

**Propuesta de mejora con un sistema de supervisión en la planta de triturado de piedra de la
empresa TRITURADORA BOCAS DEL GUAYURIBA S.A.S**

Braider Liniker Duran Moreno

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Mecatrónica
Bogotá, D.C.
2022

**Propuesta de mejora con un sistema de supervisión en la planta de triturado de piedra de la
empresa TRITURADORA BOCAS DEL GUAYURIBA S.A.S**

Braider Liniker Duran Moreno

Director

Daniel Felipe Peñarete Moreno

Proyecto pasantía opción de grado

Universitaria Agustiniana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Mecatrónica
Bogotá, D.C.
2022

Tabla de contenido

1. Antecedentes.	1
2. Descripción del problema	2
3. Pregunta	6
4. Objetivo general	6
4.1 Objetivos específicos:	6
5. Justificación	6
6. Marco referencial	9
6.1 Marco teórico	9
6.1.1 Teoría de la instrumentación	9
6.1.2 Almacenamiento de datos	10
Al igual que un RTU (terminal unitaria remota) almacena datos de proceso como valores de los medidores de campo por intervalos de tiempo, los MTU (unidad terminal maestra)mantienen ciertos datos.	10
6.1.3 Conexión a sistemas de supervisión	11
6.1.4 Comunicaciones industriales	12
6.1.5 Sistemas SCADA.	13
6.1.6 Características y objetivos que debería tener todos los sistemas SCADA	14
6.1.7 Ventajas de un sistema SCADA	15
6.1.8 Ventajas más relevantes de los sistemas SCADA	15
6.1.9 Arquitectura general de un sistema SCADA.	16
6.1.10 Importancia del Control Automático.	17
6.2 Marco conceptual	19
6.2.1 Monitoreo	19
6.2.2 Supervisión	19
6.2.3 Adquisición de datos	19
6.2.4 Mantenibilidad	19
6.2.5 Confiabilidad	19
6.2.6 Disponibilidad en mantenimiento	20

6.2.7 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	20
6.2.8 Sistema de comunicación	20
6.3. Marco legal	20
7. Marco metodológico	23
7.1 Tipo de investigación	23
7.2 Variables del problema	24
7.3 Fuentes de información	27
7.4 Técnicas e instrumentos	27
7.4.1 Medir temperatura	27
7.4.2 Medir vibraciones	27
7.4.3 Medir presión	27
7.4.4 Supervisión	28
7.5 Tamaño poblacional	28
8. Cronograma descriptivo de actividades	28
9. Introducción desarrollo de objetivos	29
9.1 Caracterización del funcionamiento de la planta trituradora para la apropiación de conocimientos sobre la operación de la misma	44
9.1.1 Explicación general del proceso de producción de la planta	44
9.1.2 Trituradora de mandíbulas	45
9.1.3 Descripción partes más relevantes de la máquina	47
9.1.4 Trituradora de martillos	47
9.1.5 Descripción partes más relevantes de la máquina	48
9.1.6 Zaranda clasificadora vibratoria	49
9.1.7 Descripción partes más relevantes de la máquina	50
9.1.8 Noria	50
9.1.9 Descripción partes más relevantes de la máquina.	51
9.1.10 Bombas de agua	52
9.1.11 Descripción partes más relevantes de la máquina	52
9.1.12 Bandas transportadoras	53
9.2 Variables críticas a tener en cuenta para integrar al sistema de supervisión.	56

9.2.1 Ecuación de criticidad	60
9.2.2 Variables a monitorear en las diferentes máquinas.	61
9.2.3 Variables a monitorear en la trituradora de martillos	63
9.2.4 Variables a monitorear en la zaranda vibratoria	64
9.2.5 Variables a monitorear en las bandas transportadoras	66
9.2.6 Variables a monitorear en las bombas de agua	66
9.2.7 Conceptos teóricos y casos de estudio	67
9.3 Presentar una propuesta de un modelo de sistema de supervisión para la empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.S.	73
9.3.1 Selección de los sensores y dispositivos de control.	78
9.4 Retorno sobre la inversión	88
10. Conclusiones	96
11. Recomendaciones	98
12.Referencias.	99

Tabla de Figuras

Figura 1. Planta de triturado.....	3
Figura 2. Árbol de problemas.....	5
Figura 3. Pérdidas de producción caso uno.....	7
Figura 4. Pérdidas de producción caso dos.....	8
Figura 5. Esquema básico del proceso en la instrumentación industrial.....	10
Figura 6. Descripción general de los módulos del sistema.....	11
Figura 7. Niveles de comunicación de un sistema de automatización industrial	13
Figura 8. Arquitectura de un sistema SCADA.....	17
Figura 9. Apuntes ingeniería mecánica.....	46
Figura 10. Trituradora de mandíbulas	46
Figura 11. Trituradora de martillos	48
Figura 12. Zarnda vibratoria	49
Figura 13. Lavado de arena.....	51
Figura 14. Noria.....	51
Figura 15. Bombas de agua	52
Figura 16. Banda principal	53
Figura 17. Banda de arena.....	54
Figura 18. Banda de grava de 3/14.....	52
Figura 19. Banda de grava de 2/1.....	54
Figura 20. Banda de retorno.....	55
Figura 21. Funcionamiento banda transportadora.....	55
Figura 22. Criterios a evaluar.....	57
Figura 23 Matriz frecuencia por consecuencia.....	60
Figura 24. Esquema medición noria.....	80
Figura 25. Esquema de medición trituradoras.....	82
Figura 26. Esquema de medición banda transportadora.....	83
Figura 27. Electronica.....	84
Figura 28. Esquema de medición motores.....	85
Figura 29. Manómetros digitales.....	85
Figura 30. Esquema de medición bombas.....	86

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz marco legal	21
Tabla 2. Variables del problema.....	25
Tabla 3. Variables de mantenimiento.....	26
Tabla 4. Cronograma.....	28
Tabla 5. Pérdidas económicas por fallas.....	29
Tabla 6. Hoja de reporte fallas y consecuencias trituradora de mandíbulas	31
Tabla 7. Hoja de reporte fallas y consecuencias trituradora de martillos.....	33
Tabla 8. Hoja de reporte fallas y consecuencias zaranda vibratoria.....	35
Tabla 9. Hoja de reporte fallas y consecuencias noria.....	36
Tabla 10. Hoja de reporte fallas y consecuencias bombas de agua.....	37
Tabla 11. Hoja de reporte fallas y consecuencias bandas transportadoras.....	39
Tabla 12. Fallas más comunes.....	41
Tabla 13. Matriz de requerimiento de usuario.....	43
Tabla 14. Nivel de criticidad.....	59
Tabla 15. Valores determinados para la primera frecuencia natural de vibración de distintos componentes.....	68
Tabla 16. Valores globales de vibración RMS [mm/seg] en distintas monedas.....	69
Tabla 17. Métodos de detección de fallas.....	71
Tabla 18. costos por horas extras.....	74
Tabla 19. Perdidas económicas de producción.....	74
Tabla 20. Gastos de mantenimiento correctivo	76
Tabla 21. Repuestos fijos	77
Tabla 22. Selección sensor temperatura.....	79
Tabla 23. Selección sensor vibración.....	80
Tabla 24. Selección sensor banda.....	82
Tabla 25. Especificaciones Técnicas sensor corriente.....	84
Tabla 26. Especificaciones Técnicas manómetros.....	86
Tabla 27. Fechas y actividades	87
Tabla 28. Inversión.....	89
Tabla 29. Reducción de gastos.....	91
Tabla 25. Comparación vida útil repuestos fijos.....	94

1. Antecedentes.

La empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.S. se encuentra ubicada en la localidad de Puerto López, en el departamento del Meta. El domicilio social de esta empresa es Vereda Bocas del Guayuriba jurisdicción, Puerto López, Meta. Su principal actividad es "Corte tallado y acabado de piedra". Donde se realiza venta de materiales pétreos (Arenas, gravas, crudos, tamizado). Se caracteriza por la calidad de sus productos, especialmente la pureza de la arena, en el transcurso de su ejecución han tenido un cambio de administración, quienes mejoraron procesos de seguridad en las máquinas y aumentaron el personal en un 15%, provocando la mejora continua de la compañía y el aporte significativo con la región.

Por otra parte, la empresa presenta propuestas y proyectos a las empresas industriales y comerciales del estado y del sector privado para el afianzamiento económico y el desarrollo de las regiones donde se establezcan domicilios de esta sociedad.

En la misma jurisdicción encontramos tres empresas que representan la competencia de la compañía en estudio, una de ellas es la Ceiba constituida aproximadamente hace 10 años, enfocada a la transformación y comercialización de materiales pétreos con una sola línea de producción.

La empresa Petreus, enfocada en la extracción de piedra, arena, arcillas comunes, yeso y anhidrita. Cuenta con un patrimonio neto de 169.602.000 COP y en el ejercicio del año 2015 generó un rango de ventas 'Menor de 1.000.000.000 COP' obteniendo un resultado del ejercicio 'Menor de 1.000.000.000 COP'.

La empresa Minzabet S.A.S. tiene como domicilio principal de su actividad la dirección, vía Porvenir Pachaquiario km 3 en la ciudad de Puerto López, Meta, fue constituida como sociedad por acciones simplificada y se dedica a la extracción de piedra, arena, arcillas comunes, yeso y anhidrita, especialista en proyectos enfocados a la construcción de carreteras y vías de la región, maneja dos líneas de producción, generan su enfoque en el río Guatiquia.

Por otra parte, existen estudios académicos que permiten dar un panorama más amplio de lo que se ha desarrollado respecto al tema de este proyecto:

La automatización ha tomado un papel importante en los últimos años en los procesos industriales, como ejemplo, un trabajo integrador para automatizar un sistema de trituración y molienda en un proceso de cal viva desarrollado por estudiantes de la Universidad Tecnológica

de Bolívar para el título de especialista en automatización y control de procesos industriales. El problema a tratar fue el siguiente:

Sistema de trituración y molienda. Transporta el material, el cual es Cal viva hasta los silos, a través de cintas transportadoras, alimentadores vibratorios y elevador de cangilones, este sistema carece de instrumentación adecuada para la disminución de riesgos, ya sea la misma máquina o al personal operativo. En la actualidad hay un operario quien es el encargado de alertar al cuarto de control las fallas como: desalineación de cintas, atascamientos, produciendo fallas térmicas, rotura de la cinta, entre otras, causando perdidas por tiempo muerto. (Pérez, Alfredy y Martínez, 2013, pp.5).

Para la solución de este problema se implementó un sistema de supervisión y control en el que los autores concluyeron que la instrumentación provocó la reducción de la carga prestacional de la compañía en \$110'000.000. Se disminuyeron los tiempos muertos gracias a la instrumentación en los silos de almacenamiento, acabando con la labor del operador, la cual era subir a los silos para verificar el nivel de almacenamiento de material. Además, se redujo la cantidad de fallos en las cintas transportadoras gracias a los sensores que se instalaron el parte de trituración, ya que estos alertan cuando la cinta se encuentra desalineada, por lo tanto, el operador puede hacer las correcciones pertinentes sin que ocurra el fallo. Por otro lado, se evidenció una reducción en enfermedades por contacto con el producto, evitando problemas de salud en las personas y la organización. (Pérez, Alfredy y Martínez, 2013, pp.30).

2. Descripción del problema

La empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.S. en su proceso de producción no cuenta con un sistema de supervisión que le permita dar un seguimiento del funcionamiento de la planta trituradora, esto se debe a la falta de dispositivos como son: sensores, actuadores, controladores y software que ayuden a detectar variables físicas y recopilar datos sobre el funcionamiento en tiempo real de la planta.

No tener estos dispositivos tiene como consecuencia paros inesperados, ya sea por daños en los equipos o por cambios en la operación normal de la planta; llevando al aumento de inactividad, requiriendo un mantenimiento que puede llegar a ser de 3 a 4 días con planta detenida por motivo de no saber la causa raíz de la falla y no tener los repuestos necesarios para

la intervención inmediata, ocasionando costos elevados de mantenimiento y pérdidas de producción, por otra parte, si no tienen reserva de material se pierden ventas y clientes.

Tampoco se cuenta con un sistema de visualización (ordenadores y pantallas) lo que genera que la planta trabaje a su suerte sin que haya posibilidad de detectar cambios en el estado actual, debido a que no hay como visualizar parámetros críticos para poder llevar seguimiento y hacer un análisis técnico de los cambios producidos por la misma operación antes del fallo. La planta no trabaja todos los días, la operación depende de la demanda que tenga la empresa y ventas diarias. La planta puede durar trabajando seguido más de una semana y puede haber un lapso de 1 o 4 días sin operar.

Por la falta de análisis hay escasez de toma de decisiones acertadas, lo que genera poca organización en la función de mantenimiento y baja confiabilidad en la operación de la planta por no tener los dispositivos y las protecciones adecuadas para evitar el fallo a corto plazo y de esta manera proceder a mejorar el programa de mantenimiento que no se base solo en correctivo, sino que se implemente un programa de mantenimiento preventivo y programado según los datos adquiridos por el sistema de supervisión.



Figura 1. Planta de triturado. Propia (2022).

En la figura 1 se observa la planta de triturado, la misma tiene 3 bandas de salida en la que se produce graba de $\frac{3}{4}$, graba de $\frac{1}{2}$ y arena. Para el manejo de la banda principal debe haber un

operario el 100% del tiempo controlando el encendido del motor para que no se recargue de material la zaranda y se sature el sistema, provocando un esfuerzo excesivo en los actuadores. De esta manera se afecta la disponibilidad de la planta debido a que existen fallas humanas durante el proceso, el control de la actividad es deficiente y con índices de precisión bajos afectando el proceso productivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, cabe resaltar que según la información dada por la empresa, hablando en un contexto económico, la planta llegaba a producir hasta 9.000 metros cúbicos mensuales de material, lo suficiente para las ventas de cada mes, pero en la actualidad debido a la problemática que tienen, solo llegan a producir de 5.500 a 6.000 metros cúbicos de material, lo que ha generado pérdidas económicas importantes debido a que las ventas fueron decreciendo al paso del tiempo por falta de material y pérdida de clientes. Estas pérdidas económicas reportadas por la empresa, comparando la cantidad de producto que se vendía antes y la cantidad de producto que se logra vender hoy en día, son aproximadamente de \$12.000.000.



Figura 2. Árbol de problemas. Propia (2022).

3. Pregunta

¿Cuál sistema de supervisión es el ideal para mejorar la confiabilidad de la planta?

4. Objetivo general

Establecer una propuesta de sistema de supervisión por medio de dispositivos, controladores y visualizadores que aporte a la mejora en funcionamiento general de la planta para incrementar su confiabilidad acorde a su proceso de producción, teniendo en cuenta las necesidades de la compañía.

4.1 Objetivos específicos:

- Caracterizar el funcionamiento de la planta para la apropiación de conocimientos sobre la operación de la misma.
- Establecer las variables críticas a tener en cuenta para integrar al sistema de supervisión.
- Presentar la propuesta de un modelo de sistema de supervisión que se adapte de manera eficiente al proceso productivo de la planta.

5. Justificación

Actualmente, la empresa no tiene la posibilidad de monitorear el estado general de la planta, lo que ha llevado al personal a manejar únicamente el mantenimiento correctivo, teniendo como resultado, mayor deterioro de los equipos, mayores pérdidas de producción y costos de mantenimiento, baja confiabilidad y disponibilidad de la planta. Esto se debe a que sin la posibilidad de detectar un problema antes de que ocurra la falla, no se puede hacer una intervención estratégica y programada sin que afecte el proceso productivo de la planta.

La empresa actualmente no cuenta con indicadores de proceso ni mantenimiento, teniendo en cuenta la información suministrada por los colaboradores, la planta ha estado detenida hasta 3 o 4 días por fallo de algún equipo y por no tener los repuestos necesarios en el momento, esto

tratándose de daño en equipos críticos, por ejemplo un motor que sufrió una sobrecarga y se quemó el embobinado. Aparte hay que tener en cuenta los fallos como desalineación de bandas que puede tomar de 1 a 2 horas la alineación, fallo en un rodamiento que puede tomar de 2 a 3 horas el cambio si se tiene el repuesto, si no se tiene la máquina permanece parada desde el momento del fallo hasta conseguir el repuesto que sería aproximadamente de 8 a 24 horas, el cambio de mallas dura de 4 a 12 horas dependiendo la cantidad de mallas. Estos son algunos de los tiempos de mantenimiento perdidos por falta de un sistema de supervisión que permita observar y analizar el estado de los equipos según variables físicas como temperatura, amperaje, vibración, y así poder intervenir de manera programada sin afectar la producción y no como se hace actualmente (**mantenimiento correctivo**). Por otro lado, cabe destacar que estos problemas conllevan a pérdidas financieras para la empresa, se pierde producción por el tiempo de planta detenida, hay aumento de mano de obra interna y externa, los costos de los repuestos y equipos nuevos, entre otros. La empresa producía aproximadamente entre 8.000 y 9.000 metros cúbicos de grava y arena al mes cuando la planta operaba sin mayores imprevistos, actualmente produce entre 5.000 y 6.000 metros cúbicos debido a los problemas mencionados anteriormente, esto es un porcentaje de pérdidas entre el 35 a 45%.

A continuación se expresarán más detalladamente las pérdidas en términos de producción.

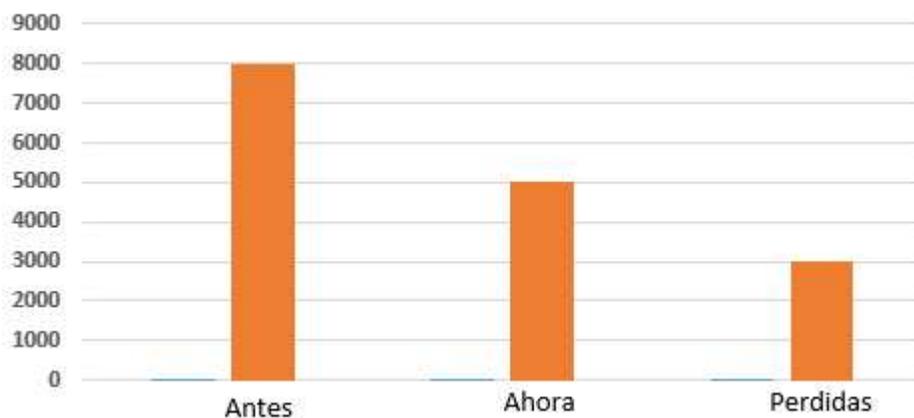


Figura 3. Pérdidas de producción caso uno. Propia(2022).

En la figura 3 se observa un valor de 8.000 metros cúbicos producidos cuando la planta estaba en óptimas condiciones, es decir, cuando no llevaba tantos años de operación (barra antes), en la barra (ahora), se muestra un valor de 5.000 metros cúbicos que se producen en la actualidad con

la problemática que presentan respecto al monitoreo de condiciones de proceso de las máquinas. La tercera barra muestra la diferencia entre los dos valores anteriores, la cual es de 3.000 metros cúbicos, lo que quiere decir que 8.000 siendo el 100% de producción de planta en buenas condiciones, el valor de 3.000 metros cúbicos representa el 37,5% de pérdidas actuales.

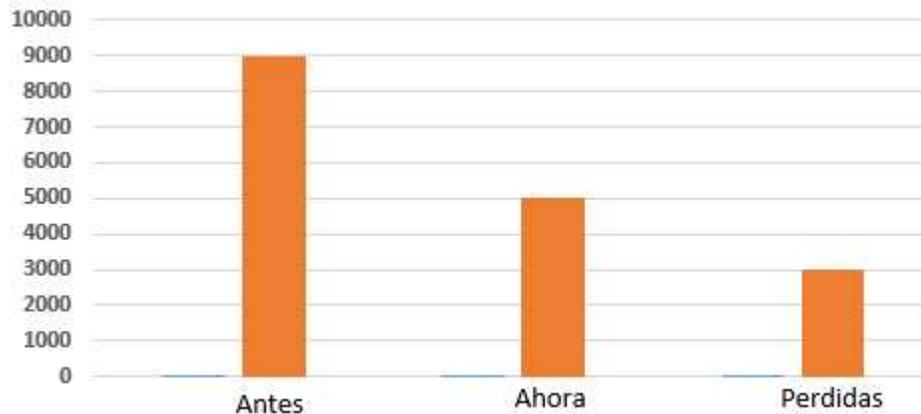


Figura 4. Pérdidas de producción caso dos. Propia (2022).

