

**IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (R.C.M) PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE (PTAP) LA COLINA - PIEDECUESTANA E.S.P**

Andrés Felipe Carvajal Bermúdez

000323361

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

**IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (R.C.M) PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE (PTAP) LA COLINA - PIEDECUESTANA E.S.P**

Andrés Felipe Carvajal Bermúdez
000323361

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO

Director del Proyecto
MSC. EMIL HERNANDEZ ARROYO

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga
Escuela de Ingeniería
Bucaramanga
2021

DEDICATORIA

Dedico este libro a todos los que me apoyaron en la carrera como ingeniero mecánico a mis papas que siempre estuvieron para mí, a mis abuelos que siempre me apoyaron con cualquier idea que tuviera y todos mis compañeros que estuvieron 5 años compartiendo conmigo y los profesores que siempre me apoyaron a seguir adelante con todas mis ideas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de estudiar algo que desde muy joven me gustaba, hoy puedo estar feliz porque cumplí una de las metas que me he propuesto.

Agradezco a mis abuelos que siempre estuvieron para mí, a los profesores que fueron un apoyo en esta formación cuando les preguntaba alguna idea loca o fuera de lo común se sentaban a estudiarla conmigo, agradezco inmensamente a mis compañeros que fueron una pieza clave en toda mi carrera y en la vida como persona.

Agradezco a la universidad pontificia por darme la oportunidad de cursar una carrera tan bonita que me lleno de muchos recuerdos buenos y malos, que me enseñó a ser el hombre que hoy en día soy con ideas y con sueños.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	11
Objetivo General	11
Objetivos específicos	11
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	12
ALCANCE	13
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	14
ANTECEDENTES	15
MARCO TEÓRICO.....	18
1. Planta De Tratamiento De Aguas Potables.....	18
1.1 Descripción General.....	18
1.2 Descripción del Proceso	18
2. MANTENIMIENTO	21
3. TIPOS DE MANTENIMIENTO	21
3.1 Correctivo.....	21
3.2 preventivo	21
3.3 predictivo.....	22
4. MANTENIMIENTO R.C.M	22
5. CONFIABILIDAD.....	23
6. FALLA	23
7. TIPOS DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE FALLOS	24
7.1 Distribución Exponencial.....	24
7.2 Distribución Weibull.....	25
7.3 Distribución Gamma.....	28
7.4 Distribución Logarítmica.....	30
8. MODELO DE INVENTARIOS	32
9. ANALISIS DE CRITICIDAD.....	33
10. PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO	34
METODOLOGÍA.....	35

RESULTADOS.....	37
CONCLUSIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA	65

TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones de la Distribución Exponencial	25
Tabla 2. Ecuaciones de la Distribución Weibull	27
Tabla 3. Ecuaciones de la Distribución gamma	30
Tabla 4. Ecuaciones de la Distribución Logarítmica	32

FIGURAS

Figura 1.Distribución Exponencial	25
Figura 2. Distribución Weibull	26
Figura 3. Distribución Gamma	29
Figura 4. Distribución Logarítmica	31
Figura 5.Inventario de la planta	38
Figura 6. Formato hojas de vida	39
Figura 7.Carpeta de Organización de Filtros	40
Figura 8.Carpetas de Organización de los Filtros por Números	41
Figura 9. Carpeta de Organización de Filtros por Válvulas	42
Figura 10. Carpeta de Foto de las Válvulas de los Filtros	43
Figura 11.Planta PTAP la colina sección 3.....	44
Figura 12. Sistema de Cloración	45
Figura 13. Distribución de las Válvulas de Paso	45
Figura 14. Distribución del Desarenadero Fase 2	47
Figura 15. Desarenadero Vista Superior	47
Figura 16. Bocatoma Fase 1	48
Figura 17.Bocatoma Vista Superior.....	49
Figura 18.Válvula tipo guillotina.....	50
Figura 19.Valvulas tipo mariposa	51
Figura 20. Válvula tipo sifón	52
Figura 21. Auditoria de mantenimiento.....	53
Figura 22. Diagrama de decisiones.....	54
Figura 23. Parámetros para el análisis de criticidad	55
Figura 24. Análisis de criticidad de la PTAP	55
Figura 25.Cronograma de mantenimiento	56
Figura 26. Menú de datos.....	57
Figura 27. Entrada de contratos	58
Figura 28.Horas de trabajo.....	59
Figura 29. Ingresos mensuales	59
Figura 30.Egresos mensuales.....	60
Figura 31.cálculo de utilidades	60
Figura 32.Costos Finales.....	62

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPLEMENTAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (R.C.M) PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) LA COLINA - PIEDECUESTANA E.S.P

AUTOR(ES): Andrés Felipe Carvajal Bermúdez

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Emil Hernández arroyo

RESUMEN

En este libro encontraremos los análisis y estudios fundamentales para realizar un estudio de RCM en una planta de tratamiento de aguas potables (PTAP) con el fin de mejorar los tiempos de mantenimiento y lograr un mayor control de costos. la planta de aguas potable - la colina es una de las primeras plantas que funciona con PLC los cuales controlas las electro válvulas con el fin de facilitar el proceso de potabilización del agua de el municipio de Piedecuesta.

