

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

**MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL MINA SAN RAMÓN,  
RED EAGLE MINING**

Daniel Sebastián Marulanda Aristizábal

Ingeniería Mecatrónica

Karen Paola Cacua

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2018**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## RESUMEN

---

La multinacional Canadiense Red Eagle Mining de Colombia es una empresa dedicada a la explotación de oro en Santa Rosa de Osos, municipio ubicado al norte de Antioquia. La fase de construcción y montaje finaliza en diciembre del 2016.

El proceso extractivo de REMDC está automatizado y centralizado en una sala de control de última tecnología marca DELTA-V desde donde se puede operar la planta en un 85% de forma remota. Al terminar la etapa de comisionamiento e iniciar el arranque y puesta a punto de la planta, el área de mantenimiento inicia con el inventario de equipos, selección de instrumentos de medición, selección de equipos portátiles y fijos de laboratorio, levantamiento de información de los procesos, stock de repuestos mínimo para la operación, diseño de protocolos de intervención de equipos, homogenización de procesos, estudios de causa raíz y análisis de falla para equipos. Todos estos procesos se desarrollan a la par con la puesta a punto de la planta para entrar a producción total. Así es como en los inicios de producción los departamentos de mantenimiento, operaciones y seguridad ocupacional ponen sobre la mesa los requisitos para intervenir los equipos y la operación en los procesos de producción y en base a los derroteros de ideas producto de estas reuniones surgen los protocolos y la homogenización de procesos en planta.

Seguido de esto, se diseñan los planes de intervención a los equipos en el área de mantenimiento en instrumentación y se estudian los procesos y subprocesos presentes en planta, identificando prioridades en planta y clasificando los instrumentos en instrumentos de proceso, instrumentos de medición, instrumentos de seguridad e instrumentos de análisis; además de clasificar las zonas entre acceso libre y acceso restringido.

Dentro de los equipos intervenidos en planta, se encuentra un analizador de cianuro marca ORICA de fabricación Australiana que presentó fallas y al cual se le realizó un análisis de falla y el cual se pone en operación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

De este modo, se da cumplimiento al diseño inicial de los planes de mantenimiento de planta en la dependencia de mantenimiento en instrumentación, teniendo una identificación, documentación, modelación e intervención diseñada de manera técnica y acorde en los marcos de buenas practicas laborales y seguras.

**Palabras clave:** sistema de control, instrumentación, mantenimiento, seguridad, cianuro, oro, puesta en marcha, puesta a punto, DELTA-V.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## RECONOCIMIENTOS

---

Con este trabajo, fruto de esfuerzos personales y familiares se da por culminada una importante etapa en mi proceso formativo. Inicialmente agradezco a mi familia, quienes con gran esfuerzo y dedicación aportaron económica y emocionalmente durante toda mi etapa académica.

Agradezco a mi asesora de practicas Karen Cacia por sus valiosos aportes a este informe. Agradezco a todos los profesores presentes en mi etapa formativa porque de no ser por ellos esto no sería posible.

Le agradezco a Red Eagle Mining de Colombia por abrir sus puertas y permitir realizar mis practicas en tan hermosa empresa llena de nuevas tecnologías y una gran calidez humana. Le agradezco a todo el quipo de mantenimiento en cabeza del ingeniero Ronie Mc Allister y a quien se encargó de supervisar directamente mi proceso la superintendente de recursos humanos Milena Gallego.

Finalmente agradezco a mis compañeros de estudio que al igual que yo culminan un proceso académico para iniciar en una bonita labor, ser ingenieros mecatronicos egresados del Instituto Tecnológico Metropolitano, quienes somos abanderados en este programa académico y responsables de dejar en alto el nombre de la institución.

 <b>ITM</b> Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

# TABLA DE CONTENIDO

---

## Tabla de contenido

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>1. MARCO TEORICO.....</b>	<b>11</b>
1.1 Diseño de un plan de mantenimiento .....	11
1.2 Modelos de mantenimiento .....	12
1.3 Sistema de control DELTA-V.....	15
1.4 Espesador de relaves .....	17
1.5 Pesometros.....	19
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
2.1 Primera etapa: .....	22
2.2 Segunda etapa .....	23
2.3 Tercera etapa.....	23
2.4 Cuarta etapa .....	23
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Diseño del plan de mantenimiento .....	25
3.1.1 caracterización de los activos presentes en planta .....	25
3.1.2 Seguridad.....	28
3.2 Indicadores de gestión de mantenimiento .....	30
3.2.1 Indicadores técnicos.....	30
3.2.2 indicadores mantenimiento .....	30
3.3 Selección de equipos de calibración, chequeo y medición.....	31
3.3.1 Multímetro con RMS de precisión .....	31
3.3.2 calibrador de procesos .....	33
3.3.3 modulo de presión y bomba de presión .....	36
3.4 Validación de manuales operativos y requerimientos para mejorar las inspecciones e intervenciones a los activos. ....	37
3.5 Casos de análisis .....	39
3.5.1 Pesometros.....	39
3.5.2 Espesadores.....	40
3.6 validación de casos particulares .....	45
3.6.1 Pesometros.....	45
3.6.2 Espesadores.....	45
<b>4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>47</b>
4.1 Conclusiones:.....	47
4.2 Trabajos futuros:.....	48

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

<b>5</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>49</b>
5.1	Anexo 1 “ficha de identificación transmisor de presión” .....	49
5.2	Anexo 2 “ficha de identificación pesometro” .....	50
5.3	Anexo 3 “ficha de identificación densitómetro” .....	51
5.4	Anexo 4 “ficha de identificación sensor de gases” .....	52
6	Bibliografía .....	53

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## TABLA DE FIGURAS

---

Ilustración 1. Clasificación de equipos .....	12
Ilustración 2. Diagrama de flujo tipo de mantenimiento .....	14
Ilustración 3. Pantalla DELTA-V.....	16
Ilustración 4. Tablero con CIOC DELTA-V .....	16
Ilustración 5. Espesador de lodos .....	18
Ilustración 6. Pantalla DELTA-V espesador de lodos.....	18
Ilustración 7. Controlador pesometro.....	20
Ilustración 8. Celdas de carga pesometro .....	21
Ilustración 9. Pantalla DELTA-V trituración .....	21
Ilustración 10. Ficha de identificación instrumentos .....	27
Ilustración 11. Hoja de vida instrumentos .....	28
Ilustración 12. Sensor de gases DRAGER polytron8000.....	30
Ilustración 13. Multímetro FLUKE 87V.....	33
Ilustración 14. calibrador de procesos FLUKE 754 .....	36
Ilustración 15. Modulo de presión FLUKE 150P30.....	37
Ilustración 16. Bomba de prueba hidráulica .....	37
Ilustración 17. Pesas patrón pesómetros.....	40
Ilustración 18. Tarjeta interna sistema actual de medición .....	41
Ilustración 19. Instalación sistema de medición de densidad .....	43
Ilustración 20. Sensor de densidad .....	44
Ilustración 21. fuente raduactiva.....	44
Ilustración 22. fuente radioactiva .....	44
Ilustración 23. transmisor de flujo.....	45
Ilustración 24. Tabla pruebas al nivel de lodo espesador .....	46

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo refleja el trabajo ingenieril en la dependencia de mantenimiento en instrumentación y control en la conformación de un departamento de mantenimiento, la planta se recibe por etapas donde en cada una de ellas se hacen inspecciones de montaje, pruebas funcionales de cada uno de los equipos, pruebas en funcionamiento automático (con PLC), recepción y revisión de documentación.

Todas las etapas de planta funcionan de forma automática a excepción de fundición y subprocesos puntuales. Los procesos de planta son: trituración, molienda, flotación, reactivos, CIL (lixiviación), DETOX (destrucción de cianuro), elusión y prensado; existen procesos secundarios: regeneración de carbón, floculante, espesadores (de colas y preleach) y unidades hidráulicas; además de procesos de seguridad como sistema contra incendios (automatizado e independiente).

Para cada instrumento (de seguridad, actuadores, sensores y transmisores) se levanta información de fabricante, proveedor, listado de repuestos, planes y rutinas de mantenimiento, frecuencias de mantenimiento y calibración. Todo esto con el fin de garantizar la disponibilidad de los actuadores, exactitud y confiabilidad en las lecturas de los sensores y transmisores. Todo esto con el fin de dar cumplimiento a los objetivos misionales establecidos desde el departamento de mantenimiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Diseñar el área de instrumentación y control en la dependencia de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento y disponibilidad de todos los activos a cargo del área, garantizando alta viabilidad y disponibilidad de los mismos.