En la figura 4 al igual que en la figura 3 se analizaron las pérdidas de producción según los reportes de la empresa, en este caso la producción en buenas condiciones llega a su máximo de 9.000 metros cúbicos, siendo la producción actual de 5.000 metros cúbicos, se observa pérdidas de 4.000 metros cúbicos valor que expresado en porcentaje equivale al 44,44% de pérdidas actuales.

Debido a esto, muchas veces se acercan personas a comprar material y no tienen la suficiente oferta, por lo que las personas optan por ir a comprar en otro lado. Lo mismo sucede con los clientes potenciales que exigen cierta cantidad de material en una fecha establecida y al no contar con lo pactado se generan inconvenientes comerciales.

Con la implementación de un sistema de supervisión se pueden adquirir datos importantes diariamente que indiquen el estado actual de funcionamiento de los equipos y así mismo llevar un historial de parámetros para que al presentarse un cambio anormal en estos, sea de fácil detección y de este modo será confiable, acertado y pertinente programar una orden de trabajo, analizar las variables e ir directo al problema.

Es un beneficio para la empresa y sus colaboradores, ya que se puede trabajar de manera más organizada, con un nivel de confianza alto, un buen manejo de los tiempos y órdenes de trabajo,

además de mejorar la productividad y evitar daños críticos por la falta de dispositivos que generen protección hacia la operación de la planta y sus equipos.

Existe un beneficio metodológico, ya que es un tipo de propuesta que se podría utilizar en futuras investigaciones debido a su amplia posibilidad de desarrollo en la industria y la compatibilidad que tienen los sistemas de supervisión con cualquier proceso productivo, de esta manera la ingeniería mecatrónica enfocada a la mejora continua de los procesos productivos de las fábricas permite proponer soluciones inteligentes a la problemática de la organización, utilizando componentes tecnológicos con alto grado de autonomía y confiabilidad así como sistemas de supervisión y control automático, mejorando los tiempos de producción, costos, reducir el mantenimiento, entre otras más cualidades o beneficios que conlleva el desarrollo de sistemas automatizados gracias a esta rama de la ingeniería.

6. Marco referencial

6.1 Marco teórico

6.1.1 Teoría de la instrumentación

La constante evolución de la tecnología y la ciencia de la instrumentación se ha infiltrado en la industria petrolera en los últimos tiempos para empoderar a las industrias con instrumentos, sistemas de control y automatización de procesos, una industria bastante compleja e inteligente que optimiza el sector petrolero.

La optimización de procesos convierte la instrumentación en un conjunto de herramientas para medir, transformar o transformar variables. Tales variables pueden ser químicas o físicas necesarias para iniciar, desarrollar y controlar los diversos pasos involucrados en el tanque de almacenamiento, para el cual se utiliza la instrumentación en las operaciones de la planta.

Todos los dispositivos generalmente saben lo que está sucediendo en un proceso particular. Las herramientas, por su parte, liberan al operador de las operaciones manuales que normalmente realiza en los procesos industriales. La instrumentación y control de procesos es una rama de la ingeniería mecánica que combina muchas industrias diferentes, entre las que se encuentran: sistemas de control, automatización, tecnologías de la información y otras. Su principal

aplicación y finalidad es el análisis, diseño, automatización de procesos productivos en los siguientes campos industriales: petróleo, ingeniería eléctrica y otros. Este ingeniero está involucrado en el desarrollo de especificaciones para dispositivos que integran lazos de control, modificando planes de tuberías y equipos, y desarrollando lógica de control que puede ser electrónica, gaseosa o electrónica, de compresión o hidráulica. (Iturrald y Gutiérrez, 2017, pp. 1-2).

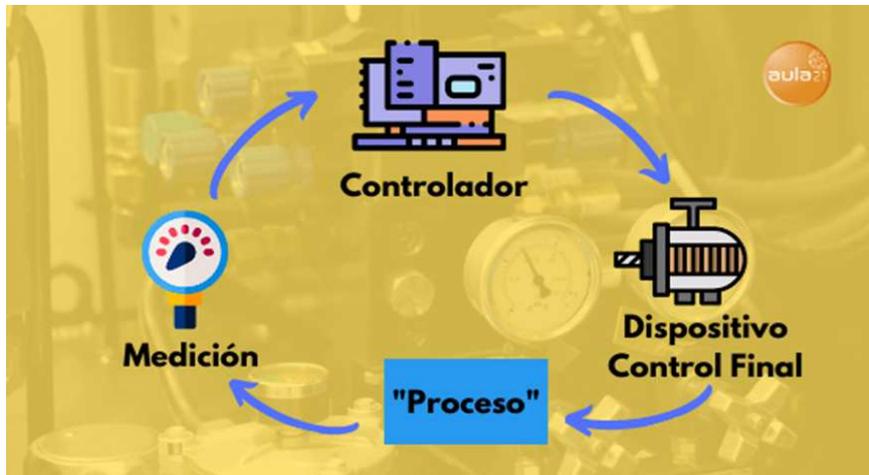


Figura 5. Esquema básico del proceso en la Instrumentación Industrial. Aula 21(2020).

6.1.2 Almacenamiento de datos

Al igual que un RTU (terminal unitaria remota) almacena datos de proceso como valores de los medidores de campo por intervalos de tiempo, los MTU (unidad terminal maestra) mantienen ciertos datos.

La capacidad de la MTU para comunicarse con la capa de control puede desactivarse debido a una falla de la estación de control. Por lo tanto, mientras la estación de monitoreo está inactiva, se requiere que la MTU almacene la información de la RTU. Para hacer esto, el sistema debe estar diseñado para retener datos durante un período de tiempo razonable hasta que se restablezca la estación de monitoreo.

La información almacenada debe estar actualizada y permitir que los operadores tomen decisiones basadas en datos históricos del proceso. Un ejemplo es el uso de tendencias gráficas para analizar el rendimiento del proceso. La mejor manera de almacenar datos es utilizar una base

de datos relacional, que toma los datos directamente de la MTU y los almacena en formato ODBC (Open DataBase Connectivity), lo que permite analizar los siguientes datos, esto con otra aplicación como Microsoft.

6.1.3 Conexión a sistemas de supervisión

Cuando sabes que con una o dos llaves puedes parar la producción, tienes que considerar los niveles de seguridad que tenemos que asignar a nuestros sistemas de control. Por lo general, las empresas establecen políticas para definir ciertos niveles de acceso al sistema de monitoreo para que los operadores sin experiencia puedan detener el proceso.

El sistema de control no será un sistema complejo que no permita al operador asumir la responsabilidad del sistema. Por lo tanto, la pantalla gráfica debe ser lo más fácil de usar posible. Entre las opciones que debe tener un sistema de monitoreo son:

- Originar automáticamente reportes de producción y mantenimiento.
- Detección de eventos.
- Solución de operaciones matemáticas para liberar un poco la función del

MTU. (Villajulca, 2019, pp.1).

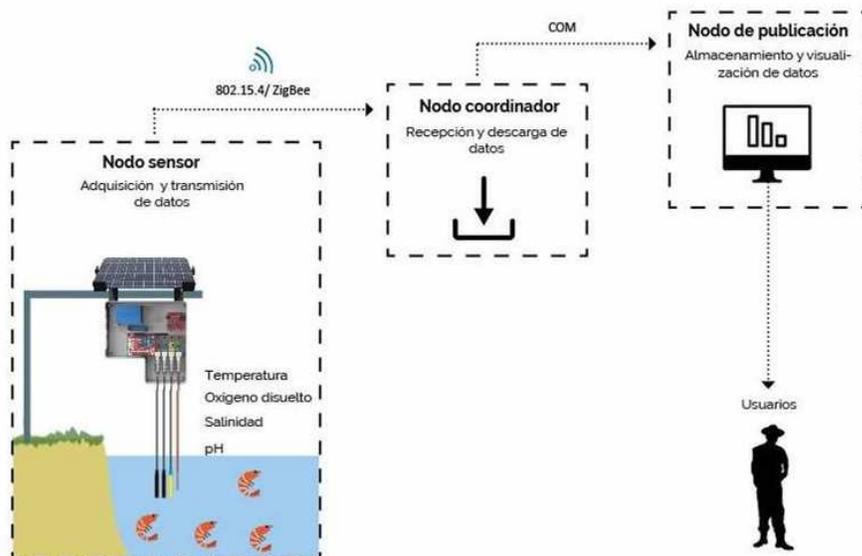


Figura 6. Descripción general de los módulos del sistema. Gutiérrez (2017).

6.1.4 Comunicaciones industriales

La abreviatura CIM (Computer Integrated Manufacturing) se traduce al español como Manufactura Integrada por Computadora o en forma más general como Producción Integrada por Computador y se define como un concepto que facilita la gestión de todas las etapas del sistema productivo mediante el uso de sistemas de automatización inteligente y componentes.

El concepto CIM se centra en gestionar todas las fases de un sistema de producción utilizando recursos informáticos, comenzando desde la gestión, planificación, diseño, producción y finalizando con la entrega del producto final al cliente. En este entorno, la comunicación juega un papel importante, puede suponer hasta el 50% de las inversiones totales, y es uno de los más difíciles de afrontar.

Esto se debe principalmente a los requisitos muy heterogéneos y dinámicos de los niveles individuales del sistema, así como a la falta de estandarización final en esta área. CIM requiere una comunicación de información flexible y eficiente, en muchos casos con rendimiento en tiempo real.

La misión principal de CIM es aumentar la eficiencia de todos los componentes que intervienen en la producción de la empresa.

En particular, los objetivos específicos de la CIM son:

- Incrementar la flexibilidad del sistema.
- Mejorar la calidad del producto.
- Disminuir el tiempo y el número de pasos de fabricación.
- Aumentar la confiabilidad del sistema.
- Reducir costos de fabricación.

Uno de los mayores desafíos de CIM es integrar controles complejos y heterogéneos utilizando computadoras y componentes de automatización. Estos incluyen robots (RB), máquinas de control numérico por computadora, vehículos guiados automatizados, controladores lógicos programables (PLC), sensores, unidades, lector de códigos de barras, sistema de visión para coordinación, máquina, etc. (Suárez, 2020, pp 1.2).



Figura 7. Niveles de comunicación en sistemas de automatización industrial. Sicma 21 (2021).

6.1.5 Sistemas SCADA.

La palabra SCADA proviene del acrónimo Supervisory, Control and data Acquisition, que significa Supervisión, Control y Adquisición de Datos. Un sistema SCADA se define como una aplicación o conjunto de aplicaciones diseñadas específicamente para ejecutarse en una computadora de control de producción que accede a un área de producción mediante comunicación digital con equipos y actuadores, así como una interfaz gráfica de usuario de alto nivel (monitor, panel táctil, ratón o puntero, lápiz óptico). Aunque originalmente era solo un programa para monitorear y recolectar datos en procesos de control, recientemente han surgido una amplia gama de productos de bus y hardware, diseñados o especialmente adaptados para este tipo de sistemas. La interconexión entre sistemas SCADA también es natural, la interfaz se realiza desde la PC a la fábrica centralizada, cerrando el ciclo en la computadora principal de monitoreo. (Lera, 2015, pp. 23-24).

De esta forma, el sistema se comunica con dispositivos de campo (controladores autónomos, controladores programables, sistemas de dosificación, etc.) para el control de procesos automatizados desde una pantalla de computadora configurable y fácil de modificar. Además, pone a disposición de los diferentes usuarios toda la información generada durante la producción. Lo que hace del sistema SCADA una herramienta diferente es su funcionalidad de control supervisado. En la práctica, la parte de control está definida y depende del proceso que se está

controlando, y finalmente, los equipos e instrumentos de control como armarios de control, PLC o algoritmos de control, etc. Los controles lógicos aplicados a esa instalación pueden existir antes del despliegue del sistema SCADA (Lera, 2015, pp. 24).

Así, la monitorización controla el proceso de instalación y monitoriza las variables que afectan a la instalación en un momento dado, permitiendo la ejecución y modificación en tiempo real de dichas variables, lo que pocas veces es posible, el sistema lo permite con facilidad. De esta manera, es posible probar todo el conjunto completo o partes específicas y volver a probar ciertas partes para corregirlo, de modo que el sistema funcione de acuerdo con los requisitos del procedimiento del cliente. Por tanto, con el sistema SCADA se habilita el control supervisado en tiempo real. En particular, esto distingue a los sistemas de automatización tradicionales de los sistemas SCADA, donde las variables de control se distribuyen entre los controladores electrónicos de la fábrica y causa una gran dificultad en los cambios de controladores, porque estos sistemas, una vez implementados, no permitirán un control verdaderamente óptimo (Lera, 2015, pp. 25).

6.1.6 Características y objetivos que debería tener todos los sistemas SCADA

- Totalmente funcional para operar y visualizar en sistema operativo Windows en cualquier PC estándar.
- En su arquitectura debe existir la posibilidad de combinaciones con otras aplicaciones estándar o de usuario para que de esta manera los integradores puedan desarrollar soluciones de mando y supervisión mejoradas.
- Exigencias de hardware bajas, interfaces amigables con el usuario y facilidad de instalación.
- Debe tener integración con herramientas ofimáticas y de producción.
- Debe ser configurable con la capacidad de adaptarse a las necesidades de la compañía.
- Independencia de la tecnología y el sector.
- Supervisión integrada y funciones de mando.

- Facilidad de comunicación entre el usuario y el equipo de la planta de manera flexible y transparente. (Lera, 2015, pp. 26).

6.1.7 Ventajas de un sistema SCADA

Al momento de hablar de un sistema SCADA no solo se debe tener en cuenta las pantallas que muestran cómo va el funcionamiento de las instalaciones, sino que hay que mirar que dé tras de eso hay unos dispositivos de comunicación, control, regulación y un software que permite que el sistema funciones de manera segura y eficiente (Penin, 2013, pp. 20).

6.1.8 Ventajas más relevantes de los sistemas SCADA

- No hay necesidad de ser experto en la materia debido a que es posible la creación de aplicaciones funcionales gracias a los nuevos paquetes de visualización.
- Un sistema PLC proporciona fiabilidad al control del sistema, ya que está fabricado para trabajos en condiciones adversas.
- Adaptación a las necesidades actuales y ampliación del sistema si es necesario.
- Se consigue una localización rápida de errores gracias a las herramientas de diagnóstico, lo que permite minimizar las paradas de los procesos, reduciendo costos de mantenimiento.
- Un sistema de control (RTU) puede funcionar de manera autónoma sin tener comunicación con la estación principal.
- Desde el centro de control, se permite hacer cambios en el software en las estaciones remotas (RTU).
- Fácil interpretación de los programas de control por parte de los técnicos, ya que se pueden documentar a conveniencia.
- Los sistemas implementados para el diagnóstico en los dispositivos de control comunican constantemente cualquier falla o incidencia en los equipos.
- Los programas de visualización presentan múltiples ayudas al usuario, desde una alarma hasta la localización exacta de la causa o la parte del esquema eléctrico implicado en la misma. Esto permite reducir los tiempos de localización de averías al tener información sobre el origen y las causas de los fallos.

- Fácil exportación a otras aplicaciones de uso común como hojas de cálculo debido a que los sistemas de visualización pueden recoger datos del autómatas y presentarlos en diferentes formatos.
- Gracias a los sistemas de comunicación estandarizados, la integración de sistemas es rápida. (Penin, 2013, pp.20)

6.1.9 Arquitectura general de un sistema SCADA.

En general, la arquitectura del sistema SCADA tiene cuatro niveles de producción funcional. Las grandes plantas de producción, como las plantas de energía nuclear y las refinerías de petróleo, tienen sistemas complejos de recopilación y control de datos.

Estos sistemas de control de seguimiento y adquisición de datos pueden tener diferentes niveles de funcionalidad a medida que el proceso de fabricación se vuelve más complejo.

La funcionalidad de nivel 0 incluye equipos de fábrica como sensores, controles, válvulas y actuadores. Estos dispositivos pueden variar según la aplicación, los artículos de nivel de campo también pueden incluir arrancadores.

El nivel 1, por otro lado, incluye módulos como un PLC (Controlador Lógico Programable) o RTU (Terminal Remoto). Por lo tanto, en este nivel se encuentran principalmente procesadores electrónicos distribuidos.

El nivel 2 contiene computadoras que procesan la información que proviene de los módulos del nivel 1. Los datos se procesan y se muestran al supervisor para que el operador pueda tomar decisiones e ignorarlas si algo sale mal y se sale de control.

El nivel 3, por otro lado, es el control del nivel de producción, este nivel no gestiona directamente los procesos de campo, ese es un nivel más de control, pues tiene un mayor énfasis en las metas en este nivel.

El último nivel es el nivel 4, que es el nivel de planificación de la producción, en este nivel, los gerentes establecen programas de producción basados en muchos factores, como la demanda. (Sicma 21, 2021, pp.1).

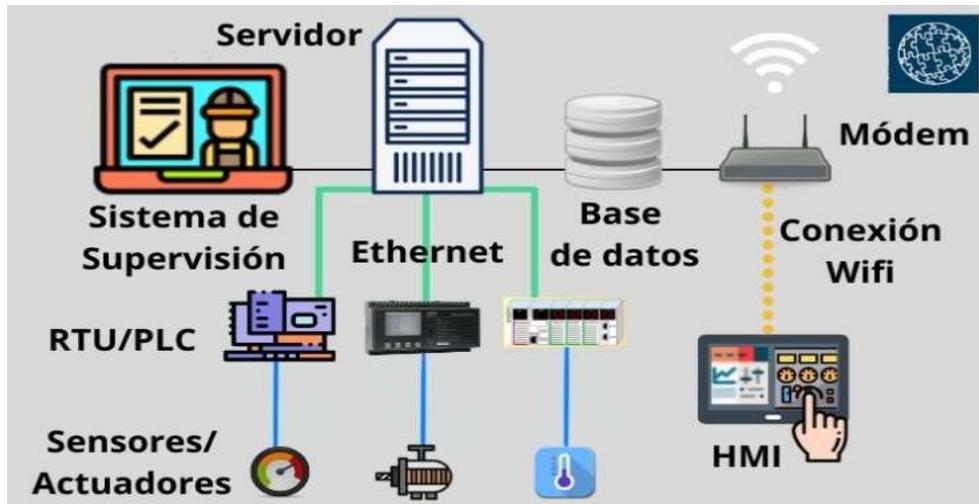


Figura 8. Arquitectura de un sistema SCADA. Sicma 21 (2021).

6.1.10 Importancia del Control Automático.

Los controles automatizados juegan un papel cada vez más importante en la vida cotidiana, desde los controles simples que operan la tostadora automática hasta los controles complejos necesarios en naves espaciales, navegación, cohetes, sistemas de control de aeronaves, etc. Además, en los procesos industriales y de fabricación actuales, el control automático es un componente importante e indispensable. Por ejemplo, el control automático es esencial en industrias como el control de la humedad, la temperatura, la presión, la viscosidad y el caudal durante el mecanizado, el mecanizado, la manipulación de materiales y el montaje de piezas mecánicas en las industrias manufactureras. Hoy en día, las modernas fábricas e instalaciones industriales requieren cada vez más sistemas de control para agilizar y optimizar una gran cantidad de procesos que no están controlados por la presencia de personas. Aeroespacial y aeronáutica, petroquímica, papelera, textil, cementera, etc. Estos son algunos ejemplos de los sistemas de control necesarios, cuya complejidad ha llevado al desarrollo de métodos para diseñarlos y construirlos. Las herramientas para un rendimiento óptimo en sistemas dinámicos están potenciadas por los avances en la teoría y la práctica del control, al mismo tiempo que ayudan a mejorar la calidad y reducir los costos de producción sin complicar los procesos,

diferentes procesos manuales, etc. La mayoría de los ingenieros se familiarizan con los sistemas de control, incluso con solo usarlos, sin profundizar en su teoría. Los sistemas de control proporcionará una base para entender el funcionamiento de estos sistemas, por ejemplo, muchos conceptos de la teoría de control se pueden usar para tratar los problemas de vibración. En este sentido, la teoría del control automático es solo una pequeña parte de la teoría más general que estudia el comportamiento de todos los sistemas dinámicos. Todos los sistemas de control suelen utilizar diferentes tipos de componentes, como componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos, y sus combinaciones. Un ingeniero que trabaje con controladores debe estar familiarizado con las leyes fundamentales de la física que rigen estos componentes. Sin embargo, en muchos casos que varían entre ingenieros, los fundamentos existen como conceptos únicos con poca conexión entre ellos. El estudio del control automático puede ser de gran ayuda para establecer conexiones entre diferentes campos científicos, permitiendo aplicar diferentes conceptos a un problema de control común. El estudio del control automático es importante porque proporciona una buena comprensión de todos los sistemas dinámicos, así como el uso de las leyes fundamentales de la naturaleza. Cada proceso de tecnología de producción requiere el logro de objetivos específicos. La función de un sistema es controlar el comportamiento de otro sistema o corregirlo para evitar errores. El sistema de control incluye un conjunto de dispositivos de diferentes tamaños, pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos, mecánicos u otros. El tipo o tipos de equipos está determinado en gran medida por el objetivo a alcanzar, pero un sistema de control no se configura como tal simplemente con estos dispositivos, sino que debe seguir la lógica de al menos 3 elementos básicos:

- Un parámetro que se quiere controlar
- Un actuador
- Un punto de partida o depósito.

