de mantenimiento de forma segura, y el diagrama de flujo correspondiente.

16/9/2019	Rev. 1	ISPD-TPM-1
-----------	--------	------------

Instructivo de seguridad

Tareas que involucren maquinaria con partes móviles

Objetivo

Establecer las acciones de seguridad para toda actividad que implique tareas en máquinas en movimiento o con partes móviles, en pos de asegurar el bienestar del trabajador.

Alcance

Aplica, pero no se limita, a todas las actividades de mantenimiento que se deban realizar en o sobre la planta dosificadora de hormigón y los equipos que la componen. Siempre que haya maquinaria en movimiento o partes móviles involucradas. Aplicación obligatoria en:

- Revisión por daños y desgaste de banda transportadora.
- Alineación de banda transportadora.
- Revisión y limpieza de rodillos de carga.
- Revisión y limpieza de rodillo tensor.
- Revisión y limpieza de rodillos de retorno.
- Revisión y limpieza de rodillos laterales.
- Revisión de correas de banda transportadora.
- Recambio de correas de banda transportadora.
- Revisión y limpieza de poleas de banda transportadora.
- Lubricar poleas de banda transportadora.
- Revisión y limpieza de tambor motriz.
- Revisión y limpieza de tambor de cola.
- Inspección estructural de banda transportadora.
- Limpieza de estructura de banda transportadora.
- Limpieza de compresor.
- Inspección/recambio de correa de compresor.
- Inspección de polea de compresor.
- Purga de compresor.

1

Preparado por: Pickering, Brian.
Revisado y aceptado por:

Figura II. 25: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 1.
Fuente: Elaboración propia.

16/9/2019	Rev. 1	ISPD-TPM-1
-----------	--------	------------

Responsable

Gerente de planta: brindar autorización para inicio de actividades y ejecución de bloqueos.

Personal de mantenimiento designado: ejecutar tareas de mantenimiento siguiendo cada paso del presente instructivo de seguridad.

Documentos asociados

- Registro R-Mant-P-XX
- Registro R-SBE-XX

Desarrollo

1. Informar al gerente de planta sobre la tarea, solicitar autorización para iniciar y bloquear maquinaria.
2. Completar registro (código R-SBE-XX). En caso de requerir más de un individuo para llevar a cabo la actividad, designar y asentar en el registro como autorizado para ejecutar bloqueos a aquel involucrado en la tarea que posea mayor experiencia con el equipo/dispositivo.
3. Dar aviso personalmente a los empleados sobre la actividad que se va a realizar. Ubicar al segundo plantista, si no se encuentra involucrado, e informar sobre la tarea. También a los choferes que se encuentren en las inmediaciones.
4. Verificar que el equipo se encuentre apagado o no esté operando. Si no lo está, apagar o esperar que termine de operar.
5. Seccionar la alimentación del equipo (de ser posible) utilizando el elemento de corte del tablero eléctrico correspondiente (interruptor termomagnético, seccionador, enchufe). Si no cuenta con componente de corte propio, utilizar el inmediato aguas arriba. Si no funciona, verificar que se ha utilizado el elemento correspondiente al equipo, en caso afirmativo utilizar el inmediato aguas arriba y asentar posible fallo en registro R-Mant-P-XX.
6. Bloquear acceso a controles del equipo y/o alimentación. En caso de tableros utilizar la cerradura. Si no cuenta con una, colocar candado de seguridad. De no ser posible bloquear, seccionar aquel inmediatamente aguas arriba que si pueda ser bloqueado por los medios mencionados. Para los controles de mando remover contactores o palancas y cerrar habitación de control con llave.
7. Señalizar en los controles y tableros bloqueados que no deben ser accionados o energizados. Utilizar tarjeta de señalización adjunta en la figura 1.

2

Preparado por: Pickering, Brian.
Revisado y aceptado por:

Figura II. 26: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 2.
Fuente: Elaboración propia.

16/9/2019 | Rev. 1 | ISPD-TPM-1

8. Realizar tarea.
9. Finalizado el trabajo, informar al gerente e indicar en el registro (código R-SBE-XX) la hora de finalización del bloqueo.
10. Dar aviso al personal de la planta. De igual forma a la indicada en el punto 3 del presente instructivo.
11. Retirar bloqueos y señalizaciones colocadas. Sólo el operario que los colocó y figura en el registro R-SBE-XX como autorizado puede hacerlo.
12. Dar alimentación.
13. Energizar y verificar efectividad del mantenimiento de acuerdo a la tarea realizada.
14. De ser efectivo, fin del proceso. De lo contrario, recomenzar.