### Objetivos específicos:

- Realizar el levantamiento de la información de toda la instrumentación presente en planta y clasificación de acuerdo al servicio prestado
- Comprender el funcionamiento de toda la instrumentación en planta y como interviene en cada uno de los procesos
- Seleccionar los equipos de laboratorio portables y no portables necesarios para calibraciones, chequeos e intervenciones a los instrumentos
- Diseño e implementación de planes de mantenimiento e intervenciones a la instrumentación presente en planta
- Diseño e implementación de un modelo de análisis causa raíz para la búsqueda de soluciones a fallos donde esté relacionada la dependencia de mantenimiento en instrumentación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

### **Organización del informe:**

Esta tesis está compuesta por 4 etapas, iniciando con un marco teórico en el cual se fundamenta el diseño general del plan de mantenimiento en el área de instrumentación y control en planta, teniendo en cuenta que el sistema de control es marca DELTA-V y la instrumentación es de la casa matriz EMERSON, este diseño parte desde la identificación de los activos hasta la selección de los equipos necesarios para tener unas buenas practicas en mantenimiento. Luego se presenta una metodología de trabajo donde se somete a evaluación y retroalimentación los planes de mantenimiento generando en esta etapa protocolos de intervención homogenizados para cada activo, además de la presentación de 2 casos puntuales, donde en el primero se optimiza y mejora la le señal al control un proceso y en el se identifican fallas de calibración inicial en unos pesometros. Posteriormente se presenta la sesión de resultados y discusión, donde se presentan cada una de las etapas del proyecto y como se desarrollaron. finalmente este trabajo termina con las conclusiones y los trabajos futuros, en los cuales se evaluaron los resultados y los aspectos positivos y negativos que deja el proyecto

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 1. MARCO TEORICO

En esta sección se presentan los conceptos básicos necesarios para comprender los fundamentos teóricos para el diseño del área de instrumentación en el departamento de mantenimiento

### 1.1 Diseño de un plan de mantenimiento

El diseño de un plan de mantenimiento se debe enfocar en 4 conceptos básicos: disponibilidad, fiabilidad, vida útil de los equipos y cumplimiento de un presupuesto establecido. Para dar cumplimiento a estos objetivos, inicialmente se debe identificar cada uno de los activos discriminando por estos ítem: planta, área, equipo, sistema, elementos y componentes. La identificación de cada uno de estos con un código único es importante, donde este debe obedecer a una regla general donde con solo saber este código se sabe que tipo de equipo es, a que zona pertenece y un numeral que le da una identificación única. Luego de la identificación se debe definir que tipo de mantenimiento se le va a aplicar a cada activo. (Garcia, organización y gestion total del mantenimiento, 2010)

Luego de recopilar la información necesaria se debe determinar que modelo se va a adoptar: correctivo, sistemático, condicional o de alta disponibilidad, además de que se debe identificar si hay equipos a los cuales se les debe implementar un modelo de mantenimiento legal que es aplicable a los equipos que están sometidos a regulaciones y normativas por parte de la empresa. (Garcia, 2010).

Es importante determinar la criticidad del equipos, esto se determina bajo criterios de seguridad y medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento, esto se recopila en la siguiente tabla:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
<b>A CRÍTICO</b>	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al Plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto coste de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.		Consumo de una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).	
<b>B IMPORTANTE</b>	Necesita revisiones periódicas (anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al Plan de Producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Coste Medio en Mantenimiento.
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
<b>C PRESCINDIBLE</b>	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo coste de Mantenimiento.

Ilustración 1. Clasificación de equipos

en base a esta clasificación de equipos, se determinan los modelos de mantenimiento a adoptar. (García, 2010)

## 1.2 Modelos de mantenimiento

La selección del modelo de mantenimiento está ligado a recursos económicos, recursos técnicos y recursos humanos, donde cada modelo debe ser seleccionado bajo el criterios de criticidad y demanda de recursos, donde:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Modelo programado: modelo aplicado a los equipos críticos, que posiblemente necesitan mantenimiento legal o mantenimiento subcontratado, puede demandar recursos significativos y de no llevarse a cabo puede generar equipos fuera de servicio por fallas de mantenimiento
- Modelo correctivo: es aplicado a equipos prescindibles y a algunos equipos importantes que económicamente aplicarles un modelo programado no es viable. Probablemente este modelo necesita mantenimiento legal o mantenimiento subcontratad.
- Modelo de alta disponibilidad: este modelo es aplicado a los equipos que permanecen 90% del tiempo en funcionamiento y no pueden fallar, este modelo no acepta reparación de averías y da cabida al mantenimiento predictivo, este demanda alta tecnología de análisis.
- Modelo sistemático: este modelo se aplica a equipos que funcionan 50% del tiempo y a los cuales de les puede programar mantenimientos preventivos debido a que cuando entran en funcionamiento estos no pueden fallar.
- Modelo condicional: este modelo se aplica a los equipos que demandan una disponibilidad baja y por tanto una probabilidad de fallo baja, pero cuando están en operación estos no deben tener problemas de funcionamiento.

Para la clasificación de los activos presentes en planta, se sigue el diagrama de flujo sugerido por el autor

### MODELOS DE MANTENIMIENTO

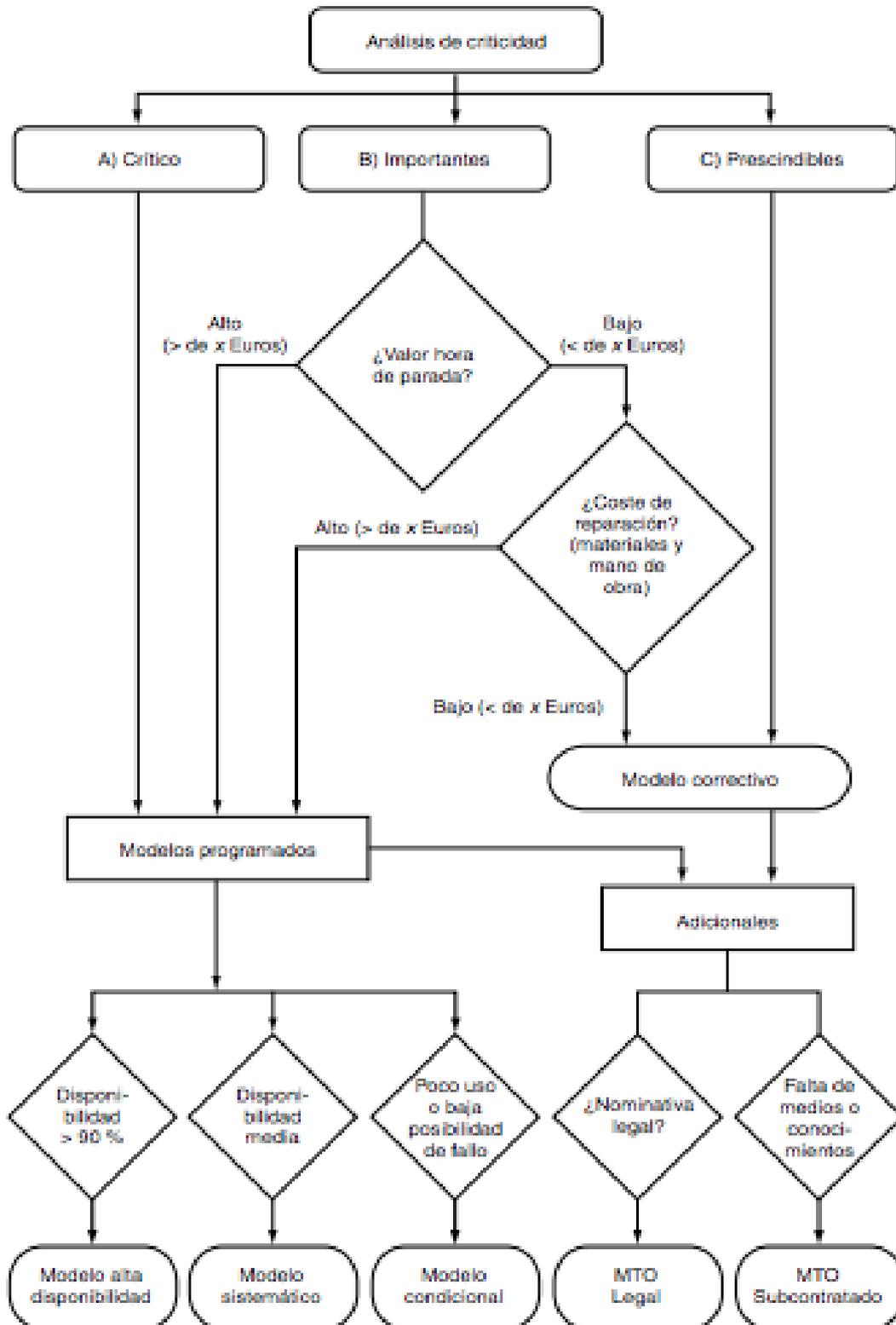


Ilustración 2. Diagrama de flujo tipo de mantenimiento

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

### 1.3 Sistema de control DELTA-V

El sistema de control presente en planta es DELTA-V este sistema de control es basado en comunicación HART para las señales analógicas transformando todas las señales físicas a señales eléctricas de 4mA a 20mA, las señales lógicas ON/OFF las da por pulsos de 24VDC.