Por ejemplo, en la operación de control de lotes, la lógica del sistema de control debe utilizar sus tres elementos. La variable controlada puede ser el propio producto a granel mientras se transporta a los contenedores industriales, el punto de referencia o punto de consigna será el encargado de determinar el límite de llenado, mientras que el actuador será la parte que realice la acción de llenado, ya sea una bomba mecánica o una bomba eléctrica. (Marcos A, 2017, pp.9).

6.2 Marco conceptual

6.2.1 Monitoreo

“Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...). Una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia.” (Penin, 2013, pp.18).

6.2.2 Supervisión

“Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso, herramientas de gestión para la toma de decisiones. Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular tareas asociadas a los autómatas.” (Penin, 2013, pp.18).

6.2.3 Adquisición de datos

“Encargado de la adquisición de todos los datos que supervisan los sistemas (equipos), desde la lectura de las señales de los instrumentos hasta que los valores son almacenados en la base de datos.” (Martell, 2016, pp.19).

6.2.4 Mantenibilidad

“Se define como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.” (Grajales, Sánchez y Pinzón, 2006, pp.158).

6.2.5 Confiabilidad

“La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación”. (Grajales, Sánchez y Pinzón, 2006, pp.156).

6.2.6 Disponibilidad en mantenimiento

“La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado.” (Grajales, Sánchez y Pinzón, 2006, pp.157).

6.2.7 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

“Interfaz entre el proceso y los operarios de una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la operación por parte de un humano. Es un panel de instrumentos que el operario puede manipular para controlar un proceso.” (Autycom, 2020).

6.2.8 Sistema de comunicación

“El intercambio de información entre servidores y clientes se basa en la relación de productor consumidor. Los servidores de datos interrogan de manera cíclica a los elementos de campo, recopilando los datos generados por registradores, autómatas, reguladores de proceso, etcétera.” (Penin, 2013, pp.35).

6.3. Marco legal

En la tabla 1 se mencionan las normas requeridas para implementar un sistema de supervisión óptimo en el proceso de producción, teniendo en cuenta los estándares y la normatividad respectiva para cada proceso, encontraremos la información precisa de cada una, incluyendo el año de admisión y su respectiva descripción con el objetivo de controlar comportamientos que nos permitan continuar un orden determinado, y son articuladas para establecer lo básico de un comportamiento aceptado en diferentes contextos.

Tabla 1.

Matriz marco legal.

TIPO DE NORMA	NÚMERO	AÑO DE ADMISIÓN	ARTÍCULO APLICABLE	DESCRIPCIÓN
NORMA	ISA-S88	Fue aprobado por la ISA en 1995 y actualizado en 2010	Toda la norma	“Entrega una guía para el diseño de sistemas de control en procesos de fabricación por lotes, definiendo la terminología base para su entendimiento, al igual que una arquitectura de modelos que pueden ser usados en sistemas de automatización. Principalmente, el objetivo de esta norma es separar de la información general del proceso aquella que pertenezca a los equipos y maquinaria involucrada en las aplicaciones de control”. (Moya,2019, p.24)
NORMA	ISA S5.1	Se publicó como estándar en 1984.	Toda la norma	Esta norma, según (Moya,2019) dice: “En el estándar ANSI/ISA-S5.1 se indican los procedimientos requeridos para la identificación, funciones y representación gráfica de la instrumentación de los sistemas de control” (p,2).
NORMA	ISA S5.3	1983	Toda la norma	Como dice (Zambrano, s.f) “El objeto de esta norma es documentar los instrumentos formados por ordenadores, controladores programables, miniordenadores y sistemas a microprocesador que disponen de control compartido, visualización compartida y otras características de interfase” (p. 5).
NORMA	ISA S5.4	1946	Toda la norma	“Establece la información mínima requerida y adicional para un lazo de instrumentación; donde este lazo forma parte de un proceso descrito sobre alguna clase de dibujo de ingeniería, como por ejemplo P&ID (Piping and Instruments Drawings)” (Peña y Duran, s.f, p.3).

NORMA	ISA101	2015	Toda la norma	“La norma pretende proporcionar orientación para diseñar, construir, operar y mantener HMI efectivas que resulten más seguras, más eficaces y más eficiente en el control de un proceso, en todas las condiciones de funcionamiento” (ISA101 Norma para diseño de HMI, 2015).
-------	---------------	------	---------------	---

Esta información fue recopilada de diferentes autores, con el fin de dar a conocer la normativa general que influye significativamente en el desarrollo de este proyecto. Propia (2022).

7. Marco metodológico

7.1 Tipo de investigación

La investigación del presente proyecto es de tipo cuantitativa, (Arias, 2020) define la investigación cuantitativa como: “aquella que utiliza métodos cuantitativos e inferencia estadística con el objetivo de extrapolar los resultados de una muestra” (p.1).

De este modo se recolectan diferentes variables numéricas respecto al funcionamiento general de la trituradora para su posterior análisis, con el fin de conocer el estado actual de operación y cómo mejorarlo.

Según el alcance es correlacional, (Arias, 2020) nos da una definición, la cual es: “La investigación correlacional consiste en evaluar diferentes variables, siendo su fin estudiar el grado de correlación entre ellas” (p.1).

De manera que se tomaran estos datos para saber con mayor exactitud qué pasa con una variable al modificar otra, lo que podríamos llamar causa y efecto.

Según la estrategia experimental, (Arias, 2020) la define como: “aquella que se lleva a cabo manteniendo una serie de variables de control constantes, mientras el resto se miden como sujetos del experimento” (p.1).

Para ello tendremos en cuenta las variables que son dependientes y las que son independientes para estudiar el comportamiento según los cambios en los parámetros de operación de la máquina.

Según la secuencia temporal del estudio es longitudinal, “son aquellos en los que se recolectan los datos a través del tiempo, en períodos especificados, con el fin de hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y sus consecuencias”. (Rodríguez y Cabrera, 2007, p.4).

Se irán recolectando datos poco a poco en secuencias de tiempo para obtener mejores proyecciones sobre el comportamiento de las variables o parámetros a estudiar.

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos es prospectivo, “son aquellos en los cuales la información se va registrando en la medida que va ocurriendo el fenómeno o los hechos programados para observar”. (Rodríguez y Cabrera, 2007, p.3).

Se registraron los datos según vayan ocurriendo con el fin de actualizar la parametrización y posteriormente indagar en ellos, haciendo seguimiento continuo de las variables para tener una estructura sincronizada de los cambios en los valores a estudiar.

7.2 Variables del problema

Teniendo en cuenta el funcionamiento de la máquina, el proceso de producción y las diferentes partes que la componen, se tratarán las siguientes variables: temperatura, presión, vibración, amperaje, voltaje, disponibilidad, confiabilidad, tiempo medio entre fallos, tiempo medio para reparación y costos de mantenimiento.

Se identificará un modelo de sistema de supervisión apropiado para la planta según las variables deseadas a monitorear (temperatura, presión, vibración, amperaje y voltaje), ya que estas variables son las más críticas para la operación y a su vez mejorar las variables mencionadas anteriormente que son: (la disponibilidad, la confiabilidad, variables en mantenimiento y variables productivas).

El seguimiento de estas variables permitirá mejor visualización del funcionamiento de la planta y así mismo poder tomar decisiones acertadas de que equipos hay que intervenir de manera programada y con intervalos de tiempo más cortos por su grado de criticidad. El sistema ayudará a proteger eficazmente los actuadores y su disponibilidad y confiabilidad incrementarán considerablemente. Por otra parte, el equipo de mantenimiento podrá desarrollar un plan de mantenimiento efectivo para la planta según su modo de operación, tener un stock de repuestos necesarios para mejorar los tiempos de mantenimiento y el tiempo medio entre fallos, ya que el sistema permitirá saber cuáles son los dispositivos que tienden a fallar más rápido y también hacer un análisis para evitar los fallos prolongados y mejorar los planes de acción al momento de intervenir los equipos.

Tabla 2.

Variables físicas del problema

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	TIPO DE VARIABLE	RELACIÓN DE DEPENDENCIA
Temperatura	“La temperatura mide en cierta manera la energía asociada al movimiento o energía cinética de las partículas que componen la materia bajo estudio”. (Townsend, 2022, p1)	Temperatura normal de operación.	Grados Celsius	Continúa	Dependiente
Presión	“Es una magnitud física escalar representada con el símbolo p, que designa una proyección de fuerza ejercida de manera perpendicular sobre una superficie, por unidad de superficie”.(Xperta, 2008, p1)	Presión necesaria de operación.	PSI	Continúa	Independiente
			BAR		
Vibración	“Una vibración se define como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio”. (Predictiva 21, sf, p1)	Vibración máxima de operación.	Mm/s	Continúa	Dependiente
Intensidad	“Es la cantidad de carga eléctrica que atraviesa la sección de un conductor en un segundo”.(Andalucía, sf , p1)	Corriente nominal de operación.	Amperios	Continúa	Dependiente
Disponibilidad	La capacidad de ejecutar una cierta función en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo determinado.(Equipo Drew, 2022, p.1)	Tiempo que la planta puede operar sin ningún problema.	Horas, minutos, segundos	Continúa	Dependiente

Propia (2022).

Tabla 3.
Variables de mantenimiento.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	TIPO DE VARIABLE	RELACIÓN DE DEPENDENCIA
Confiabilidad	“La probabilidad de que un elemento desempeñe su función especificada en el proyecto, de acuerdo con las condiciones de operación, en un intervalo específico de tiempo”.(Suazo, 2020, p1)	Tiempo que la planta opera en condiciones óptimas de funcionamiento	horas, Minutos, segundos	Continúa	Dependiente
MTBF	“Consiste en medir el tiempo total de buen funcionamiento medio entre cada fallo de un equipo reparable”.(Suazo, 2020, p1)	Promedio del tiempo que la planta opera sin fallas.	Horas, minutos, segundos	Continúa	Dependiente
MTTR	“Facilidad de un equipo de mantenimiento para encontrar y reubicar un equipo en condiciones de ejecutar sus funciones después de un fallo”.(Suazo, 2020, p1)	Promedio del tiempo de solución de una falla o tiempo que dura el mantenimiento.	Horas, minutos, segundos	Continúa	Independiente
Costos de mantenimiento	“Los costos de mantenimiento y reparación resumen el dinero total destinado a procurar que un activo siga funcionando como debería”.(Suazo, 2020, p1)	Cantidad de dinero para mantener la planta en condiciones óptimas de operación.	Dinero	Continúa	Dependiente
Producción grava $\frac{3}{4}$	“Consiste en medir la cantidad de material producida en la planta al cabo de 7 días”.(Propia 2022)	Promedio de metros triturados a la semana	Metro cuadrado	Discreta	Dependiente
Producción grava $\frac{1}{2}$	“Consiste en medir la cantidad de material producida en la planta al cabo de 7 días”.(Propia,2022)	Promedio de metros triturados a la semana	Metro cuadrado	Discreta	Dependiente

Propia (2022).

7.3 Fuentes de información

La información recolectada sobre el funcionamiento de la planta, los equipos que la componen, las variables a tener en cuenta, el proceso de producción, y demás datos, se tomarán de manera experimental y observacional, por lo que la mayoría de información obtenida es fuente primaria, esto quiere decir que se asistirá a la compañía a recolectar la información necesaria con ayuda de los colaboradores del área y pruebas en campo para futuros análisis. Adicionalmente, se tendrá en cuenta algunas fuentes secundarias con el fin de identificar fenómenos a partir de datos recopilados por otros.

7.4 Técnicas e instrumentos

7.4.1 Medir temperatura

El uso de un sensor de temperatura permitirá ver si un motor o cualquier equipo crítico en movimiento está teniendo un sobre esfuerzo. Es muy útil para la supervisión de la temperatura de los rodamientos de los diferentes motores, así como la temperatura de los devanados. De esta manera se podrá afianzar la vida útil por mayor tiempo, menores inconvenientes en la operación, disminución de tiempos muertos por reparaciones y menor gasto innecesario de energía, planteando acciones destinadas a mejorar la eficiencia de los diferentes motores.

7.4.2 Medir vibraciones

La razón de medir vibraciones es con el fin de detectar el estado de la maquinaria y poder identificar cualquier desalineación, problema de rodamientos, piezas deformadas, desequilibrio o lubricación, entre otros síntomas que pueden afectar gravemente el proceso de producción. Se escogerá el sensor más adecuado según la maquinaria y el entorno.

7.4.3 Medir presión

La presión a supervisar será la de las bombas de agua encargadas de transportar el agua a la noria para el lavado de la arena. Esto se hará por medio de manómetros de presión y/o transmisores de presión, los cuales estarán ubicados a la succión y a la descarga de cada bomba.

7.4.4 Supervisión

En la propuesta se dará un modelo o una metodología para el sistema de supervisión, el cual se adapte eficientemente a los objetivos deseados y que de manera sencilla los colaboradores de la empresa puedan hacer seguimiento a las diferentes variables y así poder tomar decisiones más acertadas sobre las intervenciones a la planta así como analizar los datos y hallar las razones de ciertos comportamientos anormales de los equipos para posteriormente mejorar los sistemas.

7.5 Tamaño poblacional

La población que hará parte de la investigación es la Empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.S. Administrativos, área de producción, departamento de mantenimiento, quienes serán muestra poblacional y la clave para proporcionar la información necesaria para el menester de la investigación.

8. Cronograma descriptivo de actividades

Tabla 4.
Cronograma.

Cronograma ACTIVIDADES	SEMANAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Caracterización de la planta y de las variables físicas, productivas, administrativas y de operación actuales de la planta																
Selección de sensores y dispositivos																
Diseño preliminar del sistema de supervisión																
Análisis de costos																
Aplicación y desarrollo																
Resultados obtenidos (ROI y beneficios)																
Presentación y entrega																

Propia (2022).

9. Introducción desarrollo de objetivos

La empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.S. actualmente presenta dificultades respecto al proceso de producción debido a la falta de monitoreo de los diferentes procesos que componen la planta. Esto se pudo ver detalladamente al momento de analizar el proceso donde se evidenció que los operarios no tienen la forma de saber el estado actual del funcionamiento de la planta en general así como de la maquinaria y los diferentes componentes, viendo que no existe ningún dispositivo de protección, ni visualización que alerte al personal cuando una máquina está teniendo un comportamiento anormal y posiblemente está próxima a una falla, esto genera paradas de producción inesperadas y actividades largas de mantenimiento por correctivos, de esta manera se logró establecer la importancia del monitoreo en tiempo real de diferentes variables de proceso con el fin de que el personal pueda llevar seguimiento continuo del funcionamiento de la planta. A continuación se relaciona tabla de pérdidas aproximadas por fallos inesperados.

Tabla 5.

Pérdidas económicas por fallas.

	Tiempo de paradas por fallos inesperados en horas	Pérdida Producción en Metros Cúbicos	Pérdida de ganancias
Se deberían producir 300 m³ diarios (8 horas), producir el metro cuesta \$27.000 pesos actualmente y se ganan \$5.000 x 1 m³.	2	75	\$375.000
	4	150	\$750.000
	8	300	\$1.500.000
	16	600	\$3.000.000
	24	900	\$4.500.000
	32	1200	\$6.000.000

Propia (2022).

Cada máquina que compone la planta cumple con un papel fundamental para que el producto sea el deseado y si alguna de estas no se encuentra en óptimas condiciones no es posible que se realice la producción, por tal motivo el sistema de supervisión propone un seguimiento de

parámetros de operación que indican cuando un equipo no está trabajando en las mejores condiciones y por ende que está pronto a entrar en falla, de esta manera promete el cuidado de las máquinas críticas aportando a los encargados de producción y el área de mantenimiento datos de suma importancia para el seguimiento y el análisis de las variables obtenidas por el sistema de supervisión, logrando extender la vida útil de las máquinas y, por lo tanto, disminuyendo costos de producción.

Para el área de mantenimiento, el monitoreo constante de variables de trabajo como: temperatura, vibración, presión, etc. Permite a los colaboradores hacer un análisis técnico sobre el estado de los equipos y así decidir qué hacer, cuándo hacerlo, cómo hacerlo y cómo minimizar la probabilidad de que vuelva a suceder. A continuación, se muestran algunos beneficios dirigidos al área de mantenimiento, incluyendo de manera eficaz el monitoreo de variables de la planta.

- Aumenta el conocimiento del estado actual de la planta y las máquinas.
- Optimiza la planificación e intervenciones de mantenimiento.
- Reduce el mantenimiento innecesario.
- Ayuda a disminuir la ocurrencia de averías y las probabilidades de que sucedan.
- Mejora la disponibilidad a lo largo de la operación y del tiempo y la fiabilidad del historial de mantenimiento y los datos.
- Cambia la filosofía de un mantenimiento reactivo a otro proactivo.

A continuación se muestran diferentes tablas en la cuales se representan las fallas más severas que han ocurrido en las máquinas, estas tablas fueron realizadas según la experiencia que han tenido los encargados del área de mantenimiento en tipo de fallas y el tiempo que ellos se demoran en solucionarlas.

Tabla 6.

Hoja de reporte de fallas y consecuencias trituradora de mandíbulas.

Trituración primaria	Año de fabricación	
Trituradora de mandíbulas	2010	
Función	Máquina encargada de realizar la trituración primaria que equivale a 40 ton/hora aprox.	
Falla funcional	Máquina detenida por fallas, no llega a la productividad esperada.	
Falla específica	Efecto	Efecto sin stock
Desgaste de las quebrantadoras	No es posible triturar (se detiene el proceso). Tiempo de cambio 4 horas.	Tiempo de cambio hasta 4 días.
Daño en motor eléctrico	No es posible triturar (se detiene el proceso). Tiempo de reparación 1 hora.	Tiempo de reparación 1 o 2 días.
Desgaste bujes y cojinetes.	Daño en volantes y eje excéntrico, reducción de producción o no es posible triturar. Tiempo de cambio 12 horas.	Tiempo de cambio 2 o 3 días
Falla eje excéntrico	No es posible triturar. Tiempo de cambio 12 horas.	Tiempo de cambio hasta 4 días.
Rotura correa	No hay transmisión de potencia, no es posible triturar. Tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio entre 2 a 4 horas.

Propia (2022).

En la tabla 6 se evidencian las fallas que generan mayor inversión por su gravedad en daño, costo para la reparación y tiempo. Donde se refleja la falla ocurrida, y efecto que causa en la operación dependiendo si tienen un stock de estas partes o no lo tienen. Se puede evidenciar cinco fallas comunes las cuales son causadas por el mal funcionamiento de la máquina, por ejemplo:

El desgaste de los cojinetes, es una falla causada por el esfuerzo mayor a los que soporta la máquina y una inadecuada lubricación de los rodamientos, ya sea por falta de lubricante o exceso de lubricante, además hay que tener en cuenta el ambiente de trabajo al que está sometida la máquina, el cual es expuesta a polvo y lluvia.

El desgaste de las quebrantadoras, aunque es una parte de máquina que por trabajo normal tiene que desgastarse, en el momento está sufriendo desgaste prematuro, esto se debe a temas de vibración y saturación del sistema.

El eje excéntrico debido al mal funcionamiento y las vibraciones excesivas sufre desalineación y recalentamiento, ocasionando desbalanceo en los volantes laterales y, por lo tanto, la transmisión de potencia del motor se ve afectada negativamente.

El daño en el motor se debe a sobrecargas y cortos circuitos, los cuales pueden ser ocasionados por el daño en los rodamientos, exceso de vibración en la máquina, y operación inadecuada de la máquina como alimentación excesiva, causando esfuerzos mayores, atascos de material, etc.

La rotura de correas, se debe principalmente a la desalineación entre el eje del motor y volante de la máquina, tensión excesiva, transmisión con capacidad insuficiente, y severas cargas de choque.

Tabla 7.

Hoja de reporte de fallas y consecuencias trituradora de martillos.