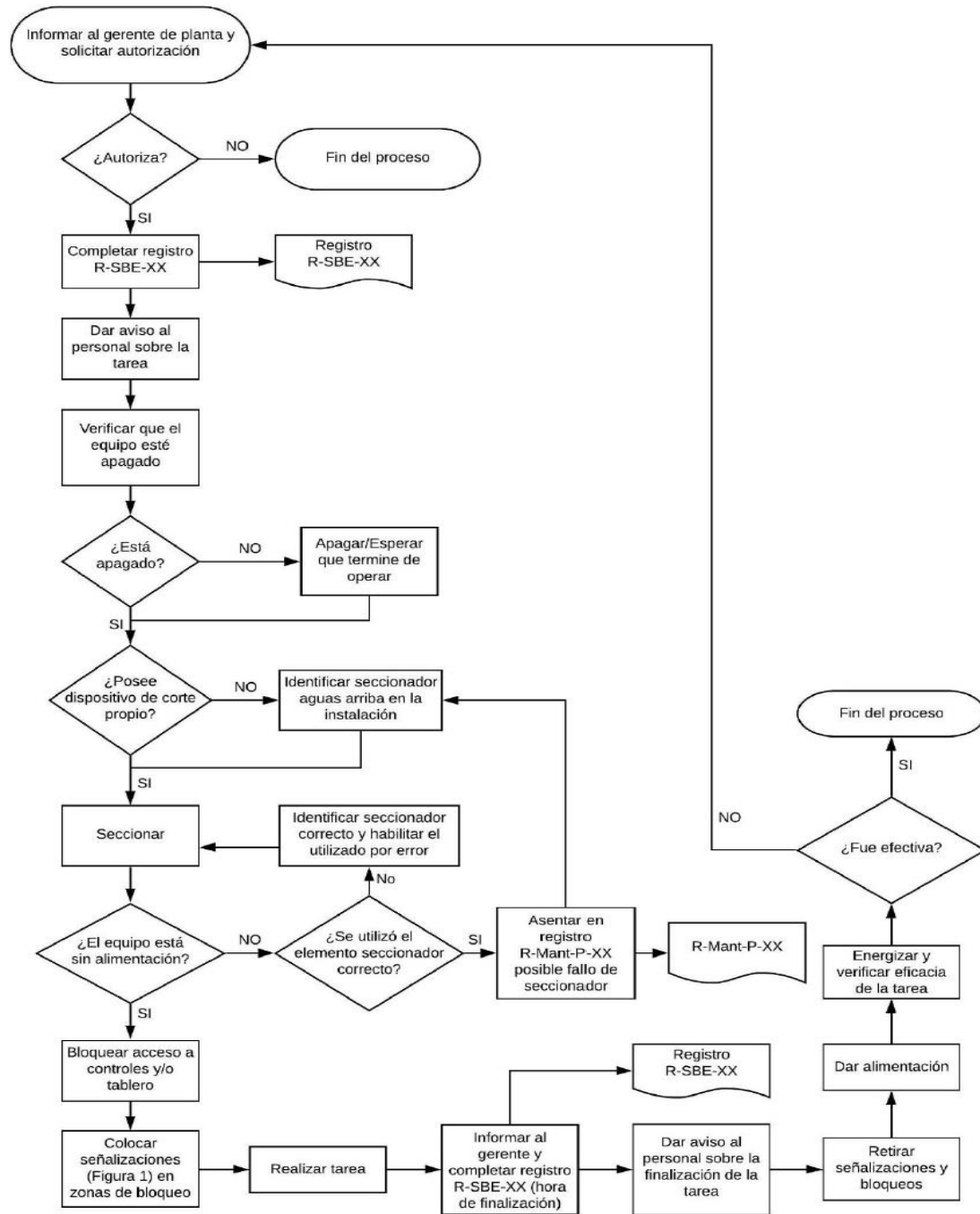


Figura 1: Señalización de seguridad para bloqueo de equipos.

Preparado por: Pickering, Brian.
Revisado y aceptado por:

3

Diagrama de flujo



Preparado por: Pickering, Brian.
Revisado y aceptado por:

Figura II. 28: Instructivo para máquinas con partes móviles, hoja 4.
Fuente: Elaboración propia.