Este sistema de control cuenta con una red de comunicaciones de alta velocidad en fibra óptica para centralizar la operación en una sala de control donde se puede operar de forma remota hasta un 85% de la planta. Los CIOC (PLC de campo) tienen unos módulos llamados base plate donde se introducen los terminal block para introducir los charms; los charms son unos módulos que se encargan de procesar la información, es decir, de acuerdo al charm introducido en la base plate se determina si la señal es de entrada o salida, si es digital, RTD, TC o analógica. La virtud de este sistema de control es que al ser modular es lo suficientemente versátil para el proceso. Este sistema de control tiene redundancia en comunicación y CIOC, dando robustez al sistema y minimizando la probabilidad de fallas.

La red de comunicación HART (Highway Addressable Remote Transducer). Este protocolo proporciona una solución para la comunicación de instrumentos inteligentes, compatible con la transmisión analógica en corriente 4-20mA, que permite que la señal analógica y las señales de comunicación digital sean transmitidas simultáneamente sobre el mismo cableado. Mediante este sistema la información de la variable primaria y señal de mando es transmitida mediante la señal analógica de 4-20mA, mientras que la señal digital es utilizada para transmitir otro tipo de información diferente como parámetros del proceso, configuración, calibración e información de diagnóstico del instrumento. (Pinzón, Ferreiro, & Pérez)

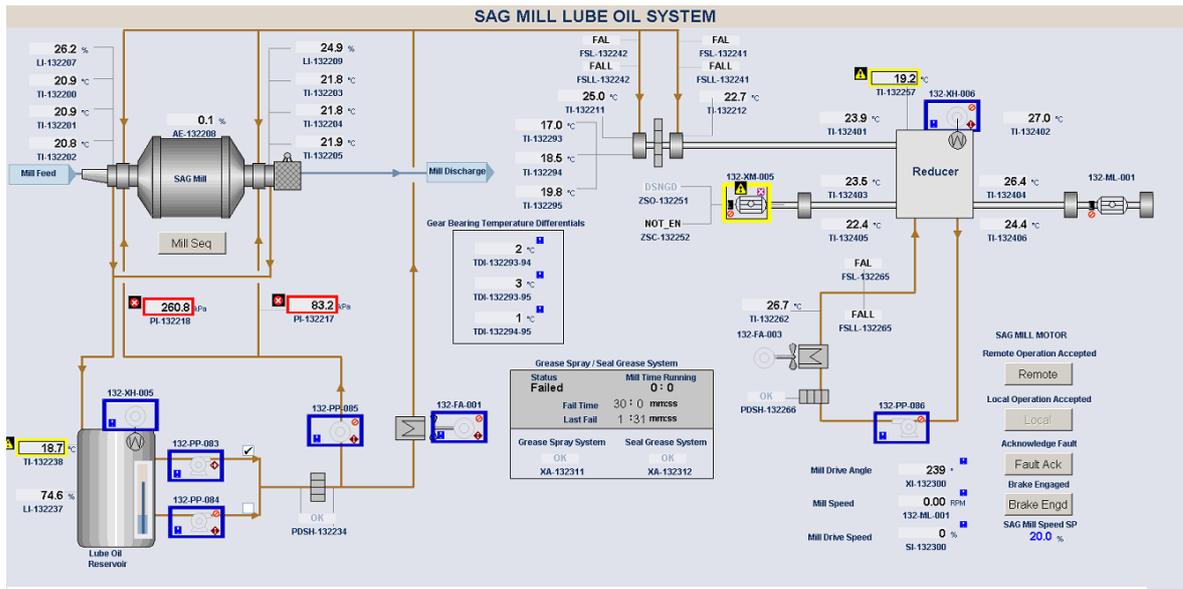


Ilustración 3. Pantalla DELTA-V

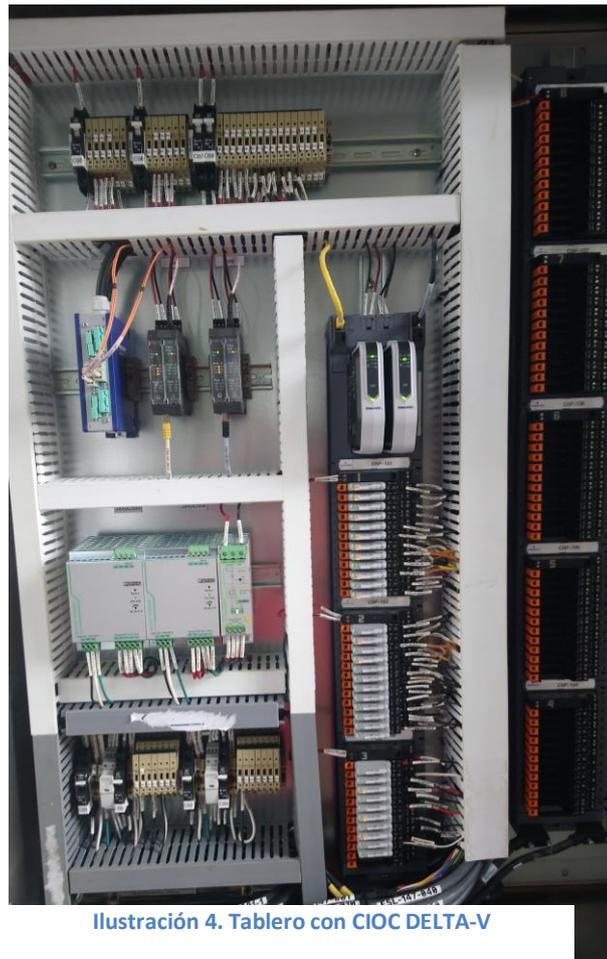


Ilustración 4. Tablero con CIOC DELTA-V

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 1.4 Espesador de relaves

El término sedimentación o espesamiento implica el asentamiento por gravedad de las partículas sólidas suspendidas en un líquido. En el procesamiento de minerales, los espesadores son casi universalmente usados para el espesamiento de relaves, para la recuperación de aguas de proceso y de concentrados previos a su filtración. (Camacho, 2019)

Es muy importante tener un control de la operación, pues los resultados de la operación llevarán a una optimización del proceso, en donde las variables de procesos permitirán alcanzar niveles aceptables tanto en el porcentaje de sólidos y la claridad del agua en el rebose.

Los principales elementos de control del espesador son:

- Torque de Rastras
- Monitoreo del nivel de sólidos
- Presión inventario de sólidos
- Densidad de la descarga Adición de floculante basado en la razón de alimentación,  $T_m/h$  del espesador. (Ames & Lovera, 2012)

En planta hay dos espesadores de relaves, uno rico en minerales y otro pobre en minerales. Ambos tienen el mismo funcionamiento y se hace con el fin de aumentar la densidad por la necesidad en el proceso, para aumentar la densidad se utiliza un reactivo llamado floculante, este aglutina los sólidos en suspensión y por gravedad los lleva al fondo. Este proceso se hace de forma automática y tener un control robusto, como se describió anteriormente, el toque de rastras se toma por el consumo de corriente del motor, el monitoreo de sólidos se hace con una bolla indicadora de nivel, la presión del inventario se ubica al fondo del tanque y se lee con un diferencial de presión y la densidad de descarga se toma con un densitómetro. Estos datos son centralizados en el sistema de control y monitoreados

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

para lograr que sean estables en su operación y sean datos confiables para los cálculos de producción.