Trituración secundaria	Año de fabricación	
Trituradora de martillos	2010	
Función	Triturar el material que es rechazado por la zaranda, para una trituración secundaria.	
Falla funcional	Genera parada de producción o reducción en el proceso de triturado.	
Falla específica	Efecto	Efecto sin stock
Desgaste de los martillos.	No es posible triturar (se reduce la producción). Tiempo de cambio 4 horas.	Tiempo de cambio hasta 4 días.
Desgaste en placas de impacto	No es posible triturar (se tiene el proceso). Tiempo de cambio 4 horas.	Tiempo de cambio hasta 4 días.
Daño en rodamientos.	No es posible triturar. Tiempo de cambio 8 horas.	Tiempo de cambio 2 o 3 días
Daño al motor eléctrico.	No es posible triturar. Tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio hasta 1 o 2 días.
Rotura correa	No hay transmisión de potencia, no es posible triturar. Tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio entre 2 a 4 horas.

Propia (2022).

En la tabla 7 se evidencian las fallas que generan mayor impacto por su gravedad, generan un gasto para la reparación y tiempo. También, se refleja la falla ocurrida, y efecto que causa en la operación dependiendo si tienen un stock de estas partes para repararlo inmediatamente o no.

El desgaste de martillos, es ocasionado por desajustes mecánicos, altas vibraciones debido a la sobrecarga del material que excede las medidas que soporta la máquina, ya que se trata de una trituración secundaria, y debe ser utilizada para trituración mediana y fina. Actualmente, se presenta el desgaste prematuro de estos martillos.

Al igual que los martillos, las placas de impacto también sufren desgaste o daños por material que excede las dimensiones o por agentes extraños a la piedra, en el caso de las demás fallas como rotura de correa, daño motor eléctrico y el daño en los rodamientos que se mencionan en la tabla 7, como se nombró en la descripción de la tabla 6 por ser máquinas que ejercen una función similar, las causas de dichas fallas son las mismas.

Tabla 8.

Hoja de reporte de fallas y consecuencias zaranda vibratoria.

Clasificación de material	Año de fabricación	
Zaranda vibratoria	2010	
Función	Clasificación del tamaño del material.	
Falla funcional	Disminución al momento de la clasificación de material o mezclas de tamaños seleccionados. Paro de producción.	
Falla específica	Efecto	Efecto sin stock
Ruptura de resortes	Disminuye el proceso de clasificación por falta de vibración tiempo de cambio 2 horas	Tiempo de cambio hasta 1 día.
Avería de vibradores	Se sueltan las pesas por falta de ajuste, tiempo de ajuste 2 horas	Tiempo de cambio hasta 2 días.
Desgaste o rotura de mallas	El proceso de clasificación es deficiente tiempo de cambio 4 horas por malla.	Tiempo de cambio hasta 4 días.
Daño en cardán	Ruptura de cruceta, tiempo de cambio 2 horas.	Tiempo de cambio hasta 1 día.
Daño de motor eléctrico	Se para el proceso de clasificación tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio entre 1 o 2 días.

Propia (2022).

En la tabla 8 se evidencian las fallas que generan mayor inversión por su gravedad en daño, costo para la reparación y tiempo en dicha máquina. Donde se refleja la falla ocurrida, y efecto que causa en la operación dependiendo si tienen un stock de estas partes o no lo tienen.

La ruptura de resortes puede ser ocasionada porque la vibración excede los límites admisibles para los que fue diseñada, puede pasar cuando los vibradores se desajustan y tienen un desplazamiento, al igual que en las máquinas anteriores, el daño en los rodamientos y la saturación de las máquinas es la causa del exceso de vibración.

La avería de los vibradores se debe al desajuste de las pesas que generan la vibración en la máquina, ocasionando fuertes impactos, afectando negativamente el funcionamiento de la máquina y el sistema vibratorio.

El cardán suele sufrir daños por mala operación, ocasionando la ruptura de la cruceta y por efecto el desacople del sistema de transmisión entre vibradores.

Tabla 9.
Hoja de reporte de fallas y consecuencias noria.

Lavado de arena	Año de fabricación	
Noria	2010	
Función	Realizar el lavado de la arena para mejorar la calidad.	
Falla funcional	No hay producto final (arena). Para la producción de arena.	
Falla específica	Efecto	Efecto sin stock
Daño de motor eléctrico	Se para el proceso de clasificación. Tiempo de cambio 1 Hora	Tiempo de cambio hasta 1 o 2 días.
Daño en reductor	Se detiene el proceso de producción. Tiempo de cambio 1 hora	Tiempo de cambio hasta 1 o 2 días.
Rotura cadena	No hay transmisión de movimiento, no es posible lavar la arena. Tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio entre 2 a 4 horas.

Propia (2022).

En la tabla 9 se evidencian las fallas que generan mayor inversión por su gravedad en daño, costo para la reparación y tiempo para esta máquina. Donde se refleja la falla ocurrida, y efecto

que causa en la operación dependiendo si tienen un stock de estas partes o no lo tienen. Las fallas mencionadas en la tabla 9 se deben a una lubricación inadecuada del reductor y rodamiento central así como del motor, en el caso de la cadena por una tensión inadecuada y mala lubricación provocan el desgaste excesivo causando la ruptura.

Tabla 10.

Hoja de reporte de fallas y consecuencias bombas de agua.

Transporte de agua	Año de fabricación	
Bombas de agua	2010	
Función	Transportar el agua necesaria para el lavado de arena en la noria y el lavado de grava en la zaranda.	
Falla funcional	Disminución en el proceso productivo.	
Falla específica	Efecto	Efecto sin stock
Falla motores	Disminuye el proceso de producción. Tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio hasta 1 o 2 días.
Daño en impulsor	Disminuye el proceso de producción. Tiempo de cambio 2 horas.	Tiempo de cambio hasta 1 día.
Cavitación	Disminuye el proceso de producción. Tiempo solución 30 minutos	No aplica
Trabajo en vacío	Disminuye el proceso de producción. Genera daño en los motores.	Aplica el tiempo de cambio de motores en caso de daño.

Propia (2022).

En la tabla 10 se evidencian las fallas que generan mayor inversión por su gravedad en daño, costo para la reparación y tiempo en estas bombas. Donde se refleja la falla ocurrida, y efecto que causa en la operación dependiendo si tienen un stock de estas partes o no lo tienen.

Los motores sufren daño con el tiempo debido a que en ocasiones trabajan en vacío ocasionando recalentamiento y sobrecarga. También debido a obstrucciones en el sistema de succión.

Las fallas de cavitación y trabajo en vacío son las principales causas de daño en otras partes de las bombas, como en el impulsor que por cavitación aparecen burbujas que al colapsar generan golpes de ariete y por consiguiente picaduras en la superficie del impulsor. (Connor, 2019, p1).

Tabla 11.

Hoja de reporte de fallas y consecuencias bandas transportadoras.

Salida de material	Año de fabricación	
	2010	
Bandas transportadoras		
Función	Transportar el producto terminado a salida de proceso para ser acopiado.	
Falla funcional	Se detiene el proceso productivo.	
Falla específica	Efecto	Efecto sin stock
Desalineación de bandas	Disminuye el proceso de producción. Tiempo de ajuste 1 hora.	No aplica
Daño en motores	Falla esporádica, tiempo de cambio 1 hora.	Tiempo de cambio hasta 1 día.
Desgaste de banda	Disminuye el proceso de producción. Tiempo de arreglo (parches) 2 horas.	No aplica
rotura de banda	Disminuye el proceso de producción. Tiempo de cambio: 4 a 6 horas.	Tiempo de cambio hasta 2 días.

Propia (2022).

En la tabla 11 se evidencian las fallas que generan mayor inversión por su gravedad en daño, costo para la reparación y tiempo de esta máquina. Donde se refleja la falla ocurrida, y efecto que causa en la operación dependiendo si tienen un stock de estas partes o no lo tienen.

Las bandas transportadoras siempre tienen un inconveniente que es la desalineación, esta falla es la causa de diferentes problemas o de otras fallas que tiene este tipo de máquinas, como el daño de los motores, el desgaste y la rotura de la banda, daño en las chumaceras que soportan los rodillos, daños en la estructura de la banda transportadora, por lo tanto, la posición de la banda es la variable fundamental que se tendrá en cuenta para integrar al sistema de supervisión.

A continuación, por medio de tablas se especificará de manera detallada las fallas más frecuentes que tienen las máquinas aproximadamente todos los meses.

Tabla 12.
Fallas más comunes

Fallas Frecuentes						
Máquina	Falla	Causa de la falla	Frecuencia de falla	Acción	Tiempo de reparación con repuesto en almacén	Tiempo de reparación sin repuesto en almacén
Todas las maquinas	Rotura de chumaceras	Alta vibración	3 veces al mes	Cambio de repuesto	2 horas	4 horas
Todas las maquinas	Rotura de tornillos y tuercas	Alta vibración	2 a 3 veces mes	Cambio de repuesto	2 horas	4 horas
Todas las maquinas	Desajustes mecánicos (exceso de vibración)	Alta vibración	3 a 4 veces mes	Ajuste de soportes, martillos, quebrantadoras, tornillería, etc.	1 horas	No aplica
Todas las maquinas	Aumento de temperatura en motores, rodamientos	Temperatura	4 veces mes	Detener producción, lubricación de elementos rodantes.	1 horas	No aplica
Todas las maquinas	Se detiene el motor	Elevación de corriente	3 a 4 veces mes	Cambio de fisibles	0.5 horas	2 horas

Bandas transportadoras	Desalineación de bandas	Mala operación	6 a 8 veces mes	Alineación de bandas	1 horas	No aplica
Trituradora de martillos	Desgaste prematuro de martillos	Saturación, sistema, malas condiciones y operación	1 ves cada 45 días	Cambio de repuesto	4 horas	4 días
Trituradora de mandíbulas	Desgaste prematuro de quebrantadoras	Saturación, sistema, malas condiciones y operación	1 ves cada 45 días	Cambio de repuesto	4 horas	4 días
Zaranda	Desgaste prematuro o rotura de mallas	Saturación, sistema, malas condiciones y operación	1 ves cada 45 días	Cambio de repuesto	4 horas	4 días
Bombas de agua	Cavitación	aire en tubería, algún material atrapado internamente.	3 a 4 veces mes	Inspección de bomba.	2 horas	No aplica
Bombas de agua	Trabajo en vacío	Taponamiento tubería de succión.	2 a 3 veces mes	Inspección de bomba.	2 horas	No aplica

Propia.(2022

A continuación se muestra la matriz de requerimientos de usuario, la cual especificará de manera general los sistemas que deben ser monitoreados.

Tabla 13.

Matriz de requerimientos de usuario.

Necesidad	Características	Restricción	Nivel	Comentarios
Monitorear desalineación de bandas	En las 5 bandas existentes, detectar la posición de la banda a ambos extremos, máximo valor permitido 40 mm.	No intervenir en el proceso de separación de cada tipo de material.	Alto	La desalineación genera disminución en producción y rotura de bandas.
Monitoreo de motores	Variables como: Corriente y vibración: detectar antes de que llegue a la nominal especificada en los motores. Vibración min 5 mm/s y 10 mm/s Max.	Monitorear sin intervenir en el funcionamiento de cada motor.	Alto	Los motores van perdiendo eficiencia con el tiempo, sufriendo sobrecargas.
Monitoreo presión de agua.	Presión de trabajo mínima 25 psi y máxima 40 psi.	Ninguna	Alto	Si la bomba falla en sentido de presión, no se finaliza el proceso de lavado de arena.
Monitoreo de temperatura en chumaceras	En rodamientos y algunos motores, rango de 20 grados a 100 grados Celsius.	No intervenir en el funcionamiento normal de las máquinas.	Alto	Evitar daños en rodamientos por temperaturas superiores a las de trabajo normal.
Monitoreo de vibración	La vibración en este tipo de máquinas no debe exceder de los 10 mm/s	No intervenir en el funcionamiento normal de las máquinas.	Alto	Evitar daños severos por desbalance y desajustes.

Propia (2022).

Lista de máquinas intervenidas con el sistema de supervisión

1. Trituradora de martillos.
2. Zaranda
3. Impactar
4. Noria
5. Bombas de agua
6. Bandas transportadoras

En la siguiente sección se mostrará de manera más detallada cada una de estas máquinas con sus partes, permitiendo dar a conocer como es su funcionamiento y la importancia que tienen dentro del proceso productivo.

9.1 Caracterización del funcionamiento de la planta trituradora para la apropiación de conocimientos sobre la operación de la misma

Fue de gran importancia iniciar con una caracterización de todo el proceso productivo de la empresa, abarcando desde la extracción de la materia prima hasta el resultado final o producto terminado. De esta manera, este capítulo muestra paso a paso cada una de las fases por la que pasa la materia prima para ser transformada y así mismo da a conocer qué máquinas intervienen en el proceso y de qué manera lo hacen, ya que cada máquina es parte fundamental para obtener el producto esperado, por tal motivo se profundizó en las partes que componen cada máquina para establecer los puntos críticos y que son necesarios integrar al sistema de supervisión.

9.1.1 Explicación general del proceso de producción de la planta

La extracción de la materia prima se hace en el río Guayuriba, parte del proceso en el que envían una retroexcavadora y tres volquetas de 14 metros cúbicos para trasladar el material a la planta. Una vez la volqueta llega a la planta, deposita la piedra en un volcú de 30 metros cúbicos, el material depositado cae a una banda que por medio de un pulsador que oprime un operario

envía el material a una trituradora de mandíbulas la cual realiza la trituración primaria, luego el material por medio de la banda principal pasa a la zaranda, máquina en la que se hace la selección de material en el que encontramos grava de 3/4, grava de 1/2 y arena. El material que queda con una medida mayor que no pasa por las mallas de la zaranda cae a una máquina trituradora de martillos, la cual se encarga de realizar la trituración secundaria para después salir a una banda de retorno y puede volver a ser seleccionando el material. Por otro lado, la arena pasa un proceso de lavado en una máquina llamada Noria que por medio de agua transportada por tres bombas cumple la función de lavado de la arena para mejorar la calidad de la misma.

9.1.2 Trituradora de mandíbulas

En la trituración primaria se usa una trituradora de mandíbulas que es la encargada de triturar la piedra que sale directamente de la tolva donde es depositado el material, esta máquina por ser la que tritura los materiales (piedra) de mayor tamaño tiende a hacer más esfuerzo mecánico, por lo cual se requiere que sea alimentada de manera controlada. La trituradora de mandíbulas trabaja por el principio de trituración por presión, posee una mandíbula fija y una móvil por un eje excéntrico, el movimiento elíptico provoca que el material sea triturado y por efecto de la gravedad cae hacia la banda transportadora principal.

En este sistema, gracias a la fuerza generada por las placas, la biela, el eje excéntrico y el motor de impulsión es posible la trituración, siendo esto clave debido a que el movimiento agresivo de estos elementos son los que generan la energía necesaria para romper las piedras.

La siguiente figura muestra una vista en corte de este tipo de máquina.

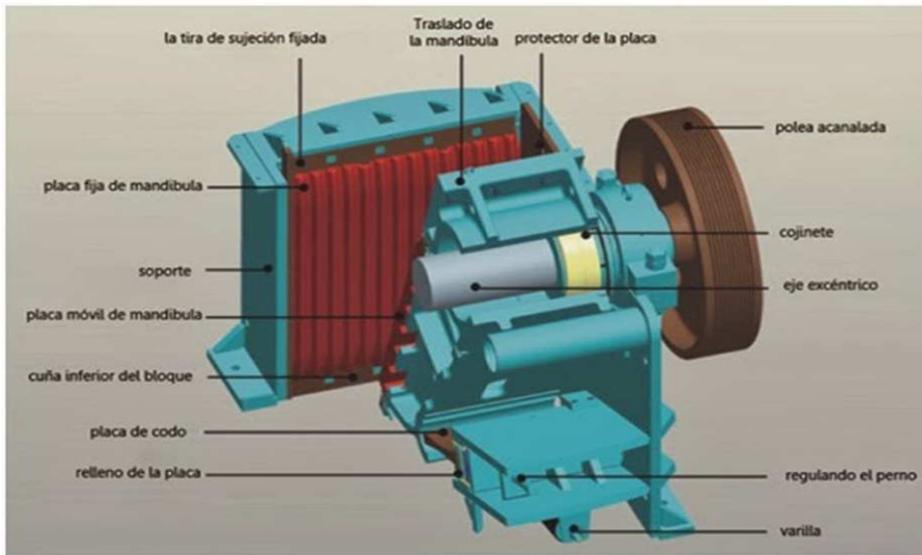


Figura 9. Apuntes ingeniería mecánica. Miranda (2018)



Figura 10. Trituradora de mandíbulas. Propia (2022).

9.1.3 Descripción partes más relevantes de la máquina

Placa fija: recibe el impacto de material cuando se cierra la placa móvil.

Placa móvil: gracias al movimiento de las articulaciones, la placa se acerca y se aleja continuamente de la placa fija y de esta manera va triturando el material por la presión ejercida y al mismo tiempo descargando el material.

Estas placas son fabricadas de acero al manganeso con capacidad de trituración de 40 ton/h.

Volante: los volantes asimétricos son diseñados para asegurar una operación fina y con una vibración mínima.

Eje excéntrico: pasa por la carcasa del cuerpo y es el encargado de soportar el movimiento de la placa móvil. Este movimiento excéntrico es producido por los volantes situados en cada extremo del eje.

Cojinete: este tipo de cojinetes aguantan cargas de gran impacto, líquidos corrosivos y alta temperatura.

Motor eléctrico: motor de 87 hp, trabaja a 1775 rpm, corriente nominal de 104 A a 440 v.

Según las características mecánicas de esta máquina es necesario medir variables como temperatura en eje excéntrico, los rodamientos que lo soportan y vibración de la máquina debido a que cualquier desajuste mecánico de tracción y de los volantes ocasionan un mal funcionamiento de la máquina generando daños a los rodamientos, el eje y el motor ejercen más esfuerzo lo que significa más consumo de energía, también es necesario medir la corriente del motor debido a que en casos en los que la máquina se satura de material el motor consume más amperaje por lo que podría ocasionar que se quemara el bobinado del mismo, ya que en muchos casos ha tenido largos lapsos de tiempo trabajando incorrectamente.

9.1.4 Trituradora de martillos

El principio de funcionamiento del molino de martillos comienza desde la boca superior, donde el producto triturado ingresa y cae en la cámara de trituración bajo la influencia de la

gravedad, el eje gira a alta velocidad y debido a la existencia de fuerza centrífuga, el martillo se coloca verticalmente en posición de trabajo y golpea el interior del molino. Después de eso, el producto ingresa a la cámara de trituración y nuevamente se golpea con martillos. Este proceso continúa hasta que el producto alcanza un tamaño que puede pasar por un tamiz o rejilla. (Martínez, sf, pp.1).



Figura 11. Trituradora de martillos. Propia (2022).

9.1.5 Descripción partes más relevantes de la máquina

Martillos: estos son los que golpean el material, lanzándolo contra las paredes de la cámara de desintegración y gracias al impacto se logra el triturado. La máquina cuenta con 6 martillos hechos de acero al manganeso.

Placas de impacto: reciben el impacto de material cuando los martillos lo golpean. Son placas de lámina HR de 1 pulgada de espesor.

Rejilla de salida de material: esta rejilla es la que permite la evacuación del material después de ser triturado.

Cámara de desintegración: se refiere al espacio que hay entre las placas de impacto y los martillos.

Motor eléctrico: este motor maneja una potencia de 25 hp y trabaja a 3600 rpm, el movimiento es generado por transmisión por correa.

Se necesita detectar el desgaste de los martillos, ya que esta falla no la pueden controlar en el tiempo, por lo que a veces el desgaste se da a temprano uso y a veces es más larga la vida útil de los mismos. También es necesario medir el amperaje del motor para supervisar el esfuerzo y poder controlar la cantidad de material que entra a la máquina y prevenir que se sature.

9.1.6 Zaranda clasificadora vibratoria

Esta máquina es la encargada de seleccionar el material de acuerdo a su tamaño mediante el uso de mallas en su interior. Gracias a estas logra rechazar el material de mayor tamaño y permite pasar el material con el tamaño adecuado a la siguiente etapa del proceso. El efecto vibratorio de esta máquina se debe a que su centro de gravedad no es con respecto al eje que está haciendo la transmisión, lo que genera un movimiento oscilatorio en la zaranda vibratoria.



Figura 12. Zaranda. Propia (2022).

9.1.7 Descripción partes más relevantes de la máquina

Amortiguadores: reducen los impactos de la base de la zaranda vibratoria.

Excitador: son los encargados de provocar la vibración de la zaranda debido a las masas que tienen un desfase en su centro de gravedad.

Eje intermedio: soporta el movimiento de los excitadores.

Acople flexible: diseñado para permitir el movimiento de desfase de los excitadores.

Motor eléctrico: motor de 15 hp de potencia a 900 rpm.