16/9/2019

Rev. 1

ISPD-TT-1

Instructivo de seguridad

Tareas relacionadas con o en presencia de tensión eléctrica

Objetivo

Establecer las acciones de seguridad para toda actividad que implique tareas de mantenimiento relacionadas o en presencia de tensión eléctrica en equipos o tableros, en pos de asegurar el bienestar del trabajador.

Alcance

Aplica, pero no se limita, a todas las actividades de mantenimiento de la planta dosificadora que se deban realizar en presencia de tensión eléctrica o en áreas donde puede haber contacto con componentes tensionados. Aplicación obligatoria en:

- Revisiones de cableado eléctrico.
- Revisiones de cableado y bornes de motor eléctrico, limpieza de bornes.
- Revisiones y pruebas de tableros (de mando y eléctricos)
- Limpieza de tableros.

Responsable

Gerente de planta: brindar autorización para inicio de actividades y ejecución de bloqueos.

Personal de mantenimiento designado: ejecutar tareas de mantenimiento siguiendo cada paso del presente instructivo de seguridad.

Documentos asociados

- Registro R-Mant-P-XX
- Registro R-SBE-XX

Desarrollo

Requisito: Durante los pasos indicados a continuación se debe usar equipo aislante: guantes, herramientas y material sobre el que posicionarse (alfombra dieléctrica o similar).

1. Informar al gerente de planta sobre la tarea, solicitar autorización para iniciar y realizar bloqueos.

1

Preparado por: Pickering, Brian.

Revisado y aceptado por:

Figura II. 29: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 1.
Fuente: Elaboración propia.

16/9/2019 Rev. 1 ISPD-TT-1

2. Completar registro (código R-SBE-XX). En caso de requerir más de un individuo para llevar a cabo la actividad, designar y asentar en el registro como autorizado para ejecutar bloqueos a aquel involucrado en la tarea que posea mayor experiencia con el equipo/dispositivo.
3. Dar aviso personalmente a los empleados sobre la actividad que se va a realizar. Ubicar al segundo plantista, si no se encuentra involucrado, e informar sobre la tarea. También a los choferes que se encuentren en las inmediaciones.
4. Verificar que el equipo se encuentre apagado o no esté operando (si la tarea se lleva a cabo sobre maquinaria). Si no lo está, apagar o esperar que termine de operar.
5. Seccionar la parte de la instalación involucrada, utilizando los aparatos de corte más próximos a la zona de trabajo. Si se opera sobre un tablero, emplear el más próximo aguas arriba.
6. Verificar, obligatoriamente, la ausencia de tensión en cada una de las partes de la instalación seccionada. Utilizar un multímetro o un "busca polos". Si el área continúa tensionada, emplear el dispositivo de corte inmediato aguas arriba al tablero correspondiente y asentar posible fallo en registro R-Mant-P-XX.
7. Bloquear en posición de apertura los dispositivos de seccionamiento. En tableros utilizar la cerradura. Si no cuenta con una, colocar candado de seguridad. De no ser posible, seccionar aquel inmediatamente aguas arriba que si pueda ser bloqueado por los medios antes mencionados. Si se dispone de bloqueadores industriales, utilizar.
8. Señalizar los bloqueos. Utilizar tarjeta adjunta en la figura 1.
9. Descargar la instalación o equipo. Colocar una puesta a tierra y cortocircuito. Conectar entre sí las partes normalmente tensionadas mediante un conductor aislado y estos a una jabalina provisoria de acero cobreada que se debe clavar en la tierra. Los conductores deben tener una sección mayor a la de los cables del dispositivo.
10. Señalizar la zona de trabajo. Colocar conos de señalización unidos por cuerda alrededor del área. Posicionar cartel con simbología mostrada en la figura 2.
11. Realizar tarea.
12. Finalizado el trabajo, informar al gerente e indicar en el registro (código R-SBE-XX) la hora de finalización del bloqueo.
13. Dar aviso al personal de la planta. De igual forma a la indicada en el punto 3 del presente instructivo.

2

Preparado por: Pickering, Brian.
Revisado y aceptado por:

Figura II. 30: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 2.
Fuente: Elaboración propia.

16/9/2019 | Rev. 1 | ISPD-TT-1

14. Retirar puestas a tierra, cortocircuitos, herramientas, materiales y señalización de la zona.
15. Retirar tarjeta de los bloqueos.
16. Desbloquear aparatos de seccionamiento y colocar en posición de cierre. Sólo el operario que los colocó y figura en el registro R-SBE-XX como autorizado puede hacerlo.
17. Energizar y verificar efectividad del mantenimiento de acuerdo a la tarea realizada.
18. De ser efectivo, fin del proceso. De lo contrario, recomenzar.