Ilustración 5. Espesador de lodos

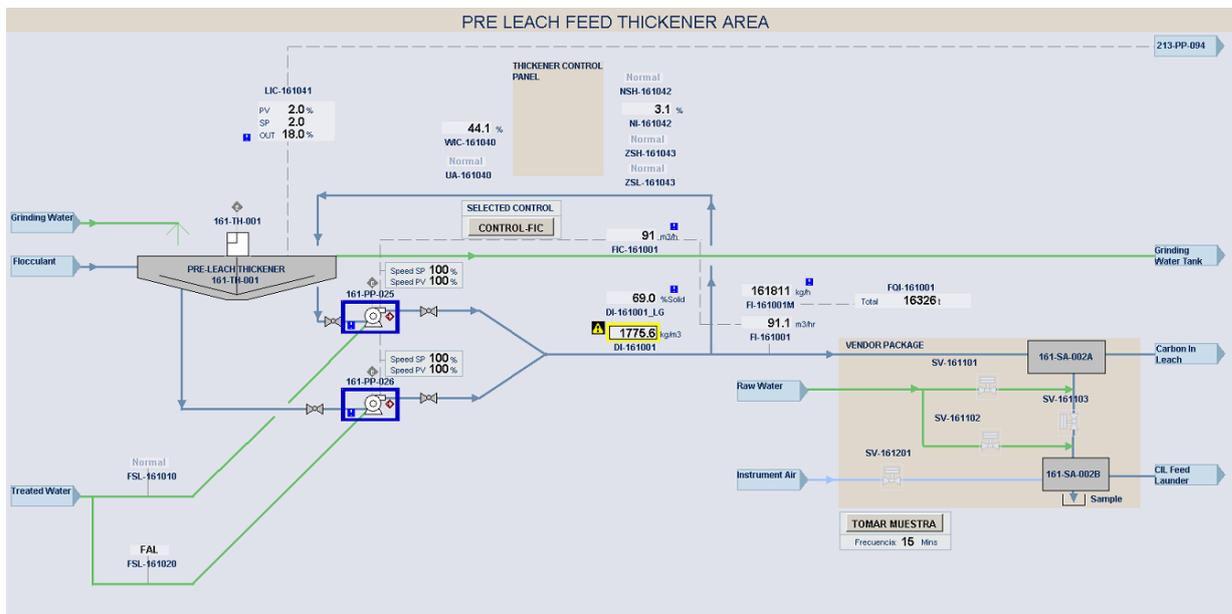


Ilustración 6. Pantalla DELTA-V espesador de lodos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 1.5 Pesómetros

Los pesómetros de planta son utilizados para tener la lectura de toneladas por unidad de tiempo que son molidas y que ingresan a proceso, es decir, la primera es para tener un censo de cuantas toneladas por hora son procesadas y la segunda es para saber cuantas entran a proceso, este dato es la base para los cálculos de proceso.

Los pesómetros están ubicados en un circuito de 3 bandas: la primera tiene el primer pesómetro y transporta desde la trituradora hasta una tolva, de la tolva se bifurcan otras dos bandas, donde una va a un stock, la otra entra directamente a proceso y tiene el otro pesómetro.

El pesómetro es marca SIEMENS referencia MILLTRONICS BW500, cada una tiene dos células de carga, y un sensor de velocidad. Este instrumento cuenta con un protocolo establecido por el fabricante quien solicita una configuración inicial para su buen funcionamiento y recalibración periódica.

Inicialmente para la configuración hay que saber:

- La velocidad de la cinta va a ser constante o variable
- Dimensiones de elementos mecánicos
- Peso patrón
- Longitud de la cinta (banda)
- Distancia entre rodillos de referencia

Luego se inicia con la calibración inicial:

- Balanceo de células de carga

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Calibración de cero inicial
- Calibración de spam
- Pruebas con material

Cada uno de estos pasos está especificado paso a paso en el manual del equipo.  
(SIEMENS, 2007)



Ilustración 7. Controlador pesometro

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



Ilustración 8. Celdas de carga pesometro

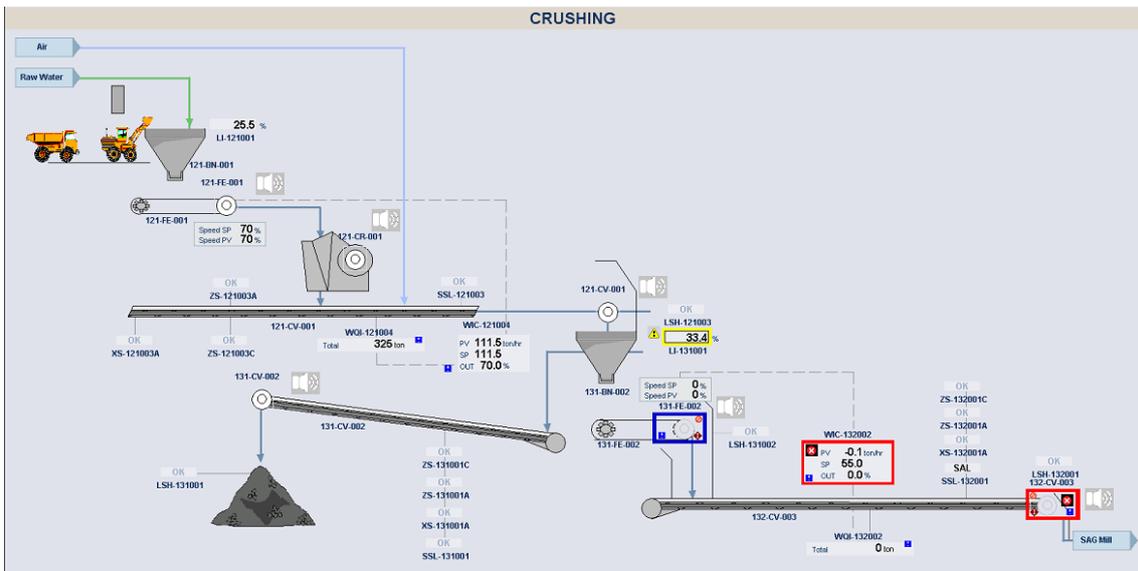


Ilustración 9. Pantalla DELTA-V trituración

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 2. METODOLOGÍA

Esta metodología fue desarrollada en 4 etapas:

### 2.1 Primera etapa:

Para iniciar con el plan de mantenimiento se debía tener un censo con una caracterización de todos los activos a cargo de instrumentación, es así como se identifican transmisores de presión, transmisores de nivel, transmisores de flujo, RTD, transmisores de densidad, pesómetros, válvulas proporcionales, válvulas on/off, switch e presión, compresores de alta presión, quemadores a gas, tableros de control, válvulas de alivio, switch de nivel, sensores de desalineamiento de bandas, sensores de ruptura de banda, sensores de pH, sensores de ORP, sensores de gases, sensores inductivos, un equipo de control de cianuro libre, sensores diferenciales de presión y subprocesos de floculante y regeneración de carbón. Todos estos activos a cargo se clasifican de acuerdo a criticidad, riesgo en salud ocupacional y tipo de servicio. A cada instrumento se le genera una ficha única con tag (identificación), fabricante, referencia, serial, proveedor, descripción del servicio, valores de calibración, rango de calibración, número de documento de procedimiento, número del manual, hoja de vida (intervenciones, fallos, mejoras, calibraciones, cambio de piezas), repuestos mínimos en stock y fotografía.

Se identifican las áreas en planta donde existen riesgos debido a la certeza o posibilidad de presencia de reactivos como cianuro, metabisulfito de sodio, cal, soda caustica, PAX (santato de potasio) o floculante y sulfato de cobre en forma líquida o gaseosa, además de 3 zonas clasificadas por presencia de material radioactivo porque en planta hay 3 sensores de densidad que para su funcionamiento cada uno tiene una fuente radioactiva. Todo esto con el fin de tener los controles necesarios para minimizar total o parcialmente los riesgos.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 2.2 Segunda etapa

Partiendo de la identificación de todos los activos en planta, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y por la clasificación de criticidad, se diseñan los planes de mantenimiento para los equipos, teniendo en cuenta los consumibles requeridos, los equipos necesarios, el conocimiento previo y la disponibilidad para las intervenciones a los equipos.

En esta etapa es donde se selecciona el calibrador de procesos FLUKE 754, modulo de presión FLUKE 750P30 y bomba de presión FLUKE 700HTP-2.

Teniendo ya las herramientas y la caracterización de los equipos se diseñan y se ponen a prueba los protocolos de mantenimiento

## 2.3 Tercera etapa

Se ponen a prueba los protocolos de mantenimiento teniendo buena aceptación y buenos resultados. En los equipos de pesaje de las bandas transportadoras se identifican fallas de lectura con diferencias del 25% de la lectura correcta, se revisa el equipo y se determina que estas están mal configuradas y es necesario configurar desde 0. En planta hay dos espesadores para separar el agua de los lodos de proceso, para operaciones es importante saber cual es el nivel de la cama (sedimento) para la operación, pero el transmisor tiene lecturas poco confiables, para esto se busca diseñar un modelo alternativo para la lectura de esta señal. El analizador de cianuro libre tiene lecturas diferentes a las lecturas hechas en el laboratorio, por este motivo el equipo se somete a revisión.

## 2.4 Cuarta etapa

En esta etapa hay dos temas importantes que tocar:

el primero de ellos es el diseño del plan de mantenimiento de los activos de planta, el buen uso de la información para tener una buena gestión del

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

mantenimiento para lograr una total disponibilidad de los equipos, la implementación de protocolos de seguridad avalados por la dependencia de salud ocupacional para la intervención a quipos en zonas clasificadas, la buena selección de los equipos necesarios para las intervenciones.