Mallas: estas mallas son fabricadas en acero galvanizado, cuenta con 3 mallas, agujeros de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y para clasificación de arena.

En esta máquina es necesario medir la vibración, aunque la función principal de esta máquina es vibrar, para la selección de material se debe analizar que los amortiguadores están reteniendo los impactos de manera correcta, ya que si estos llegan a fallar la máquina puede sufrir efectos negativos en la construcción mecánica de la misma. También es fundamental detectar el desgaste de las mallas.

9.1.8 Noria

Este tipo de máquina puede filtrar y eliminar el polvo de roca y otras impurezas finas de la arena mezclada fuera de la noria, mejorando así la calidad de la arena.

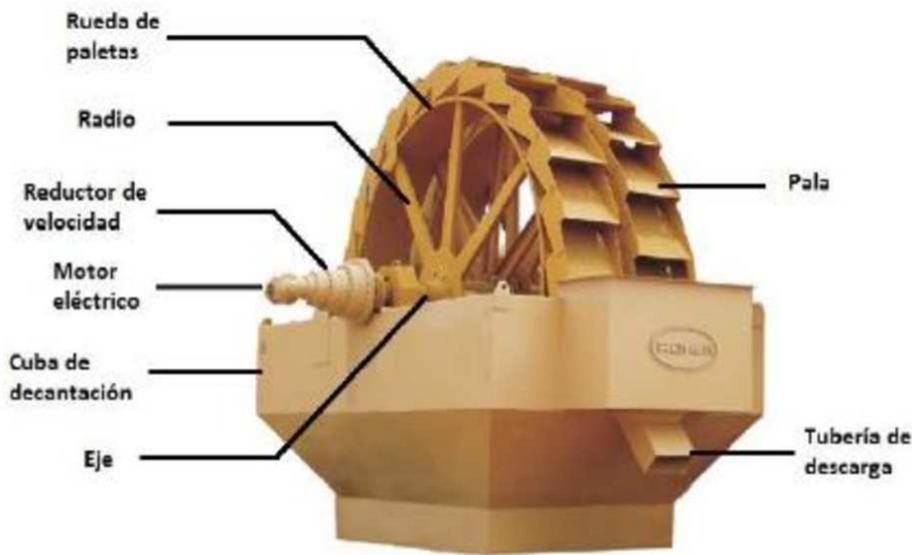


Figura 13. Lavado de arena. Morales (2016)



Figura 14. Noria. Propia (2022).

9.1.9 Descripción partes más relevantes de la máquina.

Reductor: encargado de reducir la velocidad del motor, no se conoce la relación de reducción que ejerce sobre el motor.

Eje: soporte de la máquina.

Motor eléctrico: transmite el movimiento a la noria. Motor de 9 hp, trabaja a 1740 rpm, corriente nominal de 12.2 A- 440 v.

Para este tipo de máquina se medirá la temperatura del reductor de velocidad y del rodamiento central debido a las pocas revoluciones que maneja el rodamiento está más expuesto a recalentamiento.

9.1.10 Bombas de agua

Estas bombas de la planta son utilizadas para transportar agua a la máquina noria para el lavado de arena y también transporta agua a las duchas de la zaranda para el lavado de la piedra.



Figura 15. Bombas de agua. Propia (2022).

9.1.11 Descripción partes más relevantes de la máquina

Motores eléctricos: motores de 7.5 hp, 3530 revoluciones por minuto, corriente nominal de 12.8 A, alimentado a 440 v.

Impulsor: es el encargado de generar la fuerza al líquido para poder ser bombeado acelerando el fluido desde el centro de rotación hacia afuera.

En esta parte del proceso es necesario medir la presión que ejercen las bombas para asegurar que no se afecte el proceso de lavado de arena en la noria y el proceso de lavado de piedra en la zaranda. Por otro lado, se evita que la bomba llegue a trabajar en vacío o detectar cuando está cavitando. Medir la corriente también es viable para detectar cuando un elemento esté tapando la bomba.

9.1.12 Bandas transportadoras

En la planta hay 5 bandas transportadoras las cuales cumplen las siguientes funciones:

La banda principal: transporta la materia prima que sale de la trituradora de mandíbulas hasta la zaranda.



Figura 16. Banda principal. Propia (2022).

Banda de arena: banda de salida de arena cuando ya ha culminado todo el proceso.



Figura 17. Banda de arena. Propia (2022).

Banda de grava de $\frac{3}{4}$: banda de salida de grava de $\frac{3}{4}$ cuando ya ha culminado todo el proceso.



Figura 18. Banda de grava de $\frac{3}{4}$. Propia (2022).

Banda de grava de $\frac{1}{2}$: banda de salida de grava de $\frac{1}{2}$ cuando ya ha culminado todo el proceso.



Figura 19. Banda de grava de $\frac{1}{2}$. Propia (2022).

Banda de retorno: encargada de transportar el material a cabeza de proceso si después de pasar por todo el proceso no cumple con las medidas establecidas.



Figura 20. Banda de retorno. Propia (2022).

En la siguiente imagen se muestran las partes de la banda transportadora.

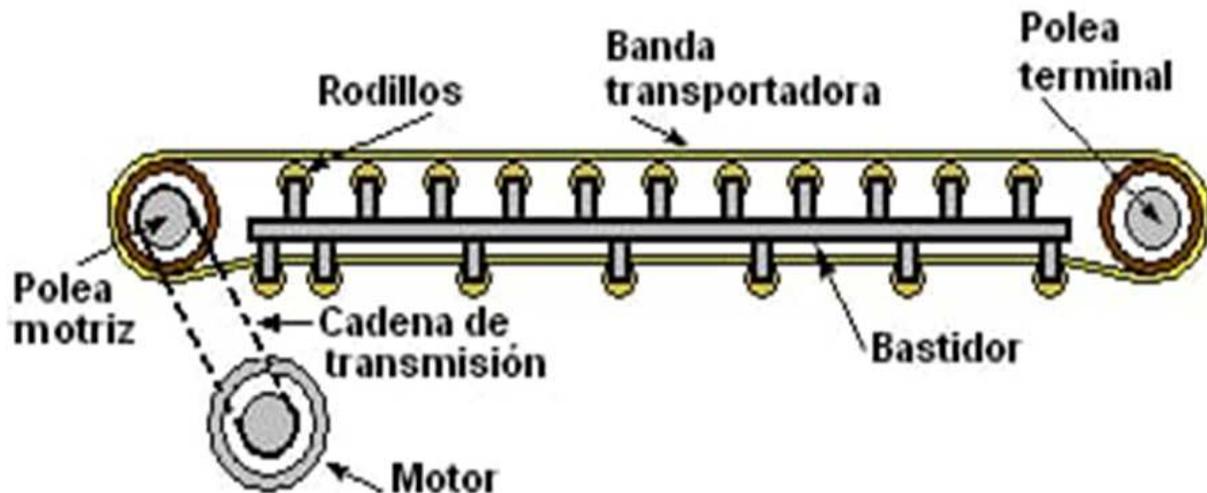


Figura 21. Funcionamiento banda transportadora. Martínez (2021).

Actualmente, hay 5 bandas transportadoras, las cuales cuentan con un motor de 8 hp , un reductor de 5,5 hp y trabaja a 1.160 rpm.

Estas bandas tienden a desalinearse y generar atascos y rotura de la misma, por lo que es necesario monitorear la posición de la banda por ambos extremos para supervisar la desalineación que va teniendo en el tiempo.

9.2 Variables críticas a tener en cuenta para integrar al sistema de supervisión.

Para el análisis de las variables críticas que serán integradas al sistema de supervisión, se requirió de la participación del personal de la empresa con el fin de que ellos mismo sean los que evalúen según las fallas que han evidenciado qué variables son las más importantes a monitorear. Este procedimiento se hizo con un método cuantitativo el cual se basa en dar un valor numérico a diferentes factores operacionales y con la calificación expuesta por el área de producción y mantenimiento, se realizó el cálculo de criticidad con las siguientes ecuaciones.

$$CR = FR \cdot CO \quad (1)$$

$$CO = (IMP \cdot FLO) + COM + SE \quad (2)$$

Donde:

CR = Criticidad.

FR = Frecuencia.

CO = Consecuencia

IMP = Impacto en producción.

FLO = Flexibilidad operacional.

COM = Costos de mantenimiento.

SE = Seguridad.

De esta manera se podrá determinar, según la necesidad de la empresa, que variables si son necesarias integrar al sistema y cuáles no, esto con el fin de no realizar acciones que generen costos innecesarios a la hora de invertir en la propuesta. Además de evitar instalaciones que intervengan en un proceso donde no se requiere.

A continuación se muestra los factores o criterios a evaluar:

Seguridad		impacto en la producción	
No causa daño a personas	1	Pérdidas de producción menor al 10%	1
Riesgo mínimo de lesiones, accidentes, e incidentes laborales	2	Pérdidas de producción entre el 10 y el 24%	2
Riesgo medio de lesiones, accidentes e incidentes laborales	3	Pérdidas de producción entre el 25 y 49%	3
Riesgo alto de lesiones, accidentes e incidentes laborales	4	Perdida de producción entre el 50 y el 74%	4
Costos de mantenimiento de todos los equipos		Pérdidas de producción superiores al 75%	5
Entre 1'000.000 y 5'000.000			
Entre 5'000.001 a 10'000.000	1	Frecuencia de fallas	
Entre 10'000.001 a 15'000.000	2	No presenta fallas/mes	1
	3	Presenta de 1 falla/mes	2
		Presenta 2 o más fallas/mes	3
Flexibilidad operacional			
Función de repuesto disponibles	1		
Hay opción de repuestos/ compartido	2		
No hay producción sin repuestos	3		

Figura 22. Criterios a evaluar. Propia (2022)

En la figura 22 se evidencian los criterios a tener en cuenta para determinar el nivel de criticidad de cada máquina, para así mismo establecer, según la información obtenida en el desarrollo del primer objetivo, en qué punto y que variable es necesario monitorear, ya sea temperaturas, vibraciones, etc. Se evidencian 5 factores fundamentales con un valor numérico, el cual representa la calificación dada por las personas que participan en el proceso productivo, donde el número mayor representa que las variables y las máquinas son más críticas que si se le diera un número menor, por ejemplo: si un operario califica el factor seguridad para la zaranda

con variable a monitorear temperatura en valor 4 que es el mayor que muestra la tabla significa que para el personal la variable temperatura para la máquina es muy crítica si llega a haber variaciones anormales, mientras que si califican 1 valor mínimo mostrado en la tabla quiere decir que para el personal no es crítica la variable para la máquina, por lo tanto, no es necesario hacer monitoreo de esta.

Tabla 14.
Nivel de criticidad

Análisis de criticidad		Factores evaluados																	
		Seguridad de la máquina				Impacto en producción					frecuencia de fallas			Costos de MTTO			Flexibilidad operacional		
Variables		4	3	2	1	5	4	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
Trituradora de mandíbulas	Temperatura	x						x			x			x			x		
	Vibración	x						x			x			x				x	
	Corriente motor	x						x			x			x			x		
Trituradora de martillos	Corriente motor	x						x			x			x			x		
	Vibración	x						x			x			x			x		
	Temperatura	x						x			x			x			x		
Zaranda vibratoria	Vibración		x					x			x			x			x		
	Corriente motor	x						x			x			x			x		
Bandas transportadoras	Posición de banda	x						x			x			x				x	
Bombas de agua	Presión		x					x				x		x			x		
	Corriente motor	x						x			x			x			x		
Noria	Temperatura		x					x				x			x		x		

Propia (2022).

La tabla anterior muestra la calificación de cada una de las variables a medir según la máquina, este análisis abarca el nivel alto (rojo), medio (amarillo) y bajo (verde). Estos datos fueron recolectados por los encargados de producción y mantenimiento de la planta en donde ellos expresaron a su consideración qué tan crítico es que por la falta de seguimiento de las variables falle una máquina teniendo en cuenta la figura 22 de criterios a evaluar.

9.2.1 Ecuación de criticidad

$$CRITICIDAD = FRECUENCIA \cdot CONSECUENCIA \quad (3)$$

Dónde consecuencia se define con la siguiente fórmula:

$$CONSECUENCIA = (IMPACTO EN PRODUCCIÓN \cdot FLEXIBILIDAD OPERACIONAL) + COSTO MANTENIMIENTO + SEGURIDAD. \quad (4)$$

Con el anterior procedimiento matemático se le dio un valor de criticidad a cada máquina y a cada variable en específico, con el fin de determinar qué tan crítico es el comportamiento anormal de cada variable y por qué es de gran utilidad el monitoreo constante de condiciones operacionales de la planta de producción.

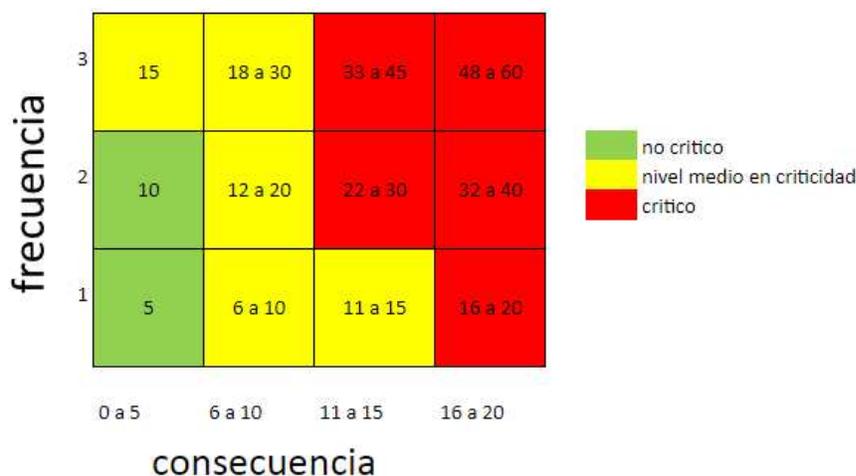


Figura 23. Matriz frecuencia por consecuencia. Propia (2022).

Seguridad de las máquinas

Este factor basa su importancia en que toda máquina debe ser segura y no afecte contra la salud de las personas que la utilizan. En muchos casos los accidentes laborales son ocasionados por la continua operación de máquinas en mal estado.

Impacto en producción

Las máquinas deben tener una operación constante y en las mejores condiciones para que el producto final sea de la calidad que se espera para entregar al cliente. La mala operación causa retrasos en el proceso de producción si el material no está siendo triturado en el tiempo establecido.

Frecuencia de fallas

Se refiere a cuántas veces ocurre un evento que pueda ser denominado falla, dentro de un periodo de tiempo determinado.

Costos de mantenimiento

Las diferentes fallas inesperadas causan gastos extras en las actividades de mantenimiento por no ser programado y no tener los repuestos listos para la solución del problema, además que el tiempo de reparación se alarga más, lo que conlleva al aumento de mano de obra.

Flexibilidad operacional

Es la viabilidad de realizar un cambio inmediato con el fin de continuar con la producción sin tener mayores costos o pérdidas.

9.2.2 Variables a monitorear en las diferentes máquinas.

En esta sección se hará uso de la ecuación de criticidad, para demostrar cuantitativamente porque las variables fueron seleccionadas según la información plasmada en la tabla 14 y según la figura 23 matriz de frecuencia por consecuencia, que demuestra el nivel de criticidad para cada caso en particular.

Trituradora de mandíbulas.

Temperatura

El monitoreo de esta variable ayuda a predecir el estado de los rodamientos del eje excéntrico de la máquina, cuando hay sobrecalentamiento posiblemente hace falta lubricación, el rodamiento está dañado o existe desgaste en los elementos rodantes y posiblemente desgaste del eje. De esta manera se podrá programar la actividad de mantenimiento pertinente sin afectar el proceso productivo.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (5)$$

$$CO = (3 . 3) + 3 + 4$$

$$CO = 9 + 7$$

$$CO = 16$$

$$CR = FR . CO \quad (6)$$

$$CR = 3 . 16$$

$$CR = 48$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

Vibración

Con el monitoreo de esta variable se puede predecir si algún elemento no triturable como el acero está interrumpiendo en el sistema de molienda y la máquina está trabajando mal, también permite detectar si la alimentación es demasiada, tal que se sature la máquina y no pueda cumplir su función correctamente. Además, se puede detectar si existe algún desajuste mecánico, desalineación o desbalance de la máquina que pueda causar las fallas.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (7)$$

$$CO = (3 . 2) + 3 + 4$$

$$CO = 6 + 7$$

$$CO = 13$$

$$CR = FR . CO \quad (8)$$

$$CR = 3 \cdot 13$$

$$CR = 39$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

Corriente del motor

Esto con el fin de proteger el sistema de transmisión de potencia, ya que el motor es el encargado de generar el movimiento en la máquina y los daños pueden salir muy costosos, por tal motivo esta medición es fundamental para el funcionamiento de la máquina, detectando una sobrecarga, un atasco, ruptura de la correa y evitar que el motor llegue a sufrir un daño irremediable. (Evtech, 2022, p1).

$$CO = (IMP \cdot FLO) + COM + SE. \quad (9)$$

$$CO = (3 \cdot 3) + 3 + 4$$

$$CO = 9 + 7$$

$$CO = 16$$

$$CR = FR \cdot CO \quad (10)$$

$$CR = 3 \cdot 16$$

$$CR = 48$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

9.2.3 Variables a monitorear en la trituradora de martillos

Temperatura

Esta máquina está diseñada para soportar calor, pero hay que verificar que el rodamiento no esté trabajando a una temperatura que supere el valor máximo en el que puede trabajar, de esta manera gracias al monitoreo constante se puede detectar si el rodamiento necesita ser engrasado o también predecir si está próximo al fallo y programar el cambio sin afectar la producción.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (11)$$

$$CO = (3 . 3) + 3 + 4$$

$$CO = 9 + 7$$

$$CO = 16$$

$$CR = FR . CO \quad (12)$$

$$CR = 3 . 16$$

$$CR = 48$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

Vibración

La vibración en este tipo de máquina puede ser causada por una excesiva alimentación y un tamaño muy grande del material, los martillos tienen desgaste desigual provocando perturbaciones en el proceso de trituración, el rotor está desequilibrado y necesita ser ajustado antes de que provoque una avería mayor, los pernos de anclaje están sueltos y por eso causa la vibración en la máquina. Todos estos problemas que no son detectados a tiempo causan daños más grandes a la máquina y por ende aumentan los costos de mantenimiento y producción.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE \quad (13)$$

$$CO = (3 . 3) + 3 + 4$$

$$CO = 9 + 7$$

$$CO = 16$$

$$CR = FR . CO \quad (14)$$

$$CR = 3 . 16$$

$$CR = 48$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

9.2.4 Variables a monitorear en la zaranda vibratoria

Vibración

Se debe tener en cuenta esta variable, ya que el exceso de vibración en la máquina puede causar daños en el motor eléctrico y grietas en la estructura de la máquina y de no ser detectado a tiempo puede haber rotura total. Se debe analizar que las vibraciones sean simétricas en cada uno de los puntos de amortiguación para asegurar que la máquina no tenga ningún esfuerzo anormal que detenga la producción por fallas inesperadas.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (15)$$

$$CO = (3 . 3) + 3 + 3$$

$$CO = 9 + 6$$

$$CO = 15$$

$$CR = FR . CO \quad (16)$$

$$CR = 3 . 15$$

$$CR = 45$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

Corriente del motor

El motor de esta máquina, debido a las vibraciones naturales que ejerce, tiene que soportar esfuerzos más altos y los rodamientos sufren grandes cargas radiales, por lo que se debe asegurar que la rotación del motor sea la normal, según el diseño de la máquina y predecir el fin de la vida útil del rodamiento con anticipación para su cambio oportuno y sin interrumpir la producción.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (17)$$

$$CO = (3 . 3) + 3 + 4$$

$$CO = 9 + 7$$

$$CO = 16$$

$$CR = FR . CO \quad (18)$$

$$CR = 3 . 16$$

$$CR = 48$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

9.2.5 Variables a monitorear en las bandas transportadoras

Posición

Con el monitoreo de esta variable se busca detectar la desalineación de cada una de las 5 bandas transportadoras que hay en la planta antes de que se atasquen y se lleguen a romper o afectar al motor. Evitando reguero de material y paradas de producción.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (19)$$

$$CO = (3 . 2) + 3 + 4$$

$$CO = 6 + 7$$

$$CO = 13$$

$$CR = FR . CO \quad (20)$$

$$CR = 3 . 13$$

$$CR = 39$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

9.2.6 Variables a monitorear en las bombas de agua

Presión

Monitoreando la presión de las bombas se logra detectar si la bomba está trabajando en vacío, evitando el daño del motor eléctrico, si está cavitando y también si hay un posible taponamiento, ya que el agua que utilizan para este sistema es recogida del río por lo que puede traer elementos que atasque el impulsor y genere un aumento de esfuerzo en el motor eléctrico, aumenta el amperaje y en el peor de los casos se queme.

$$CO = (IMP . FLO) + COM + SE. \quad (21)$$

$$CO = (3 . 3) + 3 + 3$$

$$CO = 9 + 6$$

$$CO = 15$$

$$CR = FR . CO \quad (22)$$

$$CR = 2.16$$

$$CR = 32$$

La solución de la ecuación matemática evidencia que la variable temperatura es crítica para el proceso en esta máquina.