Figura 1: Señalización de seguridad para bloqueo de equipos.



Figura 2: Señalización de seguridad para zona de trabajo con tensión.

Diagrama de flujo

Preparado por: Pickering, Brian.

Revisado y aceptado por:

3

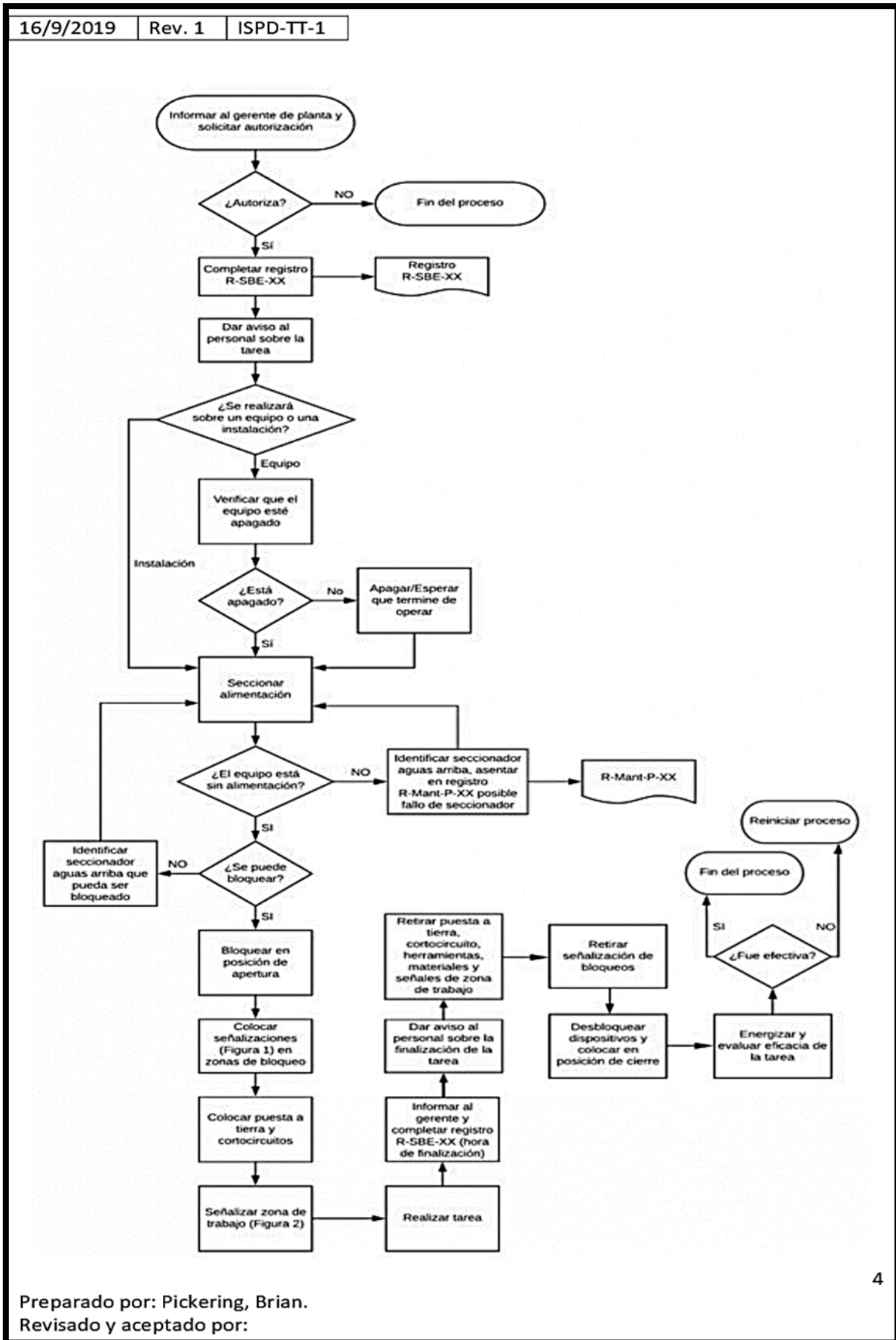


Figura II. 32: Instructivo para tareas relacionadas/en presencia de tensión, hoja 4.
 Fuente: Elaboración propia.