La evaluación a la intervención a los pesómetros de las bandas, teniendo como criterio principal la comparación de la lectura del sensor con el material previamente pesado que pasa por ella..

La implementación del nuevo modelo para la lectura del nivel de cama de los espesadores. Esta se evalúa con pruebas realizadas por parte de la dependencia de operaciones.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Diseño del plan de mantenimiento

##### 3.1.1 caracterización de los activos presentes en planta

en planta hay equipos alimentados a 24VDC y 110VAC, sensores on/off, sensores de monitoreo y de control, actuadores proporcionales y on/off. Estos equipos están instalados en diferentes procesos de planta, cada uno de ellos con una clasificación de importancia y de riesgo tanto para quien lo interviene como para la integridad de el mismo. También hay subprocesos como cadera de elusión, horno de regeneración de carbón, floculante, crisol de fundición y engrase molino. todos estos activos tienen unas exigencias técnicas y económicas que deben ser tenidas en cuenta, que deben ser documentadas, por eso cada uno tiene una ficha técnica con hoja de vida.

Esta ficha es de suma importancia, porque, al inicio de cada ciclo de producción (anual, semestral o trimestral) se debe hacer un presupuesto por parte de mantenimiento, acudiendo a estas fichas y corroborando en el stock de repuestos, se tiene la demanda mínima por cada equipo. En la parte técnica con las fichas se tiene una evolución de cada activo, cuantas intervenciones, cada cuanto se interviene el equipo, fallas registradas, motivo de la falla, posibilidades de mejoras y con estos datos se ajustan las rutinas de mantenimiento de acuerdo a las exigencias presentadas por el comportamiento en el tiempo.

Por este motivo, cada ficha tiene:

- Foto del equipo
- Tag del equipo
- Fabricante
- Referencia
- Serial
- Tipo de comunicación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Clasificación de criticidad
- Tipo de mantenimiento
- Rango del equipo
- Rango de calibración
- Zona
- Clasificación de seguridad
- Herramienta requerida
- Equipos requeridos
- Consumibles del equipo
- Repuestos del equipo
- Descripción de funcionamiento del equipo
- Descripción de funcionamiento del proceso
- Numero documento o hipervínculo a manual de fabricante
- Numero documento o hipervínculo a procedimiento intervención
- Historial con registro de falla: fecha, duración de equipo en falla, responsable de la falla (operación, mantenimiento, falla humana), consumo (repuesto, consumible)
- Historial de intervenciones: calibraciones, preventivos, correctivos

Para esto se diseña una ficha técnica para instrumentos, transmisores y sensores que se evidencia en la ilustración 10, para los subprocesos se genera un desglose del equipo, aplicando la anterior ficha y agregando una descripción completa del subproceso.

Ficha de identificación

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

ficha de identificación							
servicio	foto						
tag							
fabricante							
referencia							
serial							
tipo de comunicación							
criticidad							
<b>ubicación</b>							
zona							
seguridad							
tipo de mantenimiento			calibración				
correctivo	subcontrato		unidad				
condicional	preventivo		rango del equipo	min		máx	
sistemático	correctivo		rango de calibración	min		máx	
alta disponibilidad	inspección						
legal	otro						
planeación							
equipos			herramientas				
consumibles			repuestos				
funcionamiento del equipo:							
funcionamiento del proceso:							
documentación							
manual fabricante							
procedimiento							

Ilustración 10. Ficha de identificación instrumentos



	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

Estos están ubicados en zonas debidamente señalizadas y el personal está capacitado e informado sobre los riesgos y las medidas que se deben tomar para la intervención de estos, es así como se determinan estas medidas:

- Para inspecciones de equipos con/sin contacto con fluidos no peligrosos  
CLASIFICACIÓN A0: guantes de precisión
- Para inspecciones sin contacto con los fluidos peligrosos CLASIFICACIÓN A1: full fase con filtros de gases y polvo, guantes de precisión
- Para inspecciones con contacto con fluidos peligrosos CLASIFICACIÓN A2: fullface con filtros de gases y polvo, traje anti fluidos, guantes de nitrilo

En planta hay 3 instrumentos medidores de densidad que para su funcionamiento requiere una fuente radioactiva, por este motivo existe una zona con riesgo nuclear, por tanto, las zonas están debidamente señalizadas, con acceso restringido y para poder acceder a estos sectores de planta se debe contar con la autorización del área de seguridad. Antes de este permiso el oficial de bloqueo de energías peligrosas que para este caso es de riesgo biológico hace un sondeo con un intensímetro (medidor de campo radiactivo) antes y después de cerrar la compuerta que da paso al as que se dirige al sensor del instrumento, en el momento en el que no es peligroso ingresar al área se autoriza el trabajo. Esta clasificación es BIOLÓGICO.

A la par de estas clasificaciones están: ALTURAS (1.5m sean hacia arriba o hacia abajo), ATRAPAMIENTO (en equipos en movimiento), GAS (presencia de gas cianídrico) y ALTA TEMPERATURA (zonas con temperaturas superiores a 35°C)

Para la seguridad en las zonas con riesgo de gases hay sensores de gas cianhídrico marca DRAGER con alarma visual y sonora

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



Ilustración 12. Sensor de gases  
DRAGER polytron8000

## 3.2 Indicadores de gestión de mantenimiento

Para el procesamiento del mineral es muy importante tener lecturas claras en las mediciones y disponibilidad total de los instrumentos, estos deben ser medidos bajo diferentes indicadores para que en el proceso administrativo se tomen decisiones acordes para mitigar las fallas. Estas pueden ser operativas, administrativas, humanas, técnicas o tecnológicas, por esto los indicadores de gestión se dividen en:

### 3.2.1 Indicadores técnicos

- $tiempo\ de\ intervención = \frac{tiempo\ empleado}{tiempo\ trazado}$
- $ordenes\ de\ trabajo = \frac{ordenes\ ejecutadas}{ordenes\ asignadas}$
- $equipos\ intervenidos = \frac{equipos\ intervenidos}{llamados\ para\ intervenciones}$
- reincidencia en las fallas en los equipos intervenidos por cada técnico
- identificación de focos de falla en los estudios de caso

### 3.2.2 indicadores mantenimiento

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- $intervenciones\ correctivas = \frac{cantidad\ equipos\ intervenidos}{cantidad\ de\ equipos}$
- $intervenciones\ preventivas = \frac{cantidad\ equipos\ intervenidos}{cantidad\ de\ equipos}$
- $calibraciones = \frac{calibraciones\ realizadas}{calibraciones\ planeadas}$
- $fallas\ por\ mantenimiento = \frac{fallas\ por\ mantenimiento}{total\ de\ fallas}$
- $tiempo\ de\ paro\ por\ mantenimiento = \frac{tiempo\ de\ paro\ por\ mantenimiento}{total\ tiempo\ de\ paro}$
- $equipos\ fuera\ de\ servicio\ por\ mantenimiento = \frac{equipos\ por\ fuera\ de\ servicio}{total\ equipos}$
- $equipos\ fuera\ de\ servicio\ por\ repuestos = \frac{equipos\ por\ fuera\ de\ servicio}{cantidad\ de\ equipos}$

### 3.3 Selección de equipos de calibración, chequeo y medición

#### 3.3.1 Multímetro con RMS de precisión

el multímetro es el equipo de medición básico para el área de instrumentación, este debe cumplir unos requerimientos mínimos para que pueda cubrir las exigencias. Este debe tener una lectura real y precisa y de alta resistencia por el uso en campo. Por estos motivos se elige el multímetro FLUKE 87V que tiene estas características

- Función única para mediciones precisas de voltaje y frecuencia en variadores de velocidad de motores ajustables y otros equipos eléctricamente ruidosos
- El termómetro incorporado le permite tomar lecturas de temperatura sin tener que llevar un instrumento separado
- Colgador magnético opcional para facilitar la configuración y visualización mientras liberas tus manos para otras tareas
- La pantalla de gran tamaño con brillante retroiluminación de dos niveles hace que el 87V sea mucho más fácil de leer que los modelos anteriores
- True RMS AC voltaje y corriente para mediciones precisas en señales no lineales