9.2.7 Conceptos teóricos y casos de estudio

Variable vibración

Todas las máquinas en uso tienen una cierta cantidad de vibración debido a juegos, pequeños desequilibrios, fricción, etc. El nivel de vibración aumenta cuando también hay alguna falla como desalineación, desequilibrio mecánico, juego insuficiente, rodamientos defectuosos.

El nivel de vibración se puede utilizar como parámetro de control funcional para el mantenimiento preventivo de máquinas, estableciendo niveles de alarma y otros niveles inaceptables por encima de los cuales la fatiga causada por el esfuerzo intermitente provocará la falla inmediata de los órganos afectados.

El nivel de vibración se usa como indicador de la gravedad de la falla y el análisis de espectro se usa para diagnosticar el tipo de falla. (Solís, 2017. pp.76)

Caso de estudio: medición y análisis de vibraciones en el eje de un acelerador de iones

A continuación se evidencia un caso de estudio real, donde se resalta la importancia de la medición y el análisis de esta variable en los procesos industriales. Nótese lo siguiente

Según lo expresa el autor, se tomaron medidas de vibración en dos etapas, ambas en componentes en la mitad superior del cuerpo del acelerador. El primer objetivo fue determinar las lecturas de vibración global en varios puntos y las diversas vibraciones del acelerador que podrían entrar en resonancia debido al funcionamiento del conjunto de ejes y el motor que impulsa el generador. Obtener las frecuencias naturales de los componentes que provocan la vibración excesiva de la unidad en su conjunto o de los ejes en particular. Para hacer esto, se omitió el motor y se excitaron varios componentes con un pequeño martillo con sensores de fuerza.

Tabla 15.

Valores determinados para la primera frecuencia natural de vibración de distintos componentes

COMPONENTE	FRECUENCIA NATURAL DE VIBRACIÓN [HZ]
"Monedas"	133/143
Tramos eje luxite	230
Soportes verticales	68
Soportes horizontales	119

“La segunda etapa de mediciones se realizó con el motor ubicado en el extremo superior en funcionamiento y sobre los mismos componentes, salvo sobre los ejes de luxite porque se encontraban ahora en movimiento.” (Pantoja, sf)

Tabla 16.

Valores globales de vibración RMS [mm/seg] en distintas monedas

MONEDA	VIBRACIÓN AXIAL AL EJE	VIBRACIÓN TRANSV. AL EJE
2	2,2	4,8
3	1,6	4,6
4	1,6	1,5
5	1,5	3,0
6	2,3	6,4

(Pantoja, sf)

Tras evaluar los resultados obtenidos en las dos etapas de medida, el primer resultado fue que el problema encontrado no se debía a alguna resonancia de componentes. Sin embargo, como se ve en la Tabla 16, mientras que los valores de vibración axial general para el eje de la columna de aislamiento medidos en los rodamientos fueron aceptables, algunos de los valores obtenidos en la dirección lateral no fueron aceptables. Además, el espectro de frecuencia característico con un pico importante a 1 x rpm, correspondiente a la velocidad de rotación del eje a la salida del

multiplicador del motor, se sugiere que el problema fue causado por desequilibrio o excentricidad (es decir, el eje del rotor no coincide con el eje rotacional).

El diagnóstico realizado se confirmó tras mejorar la alineación de los distintos tramos del eje Luxite. Por ejemplo, se obtienen los valores de vibración generales que se muestran en la Tabla 16 y el resultado final es una mejor función del rodamiento y una vida útil más larga. (Pantoja, sf).

Variable de presión

Según el tipo de máquina, puede ser interesante confirmar o excluir determinados fallos cuando se utiliza junto con otras técnicas predictivas. La presión del proceso se usa a menudo para proporcionar información útil sobre defectos como la cavitación, la condensación de vapor y la presencia de objetos extraños y golpes de ariete. En otros casos, presión de lubricación para detectar deficiencias funcionales en rodamientos o problemas en sellos causados por presión insuficiente o inestable. (Solís, 2017)

Variable de temperatura

El control de temperatura de proceso no suele utilizarse desde un punto de vista predictivo, pero el control de temperatura se utiliza de forma muy eficaz en diversos elementos de máquina, cuya fluctuación siempre está relacionada con un comportamiento anómalo en el que se utiliza la temperatura del lubricante, sobre el que influye su viscosidad y, por lo tanto, depende de su poder lubricante.

En el momento en que la temperatura del lubricante es excesiva baja la viscosidad generando que la película lubricante pueda romperse, en este caso, hay contacto directo entre las superficies en movimiento, aumentando el rozamiento y el calor por fricción, lo que puede causar dilatación y soldaduras en los cojinetes de deslizamiento, la temperatura de los rodamientos aumenta significativamente cuando se dañan, y la temperatura también aumenta cuando hay demasiado o muy poco lubricante, la temperatura también aumenta con la sobrecarga. Por todas estas razones, las mediciones de la temperatura de los cojinetes se utilizan a menudo junto con otras técnicas para la detección temprana y el diagnóstico de fallas.

La temperatura de los devanados de motores grandes se miden para predecir la ocurrencia de fallas como sobrecarga, fallas de aislamiento y problemas del sistema de enfriamiento, y también

puede proporcionar información valiosa sobre la temperatura del sistema de enfriamiento, de hecho, cada máquina está equipada con sistema de refrigeración más o menos avanzado que elimina el calor generado durante el funcionamiento, el aumento excesivo de la temperatura con el refrigerante significa fricción anormal en la máquina, holguras insuficientes, mala combustión, etc. O en el propio sistema de refrigeración. (Solís, 2017)

Caso de estudio: diseño de un sistema que permita medir, controlar y generar reportes de temperatura desde una máquina sopladora TCB70d hacia el PC para la empresa INDUPLAS.

El proyecto finaliza con el diseño de un sistema que permita la medición, control y generación de informes. La importancia industrial en la creación de sistemas electrónicos es verificar cualquier tipo de variable, en este caso la temperatura. De esta manera, se benefició la toma de decisiones en el área de producción INDUPLAS.

Resultados obtenidos

Según este caso de estudio, el autor nombra los siguientes resultados que se obtuvieron con la realización del proyecto.

“Se observó que el sistema implementado sustituye el reporte manual por otro totalmente automatizado”.

“Se realizó la adaptación de la temperatura con un amplificador industrial que permitió la estabilidad de la señal para no tener fluctuaciones en el momento de la visualización”.

“Se implementó un conversor A/D con el PIC que permite una óptima lectura de los datos”.

“Se conocieron las ventajas y versatilidad de programar en labview como consecuencia del manejo de esta variable en la industria, por ende se puede manipular para el control de otras variables, (presión, caudal, velocidad, etc.)”.

“Se tienen datos digitales, verídicos, organizados y almacenados cronológicamente para su fácil búsqueda y análisis de resultados”. (Yara y Álvarez, 2006.pp.22).

Variable corriente

Métodos de detección de fallos

“Existen diferentes métodos para la detección de fallos utilizando técnicas de análisis de datos de origen eléctrico, mecánico o químico, como: análisis de vibraciones, análisis de temperatura, estimación de parámetros electromagnéticos del motor, análisis de partículas de aceite, análisis de señal de corriente del motor (MCSA)”. (Castelli y Andrade, sf)

Tabla 17.
Métodos de detección de fallas

	Falla			
	Cortocircuito estator	Rotura de barras	Excentricidades	Rodamientos
Método				
Vibración	NO	SI	SI	SI
MCSA	SI	SI	SI	SI
Temperatura	SI*	NO	NO	SI*
Partículas	NO	NO	NO	SI

* Posibilidad de indicar indicio de falla

(Castelli y Andrade, sf)

El autor expresa lo siguiente“Analizando la Tabla 17 se puede concluir que el método que es capaz de identificar el mayor número de fallos es el MCSA. A lo largo de la ejecución de este proyecto se ha utilizado el MCSA como técnica de detección de fallos, la cual se basa en la utilización de la transformada rápida de Fourier de la señal de corriente del estator, con el fin de detectar los distintos tipos de fallos en función del estudio del espectro de frecuencia de la señal muestreada”. (Castelli y Andrade, sf)

Desalineación de bandas

Una cinta transportadora requiere un cuidado especial y un mantenimiento regular para prolongar su buen estado y eficiencia. Sin embargo, hay ciertos aspectos de la banda que no se pueden prevenir mediante el mantenimiento, el caso específico del que se está tratando es la desalineación de las bandas transportadoras.

Es natural que las bandas transportadoras tengan una desviación en su trayectoria durante su vida útil, lo que se puede reconocer cuando la carga que se transporta no está perfectamente centrada en la banda.

Si esto sucede, debe repararse de inmediato, ya que puede causar daños graves como fallas en los cojinetes, roturas estructurales y de banda, incluso derrames de materiales, causando pérdidas de material. (Palacios y Martínez, 2020).

Caso de estudio: causas de desalineamiento en bandas transportadoras.

En este estudio el autor resalta y da respuesta a la pregunta ¿por qué se desalinean las bandas transportadoras?. Para dicho estudio se evidencian las causas más comunes por las que ocurre la desalineación de bandas transportadoras dependiendo el tipo de trabajo que se está realizando, entre estas causas encontramos las siguientes:

Desalineamientos por fallas en la banda

Representa la calidad de la banda, la manera en que se almacena, la elección del tipo de banda y por último un empalme que no es realizado correctamente.

Desperfectos en la estructura de la cinta

En este caso puede ser causado por el mal estado de los componentes estructurales, ya que no solo la cinta transportadora debe estar alineada, también todo el sistema que la compone. Por otro lado, el material que se adhiere a los rodillos puede causar deformación en la superficie de contacto, ocasionando desplazamiento inadecuado de la banda.

Inconvenientes en la carga del material

Una de las causas de desalineación es la cantidad de carga inadecuada, ya que cada tipo de banda es diseñada para cierta cantidad que en la mayoría de ocasiones no se tiene en cuenta en la operación.

Factores externos

Fuertes vientos, una acumulación de lluvia, escarcha, hielo afectando la fricción entre la cinta y los componentes o la exposición al sol constituyen factores que pueden afectar la alineación de la cinta.

El autor hace tres conclusiones específicas, las cuales son:

Primera conclusión: “un desalineamiento en una cinta transportadora suele ser un problema bastante común en transportadores que ya llevan algunos años de funcionamiento y es debido a que existen una gran cantidad de factores que influyen sobre esta condición”.(Palacios, 2019. p1).

Segunda conclusión: “determinar la causa constituye la única manera de corregir el desalineamiento de manera permanente, para lo cual es necesario observar el comportamiento del transportador una cierta cantidad de vueltas” (Palacios, 2019,p1).

Tercera conclusión: “por último, no queríamos dejar de mencionar que cuando no es posible identificar la causa que genera el desalineamiento, siempre es posible recurrir a alineadores (sistemas que corrigen el desplazamiento de la cinta a medida que este se produce)” (Palacios, 2019,p1).

9.3 Presentar una propuesta de un modelo de sistema de supervisión para la empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.S.

Gastos asociados a producción y mantenimiento

Cada vez que la planta o una de las máquinas presenta una falla, la intervención para ponerla en funcionamiento genera ciertos gastos, entre los cuales se encuentra, mano de obra, pérdidas de producción, los repuestos necesarios, herramientas y muchas veces ventas que no se pueden realizar por falta de material triturado. Todo esto dependiendo el tiempo que dure una intervención genera más o menos gastos, como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 18.

Costos por horas extras

Horas extras por correctivos				
Personal	Salario	Número de horas extras en promedio	Valor hora extra	Total
Plantero	\$1.500.000	33	\$7.813	\$257.813
Auxiliar 1	\$1.000.000	33	\$5.208	\$171.875
Auxiliar 2	\$1.000.000	33	\$5.208	\$171.875
Auxiliar 3	\$1.000.000	33	\$5.208	\$171.875
Auxiliar 4	\$1.000.000	33	\$5.208	\$171.875
Total			\$28.646	\$945.313

Propia(2022)

En la tabla número 18 se ve reflejado el gasto por horas extras que acostumbra pagar la empresa a los colaboradores de mantenimiento con el fin de poner las máquinas en funcionamiento, sin recurrir siempre a la jornada de producción, se puede observar salario, cantidad de horas extras, valor de cada hora extra y el promedio mensual.

Tabla 19.

Pérdidas económicas de producción.

Pérdidas económicas de producción por tiempo muerto					
Tiempo horas	2 H	4 H	8 H	16 H	32 H
Valor	\$ 375.000	\$ 750.000	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000	\$ 6.000.000
Metros cúbicos sin producir	75	150	300	600	1200

Propia (2022).

La tabla 19 muestra las pérdidas económicas igualmente por tiempos muertos debido a las fallas inesperadas, en donde según las horas de planta detenida se deja de producir cierta cantidad de material y, por lo tanto, son pérdidas económicas, ya que no hay producto terminado para la venta, en otras palabras, las paradas de producción demasiado largas provocan poca oferta de material para la venta.

Tabla 20.

Gastos de mantenimientos correctivos.

Gasto mensual correctivo y engrase							
Repuestos básicos aproximados				Insumos básicos aproximados			
Repuestos	cantidad	Detalle	Valor total	Insumos	Cantidad	Detalle	Valor total
Tuercas	50	Seguridad G81/2 5/8 3/8	\$ 3.000.000	Grasa	6 galones	Red chassis Blue chassis Copas 3 Axxis ep 2 Axxis max ep 2 Moly Ep 2	\$ 2.000.000
Tornillos	50	G8RO 1X6 G8RO1/2 5/8 3/8	\$ 3.000.000	Pegante	2	Fusión sitem Ftr	\$ 500.000
Rodamientos	3	Sy505-16 1” Ucp 205 hth 22224k	\$ 1.500.000	Soldadura	50 kg	Lincol 7218 1/8	\$ 2.500.000
Herramientas	-	Manual	\$ 200.000	Otros	-	Imprevistos	\$ 500.000
Otros	-	imprevistos	\$ 500.000	total			\$ 15.700.000

Propia (2022)

La tabla 20, se evidencia los gastos promedio que invierte la empresa en mantenimientos correctivos más básicos, se observan los tipos de repuestos e insumos, la cantidad, algunas de las referencias más comunes y un valor aproximado mensual.

En los casos en los que hay una falla mayor, como por ejemplo rotura de banda, daño en motores, correas, ejes, entre otros, los gastos aumentan considerablemente para el mes en que ocurran las fallas más graves, puede ser en cualquier mes del año según reporta la empresa la ocurrencia es de 5 y 8 fallas severas al año, las cuales no pueden detectar a tiempo.

Tabla 21.

Repuestos de mayor inversión.

Repuestos fijos de cambio por desgaste				
Repuesto	Características	Cantidad	Valor unidad	Total
Mandíbulas	Dimensión de 800 x 1000 mm material Acero al manganeso	2	\$3500.000	\$ 7.000.000
Martillos	Material acero al manganeso, soporta 50 toneladas	8	\$1.500.000	\$ 12.000.000
Mallas	Dimensión del tamiz 7.2 m ² y agujero de ¾ y ½, material Acero galvanizado	3	\$4.000.000	\$ 12.000.000
Bandas	Bandas resistentes al impacto dimensiones 0.5 m x 16 m	5	\$5.000.000	\$ 25.000.000

Propia (2022).

La tabla número 21 representa los gastos en los correctivos por desgaste o falla prematura, estas fallas son la que gracias al monitoreo constante de condiciones de trabajo se podrá anticipar y predecir el estado de las partes, permitiendo que se pueda llevar a cabo la programación del cambio antes de que ocurra la falla y en un tiempo en el que no afecte el proceso productivo, ya que este es uno de los problemas que ha llegado a afectar el funcionamiento de la planta y como consecuencia hay paradas largas de producción por la falta de detección del estado de estos repuestos y al no contar con un stock de repuestos, el cambio de estas partes toma demasiado tiempo (hasta 4 días con planta detenida por demoras en el envío por parte del proveedor). La empresa reporta que realizan cambio de quebrantadoras, martillos y mallas aproximadamente cada mes y medio o dos meses, por lo cual son gastos excesivos, ya que la vida útil de estas partes debería ser de 6 a 8 meses según operación. En el caso de las bandas transportadoras el cambio lo realizan entre 3 a 6 meses dependiendo operación y desgaste excesivo, cuando por desalineación se rompe la banda, el cambio debe ser inmediato, esta falla genera un gasto extra.

Almacenamiento

No se cuenta con un stop de repuestos definido, por lo tanto, se puede apreciar que al momento de una falla inesperada, el tiempo con planta detenida aumenta considerablemente y como consecuencia los costos para la puesta en marcha también tienen un aumento importante.

9.3.1 Selección de los sensores y dispositivos de control.

En esta sección se evidencia la metodología usada para la selección de los instrumentos de medición a utilizar en la supervisión de condiciones de proceso de las máquinas, esta metodología se basa en la comparación de los sensores más aptos para usar según las condiciones de operación de las máquinas, como rango de medición, ambiente, entre otros que se especifican en las tablas. En la comparación se escogerá el sensor que mejor se adapte a dichas condiciones con el fin de asegurar que no haya lecturas erróneas o fallas constantes en los dispositivos, etc.

A continuación se muestra el proceso de selección de cada uno de los dispositivos que medirán las variables: Temperatura , donde se compara un sensor termopar tipo J y un sensor RTD PT 100. Para la variable vibración, se comparó un sensor dual V-T y un acelerómetro. Para la medición del desplazamiento, el cual aplica para las bandas transportadoras, se comparó un

sensor infrarrojo y un sensor de banda de luz. Adicionalmente, se hace la descripción del sensor que medirá la corriente, en este caso un sensor de corriente trifásico y manómetros para la medición de presión. En cada tabla se plantearon las características fundamentales de operación de las máquinas, así como la comparación de especificaciones técnicas más importantes de los sensores, en donde a cada ítem se le asignó un peso en la operación y haciendo la investigación respectiva de cada sensor se logra dar un puntaje de 1 a 10 dependiendo si cumple o no cumple con los criterios o características necesarias para la operación de cada proceso.

Tabla 22.
Sensor temperatura.

Características	Peso	Termopar tipo J	P	RTD PT100	P
Magnitud: Temperatura	10	si	10	Si	10
Rango: 20° a 100° C	10	0° a 750°	10	-200° a 850°	10
Medio de trabajo: Intemperie: IP65 o IP66	10	IP 68	10	IP 68	10
Tiempo de respuesta: <2 ms	10	Falta encontrar dato		Falta encontrar dato	
Instalación: atornillado	10	Termopar de bulbo atornillable	10	atornillable	10
Salida: 0-10 VDC o de 4-20 mA	10	4-20 mA	10	4-20 mA	10
Precisión de lectura	10	±0.1°C	7	±0.03° C	10

Propia (2022).

Según la tabla 22 y figura 24, después de haber realizado la comparación entre los dos sensores, se puede observar que el más conveniente a utilizar es el sensor RTD PT 100, la

característica que llevó a escogerlo fue la precisión a la hora de tomar las lecturas, factor fundamental para el monitoreo constante de esta variable, este dispositivo será el encargado de medir la temperatura de la Noria, específicamente en la caja reductora con el fin de detectar y controlar la calidad del aceite, ya que con el tiempo este va perdiendo sus propiedades ocasionando daños en los engranajes del reductor por alta fricción. Por otro lado, se podrá mejorar la frecuencia de las rutinas de lubricación, porque actualmente no se tienen establecidas.

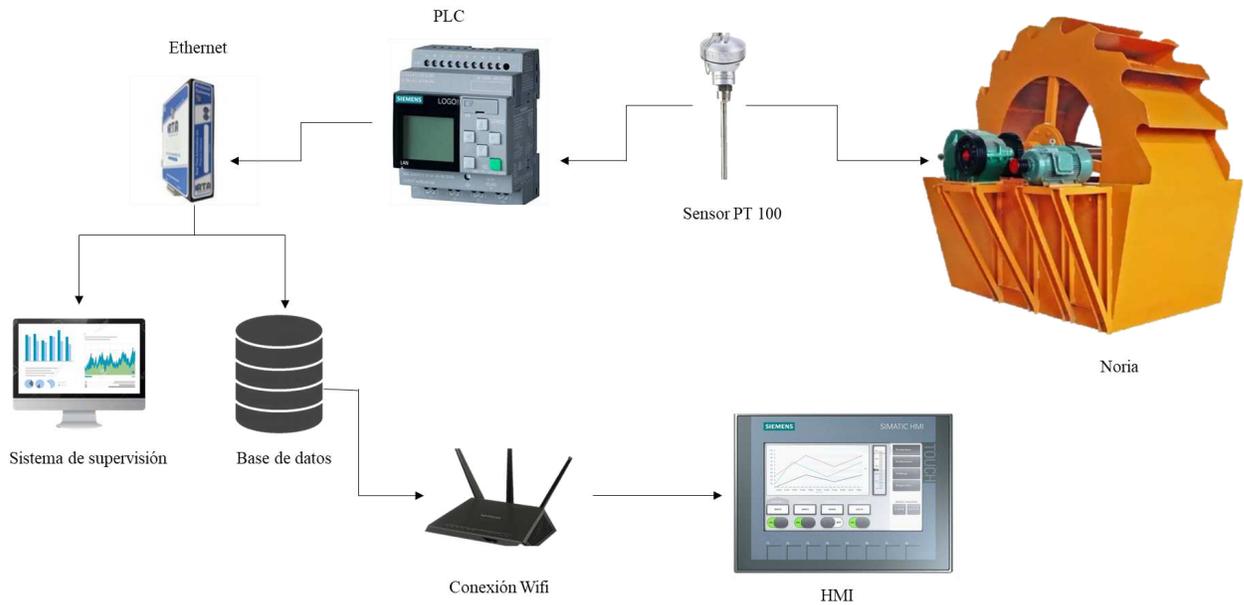


Figura 24. esquema medición noria .Propia (2022)

Tabla 23.

Selección sensor de vibración.

Características	Peso	Sensor dual V-T	P	Acelerómetro	P
Magnitud: Vibración y temperatura	10	Vibración y temperatura	10	vibración	5
Rango: 5mm/s a 10mm/s	10	0 mm/s a 200mm/s	10	0,01 mm/s a 400mm/s	10
Medio de trabajo: Intemperie: IP65 o IP66	10	IP 65	10	IP 67	10
Rango de temperatura: 0° a 100 °C	10	-20 °C a 120°C	10	No aplicó	0
Instalación: atornillado	10	atornillado	10	atornillado	10
Salida: 0-10 VDC o de 4-20 mA	10	4-20 mA	10	4-20 mA	10
Precisión de lectura	10	±2%	10	±2%	10

Propia (2022)

La tabla 23 y figura 25 muestra la comparación entre dos sensores de vibración los cuales son un sensor dual y un acelerómetro, para este caso el sensor escogido es el sensor dual, ya que para el proceso es el más conveniente debido a que permite medir no solo vibración, sino también temperatura siendo una ventaja al momento de instalarlo en las chumaceras de las máquinas trituradora de mandíbulas y trituradora de martillos, debido a que en estas máquinas rotativas la detección de fallas y anomalías se logran detectar monitoreando estas variables directamente en los soportes de la máquina es decir las chumaceras.

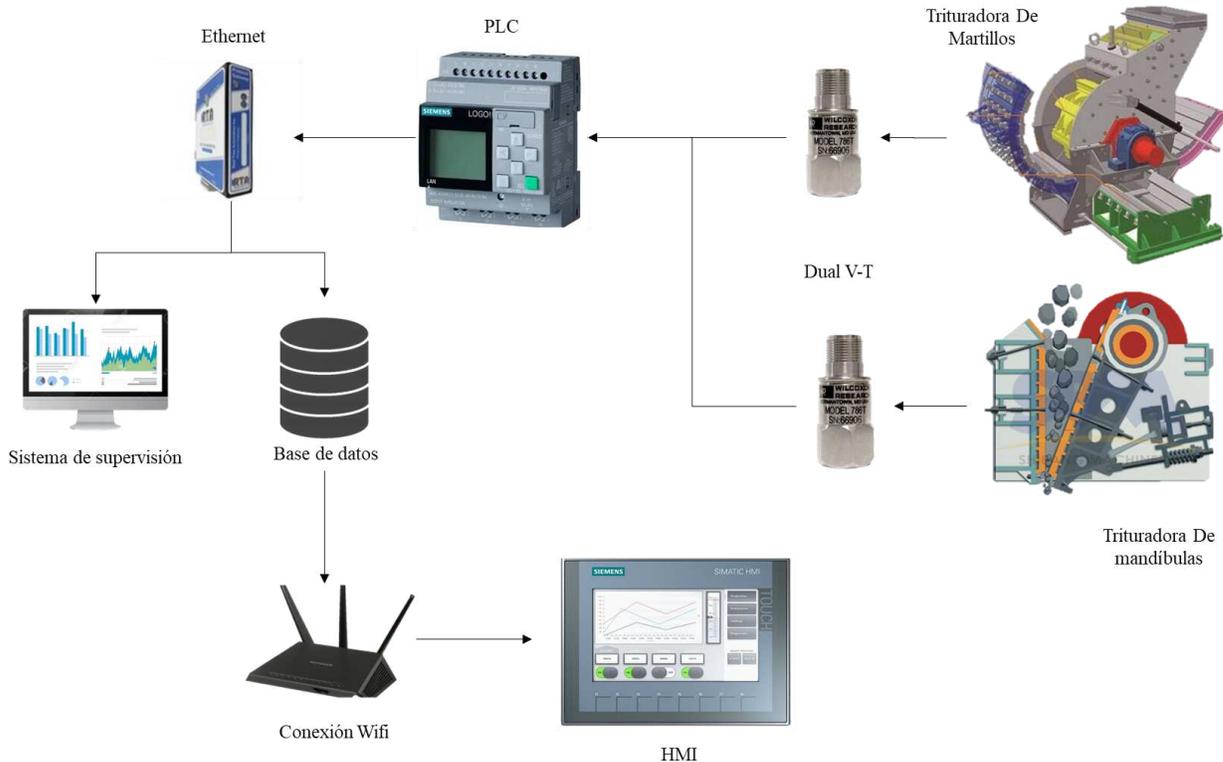


Figura 25. esquema de medición trituradoras. Propia(2022)

Tabla 24.
Sensor para banda.

Características	Peso	Sensor infrarrojo	P	Sensor de banda de luz	P
Magnitud: desplazamiento	10	Si aplica	10	Si aplica	10
Rango: de 0 mm a 50mm	10	0mm a 160mm	10	0mm a 1600mm	10
Medio de trabajo: Intemperie: IP65 o IP66	10	IP 65 o 67	10	IP 65	10
Instalación: sobre base	10	Si aplica	10	Si aplica	10
Salida: 0-10 VDC o de 4-20 mA	10	4-20 mA	10	4-20 mA	10

Precisión de lectura	10	Alta	10	alta	10
----------------------	----	------	----	------	----

Propia (2022)

En la tabla 24 y figura 26 se evidencia la comparación entre un sensor infrarrojo y un sensor de banda de luz, esta comparativa se hace para la detección de la desalineación de las bandas transportadoras que hay en la planta, se puede observar que los dos sensores son funcionales, sin embargo, el sensor para integrar al sistema es el sensor infrarrojo debido al rango de medición que maneja, ya que es limitado y no se hace necesario un rango de medición tan amplio como lo permite el sensor de banda de luz. Se instalarán en las partes inicio y fin de las bandas facilitando la detección anticipada de la desalineación de estas, con ello evitamos fallas comunes que suceden en la planta como lo son atascos, rotura de banda, desgaste prematuro, entre otros.

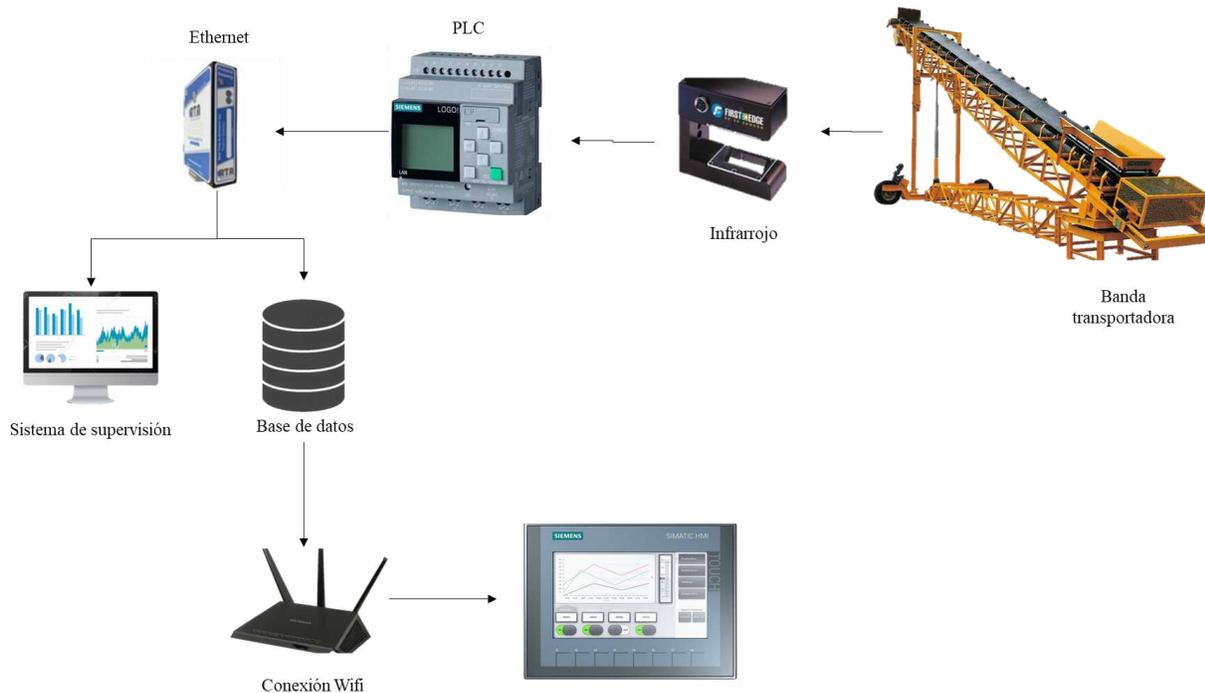


Figura 26. esquema de mediación banda transportadora.Propia(2022)

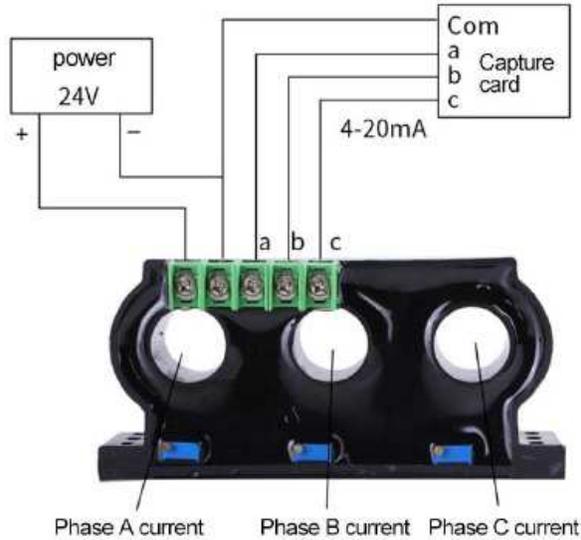


Figura 27. Electronica. Piastimedia (2022)

Tabla 25.
Especificaciones técnicas sensor de corriente.

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de alimentación	12VDC
Lectura	0-50AAC/0-100AAC/0-200AAC/0-400AAC.
Exactitud básica	$\leq 0.2\%$ F.S.
Tiempo de respuesta	$\leq 100\text{ms}$ (0-90%) típica.
Salida	4-20mA, 0-20mA, 0-10V.
Temperatura de trabajo	$-30^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

Piastimedia (2022)

En la tabla 25 y figura 27 se muestran las características y conexión del sensor. Este sensor se escogió principalmente por los diferentes rangos de medición que tiene, ya que según las especificaciones de los motores encontramos consumos de corriente desde 12 amperios hasta el máximo valor 87 caballos de fuerza con corriente nominal de 104 amperios. Por otro lado, es un sensor que cumple con las características operacionales de cada proceso. El lugar de instalación

de estos sensores de corriente es en los motores de la trituradora de mandíbulas, trituradora de martillos, zaranda y bombas de agua, de esta manera se puede detectar sobrecargas, saturación del sistema, daños eléctricos, entre otros factores.

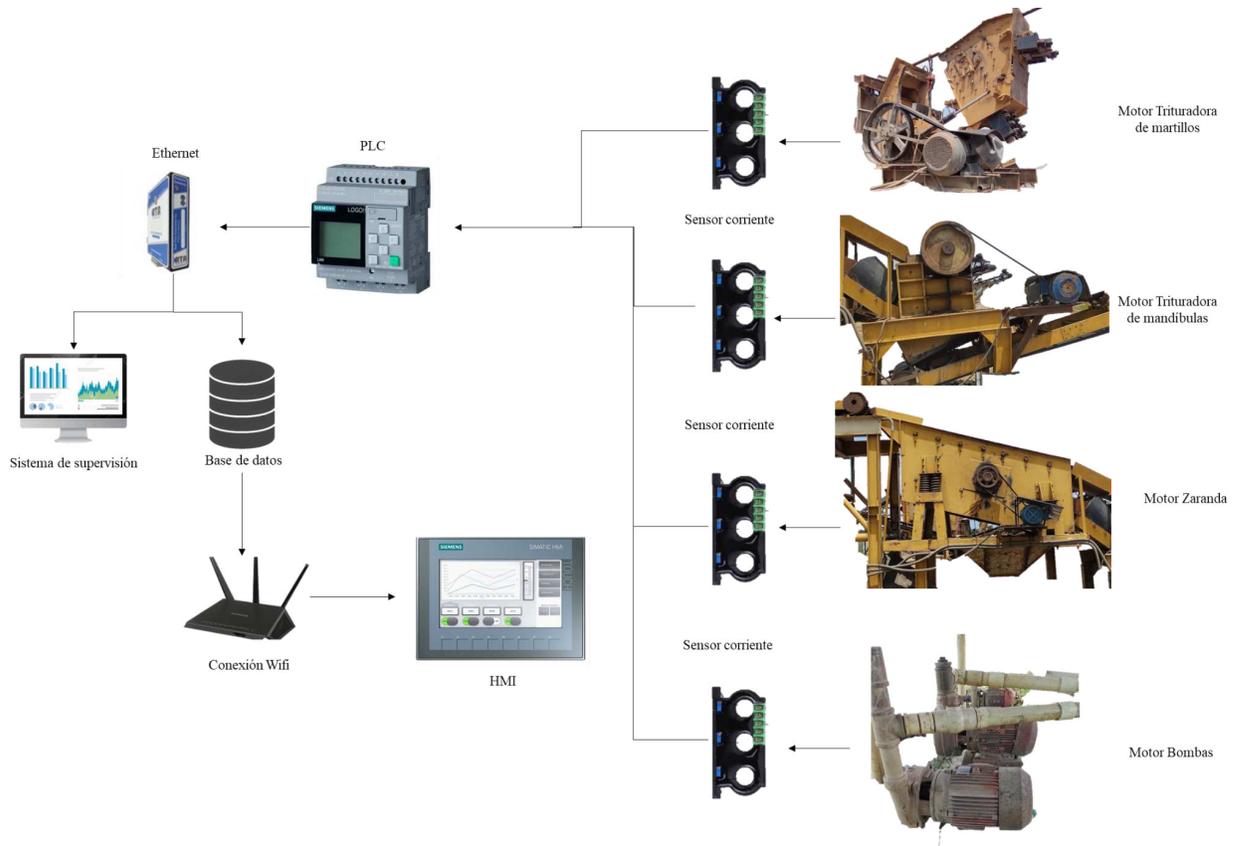


Figura 28.Esquema de medición motores. Propia (2022)



Figura 29. Manómetros digitales. Colmucol(2022)

Tabla 26.
Especificaciones técnicas manómetros.

Especificaciones Técnicas	
Rango	0 a 10 bar
Material carcasa	Aleación de aluminio
Material conexión	Acero inoxidable 304
Pantalla	LED de 4 dígitos
Exactitud	$\pm 0.5\%F.S.$
Temperatura:	-10 a 60°C
Salida	4-20mA

Colmucol (2022)

Los manómetros se instalarán en la succión y descarga de las bombas con el fin de detectar algún comportamiento inusual o desfavorable para la operación, como cavitación, taponamiento, trabajo en vacío, etc. En la tabla 23 se muestran las especificaciones del sensor que cumple con los requerimientos exigidos, adicionalmente en la figura 29 se muestra la conexión del mismo con la máquina.

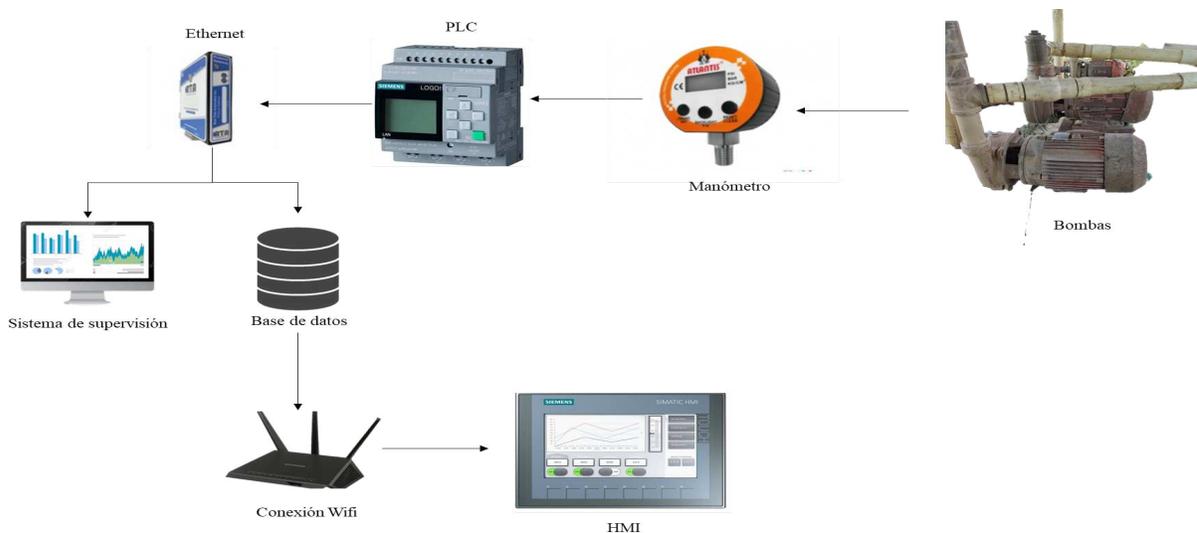


Figura 30. Esquema de mediación bombas. Propia (2022)

Plan de instalación

En esta sección se especificará paso a paso el plan de instalación de todos los elementos que componen el sistema de supervisión, así como los tiempos de instalación, fechas, personal, disponibilidad que tenga la empresa para la implementación del proyecto.

Tabla 27.

fechas y actividades de instalación.

Fechas	Actividades a realizar	Personal a cargo
15 y 16 de dic	Análisis y adecuación del espacio donde se requiere instalar los sensores	Ingeniero en jefe y especialista en instrumentación y técnicos
19 al 23 de dic	Desarrollo de planos	Diseñador
26 y 27 de dic	Montaje y adaptaciones mecánicas	Técnico y auxiliar mecánico
28 de dic al 10 de ene	Cableado y montaje de sensores	Técnicos, eléctrico e instrumentación
11 al 20 ene	Programación	Especialista en programación
21 al 30 ene	Pruebas y puesta en marcha	Técnicos, especialistas e ingenieros

Propia (2022)

Según la tabla número 27 muestra las fechas de instalación que van desde el 15 de diciembre hasta el 20 de enero del siguiente año, estas fechas se escogieron según la disponibilidad que la empresa notificó, ya que en esta época del año es cuando las ventas cesan en gran mayoría por temporada de vacaciones de las obras civiles. Por otro lado, se reflejan las actividades que serán realizadas y el personal requerido según corresponda la especialidad.

Según lo mencionado anteriormente, el personal necesario para el desarrollo del proyecto y la realización de la instalación física es el siguiente:

- Ingeniero mecatrónico
- Especialista en instrumentación
- Diseñador
- Especialista en programación
- Técnico mecánico
- Técnico eléctrico o electrónico
- Técnico en instrumentación
- 3 auxiliares

9.4 Retorno sobre la inversión

Tabla 28.
Inversión.