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Filtro seleccionable para mediciones precisas de voltaje y frecuencia en unidades de motor
- 0.05% de precisión de CC
- 6000 recuentos, 3-3 / 4 dígitos
- Modo de 4-1 / 2 dígitos para mediciones precisas (20,000 cuentas)
- Mida hasta 1000 VCA y CC
- Mida hasta 10 A, 20 A por hasta 30 segundos
- El termómetro incorporado le permite llevar una herramienta menos (sonda TC incluida)
- Frecuencia a 200 kHz y% ciclo de trabajo
- Resistencia, continuidad y prueba de diodo
- Rango de capacitancia de 10,000  $\mu$ F para componentes y tapas de motores
- Grabación mínima / máxima promedio con alerta mínima / máxima para capturar variaciones automáticamente
- Captura máxima para registrar transitorios tan rápido como 250  $\mu$ s
- Modo relativo para eliminar la interferencia del cable de prueba desde mediciones de bajo ohmio
- Alcance automático y manual para una máxima flexibilidad
- Toque Mantener para capturar lecturas estables y evitar las señales ruidosas
- Grandes dígitos de pantalla y retroiluminación blanca brillante de dos niveles para una mayor visibilidad
- Bargraph analógico para señales de cambio rápido o inestables
- Input Alert proporciona una advertencia audible contra el uso incorrecto de los jacks de entrada
- Modo de suspensión seleccionable mejorado para una batería de larga duración
- Puerta de acceso para cambios rápidos de batería sin romper el sello de calibración
- Diseño "clásico" con nueva funda extraíble con cable de prueba integrado y almacenamiento de sonda
- Garantía de por vida (FLUKE, 2015)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



**Ilustración 13. Multímetro FLUKE 87V**

Gracias a estas características, las mediciones en los instrumentos, equipos y tableros es mas confiable, se minimiza el porcentaje de incertidumbre, gracias a sus accesorios y a su diseño para exteriores es cómodo para actividades cotidianas. de calibración, inspección y mantenimiento.

### 3.3.2 calibrador de procesos

un calibrador de procesos es una herramienta que minimiza el tiempo de intervención a los equipos, que por la demanda de disponibilidad de los equipos es una variable critica, además de que este debe servir para:

- detectar fallas en el cableado se debe simular la señal, por tanto el equipo debe tener una fuente de corriente y voltaje o un simulador de señales analógicas.
- simular y medir señales de RTD y TC porque hay una caldera y dos quemadores dentro de los activos a cargo del área
- Comunicar por HART para inspeccionar y modificar datos básicos de los transmisores y sensores
- Ser fuente de alimentación para aislar equipos en campo para revisiones rápidas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Contar con modulo de presión (modulo adicional) para hacer pruebas en campo o laboratorio a los sensores de presión y calibración de los mismos
- Compatible con paquetes de mantenimiento (para ser utilizado a futuro)

Por estos requerimientos básicos identificados gracias a la caracterización, se selecciona el calibrador de procesos FLUKE 754 por tener las siguientes características:

- Medición de tensión, mA, RTD, termopares, frecuencia y resistencia para realizar pruebas de sensores, transmisores y otros instrumentos.
- Generación y simulación de voltios, mA, termopares, RTD, frecuencia, ohmios y presión para calibrar los transmisores.
- Alimentación de los transmisores mediante una fuente de alimentación de bucle durante las pruebas con mediciones de mA simultáneas.
- Mide/genera presión utilizando cualquiera de los 29 módulos de presión FLUKE 700Pxx.
- Crea y ejecuta procedimientos de detección automáticos para cumplir programas o normas de calidad. Registra y documenta resultados.
- Almacena procedimientos y resultados de calibración descargados de toda una semana.
- Utiliza muchas funciones como incremento automático, unidades personalizadas, valores introducidos por el usuario durante la prueba, medición de interruptores de fin de carrera de uno o dos puntos pruebas de flujo de los dispositivos de relación cuadrática, retraso programable de medición, etc.
- Fácil de usar
- Garantía de tres años
- Pantalla doble de color blanca brillante. Lee simultáneamente los parámetros de fuente y medición.
- Interfaz multilingüe
- Batería de Li-ion recargable de hasta 10 horas de uso ininterrumpido. Incluye indicador de carga de batería.
- Soporta transmisores RTD de impulso rápido y PLC, con impulsos de tan sólo 1ms.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Incluye software de demostración DPC/Track.
- Compatible con muchos paquetes de software de gestión de mantenimiento.

el modulo de comunicación HART en el FLUKE 754 está diseñado para realizar casi todas las tareas diarias que ahora realiza con un comunicador independiente. De hecho, ofrece las funciones de comunicación del comunicador HART 375.

- No necesita una caja externa ni instrumentos complementarios para la calibración y mantenimiento diario de instrumentos HART.
- Ofrece una comunicación rápida con instrumentos HART.
- Es compatible con los modelos más populares de transmisores HART, con más compatibilidad con instrucciones específicas que cualquier otro calibrador de campo HART.
- Funciona con varias configuraciones principales, modalidad de ráfagas y multipunto.
- Fácil de actualizar, añadiendo instrumentos adicionales y nuevas versiones de HART.
- Hace preguntas para determinar el tipo de dispositivo, fabricante, modelo e identificación.
- Reconfigura la aplicación del sensor de los transmisores de temperatura de los sensores dobles.
- Lee la función PV de HART y la salida digital de un transmisor inteligente mientras mide una salida de mA analógica.
- Lee y escribe funciones de configuración HART para realizar ajustes sobre el terreno de puntos de intervalo de PV, amortiguación y otros ajustes de configuración de nivel superior.
- Vuelve a etiquetar los transmisores inteligentes leyendo y escribiendo a los campos de etiqueta HART. (FLUKE, 2011)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



Ilustración 14. calibrador de procesos FLUKE 754

### 3.3.3 modulo de presión y bomba de presión

en planta el 25% de los transmisores miden variables físicas de presión, por este motivo es importante contar con herramientas de precisión para este tipo de equipos. La bomba debe ser manual y de capacidades por lo menos 15% más que las presiones mas altas de planta, es decir 25MPa, el modulo debe cumplir con el mismo rango de presión y debe ser compatible con el calibrador de presión FLUKE 754, es así como se elijen:

- modulo de alta presión FLUKE 750P30: modulo con capacidad de 36MPa, compatible con el calibrador de procesos. (FLUKE, 2013)
- bomba de prueba hidráulica 700HTP-2: bomba manual con capacidad de 69 MPa

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



Ilustración 15. Modulo de presión FLUKE 150P30



Ilustración 16. Bomba de prueba hidráulica

### 3.4 Validación de manuales operativos y requerimientos para mejorar las inspecciones e intervenciones a los activos.

La validación de los manuales operativos se nutre con cada intervención a los activos, porque para llegar a un establecimiento de estos como directriz debe ser aprobado por los técnicos encargados de realizar las actividades, en estos documentos se utiliza la información presente en las fichas de identificación de cada equipo y a medida que el equipo tiene cambios, estos manuales también los tienen.

Dentro de estos manuales operativos es importante el registro a solución de problemas previos y esta parte va de la mano con el historial de fallas e

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

intervenciones. Por estos motivos los manuales operativos tienen los siguientes apartes:

- Precauciones de limpieza
- Inspección: partes del equipo que deben ser chequeadas
- Calibración: revisión de la calibración y corroboración de las señales
- Validación: comentarios de modificaciones o mejoras al procedimiento
- Oportunidades de mejora: comentarios sobre instalación o mejoras para optimizar el funcionamiento
- Solución de fallos: historial de fallas puntuales identificadas y como fueron solucionadas
- Análisis de fallo: formato implementado para ser diligenciado y ser utilizado como herramienta para identificación de focos de falla

Estos ítems son importantes porque así se profundiza el conocimiento de los equipos, además de que el equipo de mantenimiento es participe del diseño de toda la documentación técnica de la compañía. De esta manera también se retroalimenta el equipo de trabajo y aumenta el interés de todos por lograr las metas trazadas desde el departamento. Por parte de la gerencia de mantenimiento, se toman decisiones de posibles oportunidades de mejora y se programan capacitaciones acordes al nivel técnico requerido en planta.

Estas validaciones se hacen de forma verbal (informal) y escrita (formal), con reuniones periódicas se validan los procesos establecidos y se somete a evaluación las mejoras dispuestas al periodo en curso. De esta manera el personal está al tanto de la información, se responde a dudas y de ser necesario se capacita, previo a cada actividad (3 días como mínimo) se entrega la información técnica (planos y manuales) a cada integrante para su estudio.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 3.5 Casos de análisis

### 3.5.1 Pesometros

los dos pesometros (ficha de identificación en anexo 2) instalados en el circuito de bandas de distribución presentaban fallas en la lectura con una desviación de aproximadamente 15 toneladas hora, esa desviación representa incertidumbres para los cálculos de producción. Al entrar a analizar la documentación suministrada en la entrega el equipo luego del montaje de planta, no se encuentran registros de configuración inicial ni configuración inicial. Por esto se hace una configuración desde 0 para garantizar que las desviaciones no son por mala configuración inicial.