Dispositivo	Cantidad	Precio por unidad	Precio total	Personal Instalación	Salario por noventa días. Tiempo estimado de implementación de obra.
Sensor temperatura RTD PT100	1	\$839.913	\$839.913	Ingeniero mecatrónico	\$8.000.000
Sensor Dual V-T	4	\$1.836.000	\$7.344.000	Especialista en instrumentación	\$6.000.000
Sensor infrarrojo	20	\$890.850	\$17.816.998	Diseñador	\$5.000.000
Sensor de corriente Trifásico	6	\$617.586	\$3.705.516	Especialista en programación	\$5.000.000
Sensor de Presión	6	\$224.411	\$1.346.465	Técnico Mecánico	\$2.000.000
Plc	5	\$1.470.000	\$7.350.000	Técnico Eléctrico	\$2.000.000
Protocolo de comunicación	5	\$400.000	\$2.000.000	Auxiliar 1	\$1.200.000
HMI	1	\$400.000	\$400.000	Auxiliar 2	\$1.200.000
Ordenadores	3	\$3.000.000	\$9.000.000	Total	\$30.400.000
Cableado en metros	500	\$7.000	\$3.500.000		
Total	551	\$9.685.760	\$53.302.892		
Total inversión	\$83.702.892 + 3%				

Propia (2022)

La inversión económica para la implementación del sistema de supervisión propuesto a través de todo el documento, se muestra en la tabla 25, donde se obtuvo un valor de \$83.702.892, en el que se incluye la compra de los dispositivos necesarios para la medición de las variables, mencionando el tipo de dispositivo, la cantidad requerida, precio unitario y total, cableado, y además el personal idóneo para dicha instalación en un tiempo estimado de 90 días. A este valor se le sumará el 3% equivalente a \$2.511.086, para un total de \$86.213.978 que se destinarán para imprevistos.

Tabla 29.
Reducción de gastos.

Reducción de gastos y perdidas económicas mensuales después de implementar el sistema				
	Tiempo antes de implementación	Gastos antes de implementación	Tiempos después de implementación	Gastos después de implementación por mes
Mano de obra	33 horas promedio mes	\$945.313	0 horas	\$0
Producción	64 horas promedio mes	\$12.000.000	40 horas promedio	\$7.500.000
Mantenimiento correctivo	Promedio Mensual	\$15.700.000	Promedio Mensual	\$0
Repuestos fijos	Promedio mensual	\$20.000.000	Promedio Mensual	\$7.200.000
Otros costos	Promedio mensual	\$2.000.000	Promedio Mensual	\$0
	Total	\$50.645.313	Total	\$14.700.000
Total en pesos y porcentaje de reducción gastos mensuales en mantenimiento y producción.		\$35.945.313	70,97%	
Reducción de gastos al cabo de 6 meses		\$215.671.878		
Reducción de gastos al cabo de 12 meses		\$431.343.756		

Propia (2022)

Mano de obra

Actualmente, la empresa está teniendo un gasto en pago de horas extras debido a las fallas inesperadas o mantenimientos correctivos, con el fin de poner las máquinas en funcionamiento, requieren que el personal de mantenimiento trabaje un tiempo de más para solucionar el problema, según la información suministrada por el área de contabilidad y como se puede observar en la tabla 18 el promedio de horas extras incurridas es de 33 horas mensuales en relación con la tabla 29 son 5 personas que hacen parte del área de mantenimiento, por lo que en promedio la empresa está pagando \$945.313 mensuales, con la implementación del sistema se establece que con la reducción de fallos y el mejoramiento del funcionamiento de la maquinaria no sea necesario que los colaboradores trabajen tiempo extra, sino que en su jornada laboral normal se implemente el mantenimiento preventivo, programado y predictivo; por lo tanto, este valor se reduce a \$0.

Producción

Según la tabla 29 , se evidencia la pérdida de tiempo de producción equivalente a 64 horas, esto debido a la frecuencia de fallas y a los tiempos por intervención que equivale a 8 días mensuales sin producción, este tiempo fue calculado teniendo en cuenta que las fallas como son inesperadas el personal no cuenta con los repuestos necesarios para la intervención inmediata lo que está generando tiempos extremadamente largos para la reparación de una máquina, esto debido a que dependen de la rapidez con que el proveedor envíe los repuestos y la disponibilidad de los mismos. Dichas horas en pérdidas económicas equivalen a \$12.000.000 que dejan de producir. Con la implementación del sistema se logra disminuir las horas de intervención de 64 a 40 horas mensuales, que equivale a una reducción del 37.5% (\$ 4.500.000) como se evidencia en la tabla 12 esta reducción se debe a los tiempos por intervención inmediata, ya que con el sistema de supervisión los trabajadores al anticiparse de una falla pueden programar y preparar todo lo necesario para la solución del problema, teniendo en cuenta que ya contarán con los repuestos en su almacén y el tiempo invertido será únicamente de la intervención de las máquinas.

Hay que tener en cuenta que esta reducción es únicamente por la mejora en los tiempos de intervención y paradas, porque el tiempo que se detendrá la producción será únicamente por el

desmante y el montaje de piezas, pues se contara con los repuestos y herramientas, a diferencia de antes de la implementación que el tiempo aumentaba por la falta de dichos repuestos y la demora de los proveedores, adicionalmente los cálculos realizados para el mejoramiento de este tiempo se establece teniendo en cuenta la misma frecuencia de fallas porque aunque el sistema de supervisión implementado permita la reducción de esta frecuencia se trata de un cálculo que se determinará con el tiempo llevando un seguimiento continuo del comportamiento de las variables así permitiendo al personal, analizar, programar, diagnosticar, tomar decisiones y realizar mejoras en pro de la disminución de la frecuencia de fallas.

Mantenimiento Correctivo

Como se expresa en la tabla 20 la empresa actualmente usa ciertos repuestos, materiales e insumos para reparación de las máquinas por correctivos, esto hablando de las fallas más frecuentes, este valor equivale a \$15.700.000 mensuales aproximadamente.

Este sistema de supervención le permitirá a la empresa eliminar el mantenimiento correctivo e implementar el mantenimiento programado y preventivo, lo que causara que el valor de estos gastos después de la implementación se reduzca a \$0 lo que le permitirá a la empresa establecer un presupuesto adecuado para preventivos.

Repuestos fijos

Este tipo de máquinas poseen partes que sufren desgastes normales debido a la operación, dichas partes actualmente están sufriendo de desgaste prematuro por las diferentes fallas que ocasionan que las máquinas trabajen de manera forzada y deficiente, por lo tanto, el cálculo de este valor mensual se estimó en \$20.000.000 que es la suma del valor de cada una de las partes según los reportes que da la empresa del tiempo que les está durando cada parte en la operación, a pesar de que estas partes siempre requerirán un cambio no están cumpliendo con su tiempo de vida útil según la información del fabricante como se evidencia a continuación:

Tabla 30.

Comparación vida útil repuestos fijos.

Parte	Vida útil	
	Actual	Según fabricante
Bandas	180 días	365 días
Martillos	45 días	180 días
Quebrantadoras	45 días	180 días
Mallas	45 días	180 días

Propia(2022)

El análisis de las variables suministrado por el sistema de supervisión implementado permitirá la mejora de la operación y con ello la conservación de dichas partes, cumpliendo con su vida útil establecida, por lo que dichos valores se disminuye mensualmente a \$7.200.000 que es la división del valor de las partes entre la vida útil estimada, este monto sería el estimado que la empresa deberá apartar, guardar o ahorrar para al cabo de los meses especificados puedan tener la totalidad para comprar el repuesto o pueden en dicho mes sacar el valor total de los repuestos sin incluir dichos gastos mensualmente, únicamente sacar el valor en el mes requerido.

Otros costos

Este valor de \$2.000.000 se estimó solo con el fin de suplir los imprevistos adicionales que pueda tener la acción de mantenimiento correctivo, por lo tanto, con la implementación del sistema este valor quedaría en \$0 al no implementarse el mantenimiento correctivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, la tabla 29 muestra la comparación entre los gastos actuales de correctivos y pérdidas de producción por un valor de **\$50.645.313** y los gastos al cabo de implementar el sistema de supervisión por valor de **\$14.700.000**, lo anterior muestra una disminución del **70,97%** valor equivalente a **\$ 35.945.313** de los gastos actuales para continuar con la operación. Estos gastos se pueden reducir aún más, ya que este estimado se realizó respecto a los tiempos mínimos que requieren de intervenciones según las fallas, pero en caso tal

de que la empresa programe las intervenciones en tiempos en los que la producción se pueda detener completamente sin afectar de ninguna manera la empresa económicamente, reduciendo los gastos aún más. También podemos analizar la reducción de los gastos al cabo de 6 y 12 meses equivalentes a: **\$215.671.878** y **\$431.343.756** de ahorro, que se reduce en términos de ganancia para la empresa porque estos valores los puede invertir libremente como desee o aumentarlo en su patrimonio porque no deberá invertirlos como lo viene haciendo actualmente.

ROI	\$215.671.878	-	\$83.702.892	=	1.576635918	X 100 =	157,66%
	\$83.702.892						

Haciendo el análisis del retorno sobre la inversión se establece que la empresa obtendrá el 157,66% de retorno sobre el valor invertido en el proyecto al cabo de 6 meses. Esta inversión resulta atractiva y extremadamente funcional, sería una inversión inteligente, ya que este proyecto resulta como un gran prospecto sobre el cual trabajar como apoyo al mejoramiento de la producción de la empresa Trituradora Bocas del Guayuriba S.A.

10. Conclusiones

Con la implementación del sistema de supervisión los beneficios en funcionamiento y confiabilidad se verán reflejados a corto plazo debido a que este sistema permite a los operarios y equipo de mantenimiento monitorear en tiempo real variables de trabajo de cada máquina como temperatura de operación en partes mecánicas fundamentales, detectando el calentamiento de rodamientos y ejes, vibraciones para la detección de posibles desalineaciones, esfuerzos mecánicos altos y desajustes que ocurren durante la operación de las máquinas. En el caso de los motores eléctricos el monitoreo del consumo de corriente según las especificaciones de los mismos permite detectar esfuerzos excesivos en la operación, falló en los rodamientos del motor, muchas veces la alimentación no controlada de material es la que provoca mala operación debido a que supera los límites de trabajo de cada máquina, provocando que el motor se forcé y como efecto el amperaje del motor varía constantemente.

Estas variables que se establecieron críticas según el proceso productivo y las experiencias expresadas por los operarios y área de mantenimiento fueron la base para determinar en cada proceso donde monitorear y de esta manera afectará de manera positiva al proceso productivo total, facilitando de esta manera la toma de decisiones al momento de analizar el cambio en el tiempo que tienen estas variables y permitiendo desarrollar programas de mantenimiento más especializados y de la misma forma permite anticiparse a las fallas a lo que llamaríamos en otro contexto mantenimiento predictivo, pero en este caso con un valor agregado importante que es la supervisión y adquisición de datos constante de las variables físicas de cada máquina.

Se obtuvo información de gran relevancia sobre la operación de la planta, desde la extracción del material en el río Guayuriba hasta la terminación completa de la transformación de la materia prima, analizando de manera concreta la función que cumple cada una de las máquinas en el proceso productivo y su principio de funcionamiento con el fin de conocer a detalle las especificaciones técnicas y elementos de máquinas a tener en cuenta y establecer los puntos críticos y más propensos a fallas que afecten de manera crítica al área de producción.

Se desarrolló un análisis de fallas que permitió establecer cuáles son los tiempos muertos, costos de mantenimiento, pérdidas productivas y económicas que tiene actualmente la empresa

por la falta de monitoreo de cada máquina. Así mismo se establecieron los rangos de operación óptima y para un análisis más certero respecto a la variación de cantidades operacionales de cada variable.

Se realizaron análisis de las diferentes variables según las fallas más ocasionales para dar un valor o nivel de criticidad, esto por medio de tablas de criterios de ingeniería en las que gracias a la participación del área de producción y mantenimiento se logró establecer que tan crítica es una variable para el proceso productivo y determinar o acotar la cantidad de variables a medir y los puntos donde se requiere monitorear. Según los factores establecidos para la evaluación de cada una de las variables como lo son, factor operacional, costos de mantenimiento, efectividad de la máquina, seguridad de la máquina y la producción se establecieron prioridades respecto a la situación actual y la problemática que tiene la empresa en la parte financiera.

el proyecto resulta ser totalmente rentable para la empresa, ya que como se evidencia en todo el desarrollo de la presente propuesta, si la empresa decide implementar este método de monitoreo la disminución de costos de producción y mantenimiento será significativa además de que la productividad aumentará considerablemente dando a la empresa la capacidad de expandirse en el territorio y genera muchas más ganancias en ventas del producto.

por otro lado la inversión es bastante asequible debido a que como se demostró en el análisis de costos y retorno sobre la inversión, al cabo de un tiempo muy corto la empresa retornara los gastos invertidos para la implementación del sistema de supervisión. Al ser a corto plazo este retorno resulta ser muy conveniente invertir en una propuesta que generará grandes beneficios para todo el personal que labora en la empresa.

11. Recomendaciones

Una vez establecida la implementación de los sensores para el mejoramiento del proceso de producción de la trituradora, se hace conveniente observar, detallar e interpretar las variables que mide cada uno de los sensores, con el fin de tomar las decisiones correctas en los momentos precisos teniendo en cuenta:

Trabajar las máquinas realizando el mantenimiento preventivo periódicamente, estableciendo tiempos y labores específicas, llevando cronogramas y planillas de mantenimiento y capacitarse en la interpretación y uso de sistema de supervisión con el fin de lograr entender los datos allí plasmados y poder desarrollar tablas, gráficas o cualquier método de análisis que permita identificar el comportamiento normal de las variables de trabajo, con esto es importante establecer un pensamiento diferente respecto al mantenimiento y cuidado de las máquinas, basando las actividades propias al cargo en lo que hoy en día llamamos mantenimiento basado en condición.

12.Referencias.

1. Iturralde y Gutiérrez. (2017) fundamentos básicos de instrumentación y control, recuperado de: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%C3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>
2. Villajulca. (22 de diciembre de 2009) Almacenamiento de datos y Sistemas de Supervisión SCADA recuperado de: <https://instrumentacionycontrol.net/almacenamiento-de-datos-y-sistemas-de-supervision-scada/>
3. Suarez. 2020. Comunicaciones Industriales recuperado de: <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-tecnologica-de-chile/electronica/comunicaciones-industriales-capitulo-1/10149867>
4. Lera. (7 de octubre de 2015). Methodology development for industrial instrumentation and configuration through assets Management Software (AMS).Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/60433735.pdf>
5. EcuRed (s.f). Control automatico. Recuperado de: https://www.ecured.cu/Control_autom%C3%A1tico
6. Martell. (2016). Sistemas scada para la automatización de procesos industriales. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282016000100003
7. Penin. (Mayo de 2013). Sistemas scada Alfaomega Grupo Editor, México. Recuperado de: [file:///D:/DELL/Descargas/Sistemas%20SCADA%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](file:///D:/DELL/Descargas/Sistemas%20SCADA%20(%20PDFDrive%20).pdf)
8. Marcos A. Golato. (Junio de 2017). Importancia del control automático, recuperado de: https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2017/06/Importancia-del-control-autom%C3%A1tico-en-la-industria-de-proceso_Taller-Exactas-para-Todos-2017.pdf

9. Sicma21. 28 de mayo de 2021. SCADA, que es y como funciona, recuperado de:
<https://www.sicma21.com/scada-que-es-y-como-funciona/>
10. García, M (2018). Desarrollo de sistemas ciber-físicos. Scielo. Recuperado de:
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000300443#:~:text=La%20norma%20ISA%2D88%20entrega,usados%20en%20sistemas%20de%20automatizaci%C3%B3n.
11. Moya, S (2019). Importancia y Utilización del Estándar ANSI/ISA S5.1. Intech. Recuperado de:
<https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/05/21/importancia-y-utilizacion-del-estandaransi-isa-s51/#:~:text=En%20el%20est%C3%A1ndar%20ANSI%2FISA,de%20los%20sistemas%20de%20control.>
12. ANSI / ISA – s5.2, (s.f). Recuperado de:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oscaror/CursosDictados/Sobre%20el%20Blog%20Arturo%20Rondon/ISA%20S52%20presentacion_PDF.pdf
13. Zambrano, F (s.f). recuperado de:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oscaror/CursosDictados/Sobre%20el%20Blog%20Arturo%20Rondon/ISA%20S53%20presentacion_PDF.pdf
14. Peña y Duran, (s.f). Standard ANSI/ISA 5.4 Instrument Loop Diagrams. Recuperado de:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oscaror/CursosDictados/Sobre%20el%20Blog%20Arturo%20Rondon/ISA%20S54%20PRESENTACION_PDF.pdf
15. Quintero y cuicas (s.f). Símbolos Gráficos para el despliegue de procesos Norma ANSI/ISAS5.5-1985. Recuperado de:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oscaror/CursosDictados/Sobre%20el%20Blog%20Arturo%20Rondon/ISA%20S55%20presentacion_PDF.pdf
16. ISA101 Norma para diseño de HMI, (2015). Infopl. Recuperado de:
<https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/102902-isa101hmi#:~:text=La%20norma%20pretende%20proporcionar%20orientaci%C3%B3n,todas%20las%20condiciones%20de%20funcionamiento.>

17. Grajales, Sánchez y Pinzón, (2006). LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS MODERNAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO. Recuperado de: <file:///D:/DELL/Descargas/Dialnet-LaConfiabilidadLaDisponibilidadYLaMantenibilidadDi-4830901.pdf>
18. (Townsend, 2022, p1) recuperado de [https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/thermodynamics-ap/internal-energy-tutorial-ap/a/heat#:~:text=La%20temperatura%20es%20una%20medida,est%C3%A1n%20a%20la%20misma%20temperatura.\(Townsend,2022,p1\)](https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/thermodynamics-ap/internal-energy-tutorial-ap/a/heat#:~:text=La%20temperatura%20es%20una%20medida,est%C3%A1n%20a%20la%20misma%20temperatura.(Townsend,2022,p1))
19. (Xperta, 2008, p1) recuperado de [https://www.xperto.com.mx/calibracion-magnitud-presion-relativa#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20es%20una%20magnitud,superficie%2C%20por%20unidad%20de%20superficie.\(Xperta,2008,p1\)](https://www.xperto.com.mx/calibracion-magnitud-presion-relativa#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20es%20una%20magnitud,superficie%2C%20por%20unidad%20de%20superficie.(Xperta,2008,p1))
20. (Predictiva 21, sf, p1) recuperado de <https://predictiva21.com/vibraciones/#:~:text=Las%20vibraciones%20se%20pueden%20considerar,llama%20vibraci%C3%B3n%20de%20cuerpo%20entero.>
21. (Andalucía, sf,p1) recuperado de [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002996/helvia/aula/archivos/repositorio/0/235/html/conceptos.htm#:~:text=Se%20llama%20culombio%20a%20la.de%20un%20amperio%20de%20intensidad.\(Andalucía,sf,p1\)](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/14002996/helvia/aula/archivos/repositorio/0/235/html/conceptos.htm#:~:text=Se%20llama%20culombio%20a%20la.de%20un%20amperio%20de%20intensidad.(Andalucía,sf,p1))
22. (Equipo Drew, 2022, p.1) recuperado de <https://blog.wearedrew.co/mantenimiento/gestion-de-mantenimiento-indicadores-para-la-toma-de-decisiones#:~:text=Disponibilidad%3A%20es%20la%20capacidad%20de.un%20per%C3%ADodo%20de%20tiempo%20espec%C3%ADfico.>
23. (Suazo, 2020, p1) recuperado de <https://tractian.com/es/blog/8-indicadores-indispensables-para-la-gestion-del-mantenimiento>

24. recuperado de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-dano-por-cavitacion-definicion/#:~:text=Quiz%C3%A1s%20el%20problema%20de%20ingenier%C3%ADa,choque%20y%20microjets%20altamente%20localizados%20>
25. (Martínez, sf, pp.1) recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8296/1/AC-ESPEL-EMI-0254.pdf>
26. (Solís, 2017. pp.76)recuperado de https://issuu.com/guillermosolis92/docs/libro_de_mantenimiento_industrial
27. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37921.pdf>
28. (Palacios y Martínez, 2020). recuperado de <https://www.eymproductostecnicos.com/bandas-transportadoras-que-es-desalineacion-funcion>
29. (Palacios, 2019,p1). recuperado de <https://www.spinozziargentina.com/post/3-causas-de-desalineamiento-en-cintas-transportadoras>