Paso a paso:

- P001 selección de idioma ESPAÑOL
- P002 selección de peso patrón (cadena, pesas) PESAS
- P003 cantidad de células de carga 2
- P004 selección de unidades (imperial, métrico)
- P005 selección de unidades para caudal de referencia
- P008 fecha
- P009 hora
- P011 Caudal de referencia (introducir por teclado)
- P014 velocidad de referencia (introducir por teclado)
- P690-01 constante de velocidad (calculada, datos de sensor)
- P691-01 diámetro de la polea motriz
- P69201 impulsos de rotación del sensor de velocidad
- P016 longitud de la cinta
- P017 introducir carga patrón (kg/m)
- P690 separación entre rodillos
- P698 inclinación de banda

Luego de tomar todas las medidas solicitadas para la configuración inicial, se inicia con el equilibrado de células con el siguiente paso a paso

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Levantar la banda dejando libre el pesometro
- P295 selecciona las células de carga a equilibrar
- Se pone pesa en célula B
- Se pone pesa en célula A
- Se finaliza el proceso

La calibración del 0 y del SPAN tiene dos condiciones, primero el pesometro y la banda deben estar limpios, la banda para la calibración debe correr en vacío durante aproximadamente 5 minutos o 2 vueltas completas. Se hace calibración rutinaria



Ilustración 17. Pesas patrón pesómetros

### 3.5.2 Espesadores

En planta hay dos espesadores con el mismo sistema de control, estos tienen:

- Un sensor de densidad marca Berthold y una fuente radioactiva
- Un transmisor de presión (ficha de identificación en anexo 1) para tener una lectura de másico, esta medida es porcentual y es determinada por calibración del equipo
- Un sensor de nivel de cama de sedimentos que es una bolla con un imán que se desplaza por un tubo que al interior tiene unos switch sensibles a cambios magnéticos, al variar el nivel cierran y cambia un valor en ohm que luego es convertido a una señal analógica.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

Estas variables son para controlar el flujo al que es introducido al sistema el lodo y el nivel de las rastras mezcladoras del tanque.

Problemas de la tarjeta de la bolla de nivel

- La tarjeta es propensa a fallas, en su hoja de vida lleva una reparación y un reemplazo de esta
- En la bolla se introduce lodo con una densidad específica, entonces si hay una densidad menor a la que esta tiene en su interior va a dar una mala lectura. Por este motivo este sistema de medición de nivel de cama es ineficiente



**Ilustración 18. Tarjeta interna sistema actual de medición**

Se propone hacer una modificación en el sistema de control partiendo de las siguientes consideraciones

- La presión en el lugar donde está ubicado el transmisor de presión para medir el másico se puede calcular bajo la fórmula de presión hidrostática

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- En el tanque hay dos fluidos donde el agua pasa por rebose a otro tanque y el lodo es bombeado al siguiente proceso. Para que el lodo no se sedimente es agitado por unas rastras con control de altura y el torque es monitoreado con un diferencial de presión en el aceite hidráulico donde a mayor presión mayor densidad
- El nivel de las rastras es controlado por el nivel de la cama

Teniendo en cuenta estas consideraciones se sugiere calcular el nivel de la cama ya que las variables con la formula de presión hidrostática están presentes en el control, de esta manera se minimiza la incertidumbre en el nivel de cama.

Planteamiento matemático :

$$P = \rho gh + P_0$$

*como  $P_0 = 0$  porque el tanque es atmosferico*

$$P = \rho gh$$

*como el tanque tiene agua y lodo la formula es:*

$$P = \rho_a g h_a + \rho_l g h_l \dots \dots \dots (1)$$

$$h_t = h_a + h_l \dots \dots \dots (2)$$

*donde:*

$\rho_a$  = densidad del agua

$h_a$  = altura del agua

$\rho_l$  = densidad del lodo

$h_l$  = altura del lodo

$h_t$  = altura del tanque

$P$  = presión

*despejando de 2  $h_a$*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

$$h_a = h_t - h_l \dots \dots \dots (3)$$

$$P = g(\rho_a h_a + \rho_l h_l)$$

$$\frac{P}{g} = \rho_a h_a + \rho_l h_l \dots \dots \dots (4)$$

reemplazando 3 en 4

$$\frac{P}{g} = \rho_a (h_t - h_l) + \rho_l h_l$$

despejando  $h_l$

$$h_l = \frac{\frac{P}{g} - \rho_a h_t}{\rho_l - \rho_a}$$

donde la densidad del agua, la altura del tanque y la gravedad son conocidas. La presión es leída por el sensor diferencial de presión, y la densidad del lodo es leída por el densitómetro.

Esta formula es introducida en el sistema de control y tomando un mínimo (tanque lleno de agua) y un máximo (determinado por la carga máxima determinada por diseño) para tener una lectura porcentual.



Ilustración 19. Instalación sistema de medición de densidad

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



Ilustración 20. Sensor de densidad



Ilustración 21. fuente raduactiva



Ilustración 22. fuente radioactiva

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01



Ilustración 23. transmisor de flujo

### 3.6 validación de casos particulares

#### 3.6.1 Pesometros

para la validación se taran 3 volquetas y se deja pasar una a la vez por las dos bandas comprobando el registro cada que termina, se minimiza el error en el pesometro 1 a 1tonelada y en la banda 3 a 2 toneladas, estas desviaciones son ajustables en el parámetro P598 introduciendo el porcentaje de error.

Se hacen pruebas durante una semana con una tara diaria y el equipo responde positivamente, teniendo un error imperceptible por la resolución del equipo.

#### 3.6.2 Espesadores

se hacen pruebas de la modificación del sistema, se hacen:

- Comparaciones del nivel indicado por la modificación y el nivel indicado por la bolla. Se determina que hay una diferencia grande entre ambas lecturas.
- Se cambia el control del nivel de rastras, poniendo como señal el nivel de la modificación

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

- Se revisa el historial del comportamiento de la densidad con este control y presenta una mayor estabilidad
- El comportamiento del nivel de rastras presenta una mejora en cuanto a su menor variabilidad ya que los cambios abruptos de lectura del nivel de cama desaparecen

Se hacen pruebas inicialmente con el tanque lleno de agua y agregando lodo con una densidad conocida siguiendo el proceso normalmente (agregando floculante) arrojando los siguientes datos:

	1	2	3	4	5
<b>altura estimada</b>	0%	25%	50%	75%	100%
<b>altura modificación</b>	2%	23%	53%	76%	98%
<b>altura sensor</b>	0%	18%	43%	60%	78%

Ilustración 24. Tabla pruebas al nivel de lodo espesador

Donde la altura estimada es tomando una muestra del lodo para medir su densidad, la presión se toma con el modulo de presión FLUKE.

concluyendo que con la modificación hay una lectura mas viable para el proceso.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 4.1 Conclusiones:

Con el desarrollo de este trabajo, se entendió la importancia de la documentación en la etapa de arranque de un departamento de mantenimiento, porque en base a la caracterización de los activos se dimensionan las necesidades económicas, técnicas y humanas que requiere el área para prestar un servicio acorde a las demandas identificadas

Se entendió la importancia de la gestión documental, estos documentos son importantes para que a futuro con las hojas de vida de cada instrumento se pueden entender los motivos de fallas, averías y posibilidades de mejora, además de que es información importante para modelos de mantenimiento a implementar a futuro.

El conocimiento de los equipos a fondo es importante porque en caso de fallas de funcionamiento, como en el caso de los pesómetros, la lectura de los manuales y la comprensión del principio de funcionamiento determinó la solución al inconveniente presentado, puntualmente fallas de lectura que para costos de proceso determinaban pérdidas tangibles tanto en consumibles (reactivos) como en el producto final (cantidad de mineral por tonelada esperado)

El modelado matemático de los procesos y el conocimiento de los fundamentos físicos presentes en los procesos es una buena herramienta a la hora de analizar posibles mejoras, en el caso puntual de los espesadores de colas determinó la optimización de un proceso, dio confiabilidad a la lectura del nivel de lodos en el espesador y minimizó los gastos por parte del área de mantenimiento porque ya no es necesario mantener en stock los sensores que anteriormente medían esta variable de proceso.

Industrialmente el tiempo es un factor de medida de la eficiencia para mantenimiento, por este motivo al realizar procedimientos estandarizados se minimiza la variabilidad en las rutinas de intervención y se abre la puerta a la participación colectiva del grupo de trabajo, fortaleciendo la calidad técnica y mejorando las relaciones interpersonales al integrar al grupo a los procesos documentales del área, que para este caso es mantenimiento en instrumentación.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 4.2 Trabajos futuros:

A futuro el área de mantenimiento en instrumentación y control tiene mucho trabajo por realizar, se deben diseñar planes de mantenimiento basados en TPM y 5s. Se deben implementar metodologías para análisis causa raíz, se debe fortalecer el sistema de gestión de la información con ordenes de trabajo, manejo de indicadores, archivos técnicos y de mantenimiento. Implementar una mesa de proyectos para el análisis de planes de mejora e implementar el proceso de auditorias internas para la evaluación del departamento de mantenimiento por completo.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 5 ANEXOS

### 5.1 Anexo 1 “ficha de identificación transmisor de presión”

ficha de identificación								
servicio	Transmisor de presión							
tag	WIC-147040							
fabricante	ROSEMOUNT							
referencia	3051L2AA4AD21AAK6Q4							
serial	2502547							
tipo de comunicación	HART							
criticidad	IMPORTANTE							
ubicación								
zona	espesador							
seguridad	A0							
tipo de mantenimiento				calibración				
correctivo		subcontrato		unidad	Kpa			
condicional		preventivo		rango del equipo	min	0	máx	1960
sistemático		correctivo		rango de calibración	min	36.6	máx	53.7
alta disponibilidad	x	inspección						
legal		otro						
planeación								
equipos				herramientas				
multímetro, calibrador de procesos, módulo de presión, bomba de presión.				destornilladores				
consumibles				repuestos				
limpiador de contactos electrónico, lubricante penetrante, limpiador inoxidable				tornillos, prensa estopa				
<p>funcionamiento del equipo: el equipo está instalado en la parte baja del tanque y mide la presión en el tanque, donde la calibración mínima significa el tanque lleno de agua y la máxima significa que el tanque tiene la capacidad máxima de todo, estos puntos se ajustan de un 0% a un 100%</p>								
<p>funcionamiento del proceso: el equipo mide por un diferencial de presión el nivel de la cama en el espesador, este está en un lazo de control para regular la velocidad de las bombas, la altura de las trasas informales de operaciones sobre la cantidad de lo hay en porcentaje</p>								
documentación								
manual fabricante	Manual_Presion_1							
procedimiento	Procedimiento_Presion_1							

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 5.2 Anexo 2 “ficha de identificación pesometro”

ficha de identificación			
servicio	PESOMETRO		
tag	WQIT-132002		
fabricante	SIEMENS		
referencia	MILLTRONICS BW500		
serial	Z004205		
tipo de comunicación	HART		
criticidad	IMPORTANTE		
ubicación			
zona	trituration		
seguridad	A0		
tipo de mantenimiento		calibración	
correctivo	subcontrato	unidad	TON/h
condicional	preventivo	rango del equipo	min N/A máx N/A
sistemático	correctivo	rango de calibración	min N/A máx N/A
alta disponibilidad	x inspección		
legal	otro		
planeación			
equipos		herramientas	
multímetro		destornilladores, pesas patrón	
consumibles		repuestos	
limpiador de contactos		celulas de carga	
<p>funcionamiento del equipo: el peso que pasa por las celulas de carga que previamente están equilibradas, se procesa la información en el transmisor donde los datos de lectura de la velocidad de la banda, el peso sentido por unidad de tiempo y los datos previamente ingresados, el transmisor envía una señal vía HART de las toneladas por hora sensadas.</p>			
<p>funcionamiento del proceso: estas bandas distribuyen el material triturado al proceso de stock pile, los pesómetros son para llevar un inventario sobre la cantidad de material que se recibe</p>			
documentación			
manual fabricante	Manual_Pesometro_1		
procedimiento	Procedimiento_Pesometro_1		

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

### 5.3 Anexo 3 “ficha de identificación densitómetro”

ficha de identificación							
servicio	DENSITOMETRO						
tag							
fabricante	BERTHOLD						
referencia	B414-1A-00-12-01-0000						
serial	56927-c02236						
tipo de comunicación	HART						
criticidad	IMPORTANTE						
ubicación							
zona	ESPESADOR						
seguridad	RADIACIÓN						
tipo de mantenimiento				calibración			
correctivo		subcontrato		unidad	Kg/m3		
condicional		preventivo		rango del equipo	min		máx
sistemático		correctivo		rango de calibración	min	1	máx 1.8
alta disponibilidad	X	inspección					
legal		otro					
planeación							
equipos				herramientas			
intensímetro				destornillador			
consumibles				repuestos			
limpiador de contactos				tornillos con tuerca, base			
<p>funcionamiento del equipo: Este equipo lee la densidad que pasa por el tubo de conducción de la pulpa al siguiente proceso, se funciona con un reactor nuclear instalado al final del tubo que tiene un haz radioactivo apuntado al reactor del transmisor que está al otro lado del tubo.</p>							
<p>funcionamiento del proceso: La medida de esta variable es importante para el proceso porque de esta depende la calidad del siguiente proceso ya que en base a esta se lleva a cabo el cálculo de producción</p>							
documentación							
manual fabricante	Manual_Densitometro_1						
procedimiento	Procedimiento_dencitometro_1						

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

### 5.4 Anexo 4 “ficha de identificación sensor de gases”

ficha de identificación							
servicio	SENSOR GASES						
tag	AI-211001						
fabricante	DRAGER						
referencia	POLYTRON 3000						
serial	ERHN-0341						
tipo de comunicación	HART						
criticidad	IMPORTANTE						
ubicación							
zona	CIL. REACTIVOS						
seguridad	A0						
tipo de mantenimiento				calibración			
correctivo		subcontrato		unidad	PPM		
condicional		preventivo		rango del equipo	min		máx
sistemático		correctivo		rango de calibración	min	0	máx 10
alta disponibilidad	X	inspección					
legal		otro					
planeación							
equipos				herramientas			
pipetas gases patron: 10 PPM y 10 PPM, calibrador de procesos				destornillador			
consumibles				repuestos			
gases patron				alarma sonora, alarma visual, sensor			
<p>funcionamiento del equipo: este equipo tiene un sensor de gases en la parte inferior, el sensor mide la calidad del aire y determina cuantas partes por millón hay de los gases en el cual se calibra el ppm, que para este caso es de gases cianídrico.</p>							
<p>funcionamiento del proceso: este equipo es de seguridad, por tanto está en procesos sencillos donde permanece y circula personal constantemente por tanto estas zonas deben tener un monitoreo constante. Consta de un sensor, una alarma sonora y una alarma visual, además el este sensor tiene lazo de sistema de control</p>							
documentación							
manual fabricante	Manual_SensorGases_1						
procedimiento	Procedimiento_SensorGases_1						

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

## 6 Bibliografía

SIEMENS. (2007). manual de usuario MILTRONICS BW500.

FLUKE. (2015). 87V EX True-RMS Multimeter manual de uso. USA.

FLUKE. (Julio de 2011). 753/754 Documenting Process Calibrator Manual de Uso.

FLUKE. (Diciembre de 2013). 750P/750R Pressure Modules Hoja de instrucciones.

Pinzón, A., Ferreiro, R., & Pérez, F. (s.f.). Tecnologías Actuales de Comunicación de las Variables de Campo de la Industria de Procesos. *Universidad de A Coruña* .

Camacho, E. (2019). diseño de un espesador para concentrado de cobre de 1.78T/h.

Ames, C., & Lovera, D. (2012). *control de variables en el espesador de cono profundo en la recuperación de relaves altamente fluibles*. UNMSM.

Cárcel, J. (Diciembre de 2014). La trascendencia del conocimiento tácito de los operarios de oficio de mantenimiento. *Técnica industrial*.

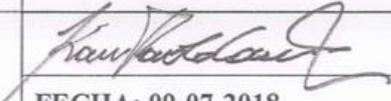
García, S. (2010). Organización y Gestion del Mantenimiento. (19-23).

García, S. (2010). organización y gestion total del mantenimiento. (8-17).

Cárcel, J., & Roldán, C. (20 de Mayo de 2013). Los métodos de investigación cualitativa enfocados al mantenimiento industrial. *Técnica industrial*.

Rey, F. (Diciembre de 2014). Elaboración t optimización de un plan de mantenimiento preventivo. *Técnica industrial*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-08-01

CONCEPTO DEL JURADO EVALUADOR				
Concepto inicial sobre el trabajo de grado				
Aprobado sin modificaciones	X	Se requieren modificaciones		Mención honorífica
<b>Observaciones</b>				
Se puede anexar hojas adicionales para una descripción más amplia de las observaciones. Justificar en esta parte porqué otorgar mención honorífica.				
El estudiante cumplió los objetivos planteados en la práctica profesional, trabajó principalmente en el montaje del programa de mantenimiento del área de instrumentación y control.				
Nombre jurados evaluadores	Karen Paola Cacua Madero			
Firma	 FECHA: 09-07-2018			

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____  RECHAZADO___      ACEPTADO___      ACEPTADO CON MODIFICACIONES___  <div style="text-align: right; margin-right: 50px;">           ACTA NO. _____            FECHA ENTREGA: _____         </div>
---

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____  <div style="text-align: right; margin-right: 50px;">           ACTA NO. _____         </div>
---

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_