PALABRAS CLAVE:

RCM, PTAP ,MANTENIMINETO, PLC ,PLANTA ,LA COLINA

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: IMPLEMENT A RELIABILITY FOCUSED MAINTENANCE PLAN (R.C.M) FOR THE LA COLINA POTABLE WATER TREATMENT PLANT (PTAP) - PIEDECUESTANA E.S.P

AUTHOR(S): Andrés Felipe Carvajal Bermúdez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Emil Hernández arroyo

ABSTRACT

In this book we will find the fundamental analyzes and studies to carry out an RCM study in a drinking water treatment plant (PTAP) in order to improve maintenance times and achieve greater cost control. The drinking water plant - La Colina is one of the first plants that works with PLCs which control the electro valves in order to facilitate the process of drinking water in the municipality of Piedecuesta.

KEYWORDS:

RCM, PTAP ,maintenance, PLC ,PLANT ,LA COLINA

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

INTRODUCCIÓN

Una PTAP es una planta de tratamiento de aguas potables, la cual se encarga de recoger por medio de una bocatoma el agua del río y mediante unos tratamientos químicos se convierte en agua potable para suministrar el municipio de Piedecuesta.

La PTAP de la colina distribuye agua potable para casi todos los barrios de Piedecuesta todos los días del año, la cual se compone por 4 procesos llamados captación la cual se hace por medio de una bocatoma, desarenaderos, planta de tratamiento y el almacenamiento, que a lo largo de este libro vamos a explicar más puntualmente como funciona cada uno y que instrumentos mecánicos contiene.

La propuesta de realizar un R.C.M para la PTAP de la Piedecuestastana E.S.P es tener una base de datos donde se limite el inventario de toda la planta y sus debidos mantenimientos teniendo en cuenta los mecanismos más críticos hasta los menos críticos, tener un diagrama de decisiones R.C.M, una hoja de trabajo R.C.M y una hoja de trabajo de decisiones R.C.M, esto para especificar claramente el mantenimiento específico para cada parte mecánica y estructural de la planta.

La PTAP de la colina es la principal planta de tratamiento de aguas potables para Piedecuesta. El gran impacto urbanístico de esta planta a nivel departamental es inmenso ya que esta

delimita la expansión geográfica de Piedecuesta, si se agrandara la planta podría suministrar más agua potable y así poder llevar a cabo permisos de construcción en áreas que la planta cubra.

El mantenimiento es una parte importante de la PTAP La Colina ya que cualquier avería de un equipo crítico podría causar una parada de planta lo cual significaría, que el municipio de Piedecuesta no tendría acceso a agua potable durante el tiempo que se demore arreglar la falla y poner la planta en funcionamiento. Allí radica la importancia de la realización de un análisis R.C.M con el fin de evitar ciertos riesgos a futuro y que la planta pueda seguir su funcionamiento de forma eficiente todos los días del año.

OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un plan de mantenimiento centralizado en la confiabilidad (R.C.M) para el estudio y la aplicación con el fin de reducir los tiempos de mantenimiento o malos mantenimientos que se le han dado a la planta, con el fin de no presentar ninguna parada de planta por algún problema de mantenimiento.

Objetivos específicos

- Implementar de un inventario con todos los equipos mecánicos de la planta
- Implementar las hojas de vida de equipos mecánicos y electrónicos de la planta
- Dibujar los elementos mecánicos en un software CAD
- Dibujar la planta de tratamiento de aguas potables y organizar la ubicación de los elementos dibujados anteriormente.
- Implementar un diagrama de decisiones R.C.M
- Implementar una matriz de criticidad
- Implementar hoja de trabajo R.C.M, para el personal de mantenimiento
- Implementar hoja de decisiones basada en la criticidad R.C.M

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la PTAP de La colina presenta inconvenientes de comunicación entre los departamentos de mantenimiento y operaciones, ya que no se cuenta con una cuadrilla de mantenimiento y el ingeniero de planta no es fijo, adicionalmente, la adquisición de recursos para mantenimiento es una parte que la administración no ve factible porque no se han realizado los estudios adecuados frente a un impacto económico de una parada de planta.

El plan de mantenimiento que tiene actualmente la PTAP no está actualizado con las nuevas adquisiciones que se incorporaron, tampoco tienen registro de fallas ni mucho menos una bitácora de órdenes de mantenimiento, ya que todo el proceso de mantenimiento se realiza por contratistas; esto lleva a un problema muy común de un mal mantenimiento ya sea por poca experiencia o porque no cuentan con las herramientas adecuadas para realizar los estudios de un buen mantenimiento.

Se planteó la propuesta de hacer un inventario actualizado de la planta, tener la ubicación de los equipos, tener un conocimiento detallado de las válvulas para poder darle a los contratistas una orden de mantenimiento y que cumplan con todos los estándares de la norma en cuyo caso es la AWWA 560, la cual se encarga de delimitar todos los mantenimientos y estados de una planta de tratamiento de agua potable.

ALCANCE

Esta práctica lleva a cabo la solución de varios problemas presentados actualmente por falta de conocimiento y atención hacia el departamento de mantenimiento, con base en la delimitación del problema se planteará una propuesta de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, se propondrá una cuadrilla de mantenimiento con sus respectivos trabajos y una comparación de presupuesto para saber cuál es más económico para la empresa, si tener una cuadrilla o contratar a terceros para realizar el mantenimiento de ciertas maquinas.

Se espera mejorar el mantenimiento de las máquinas y que no presenten fallos como lo han tenido durante todos estos años también se espera poder tener un historial de mantenimiento con un historial de fallas para así poder realizar estudios en un futuro del comportamiento de las máquinas y como mejorarlos.

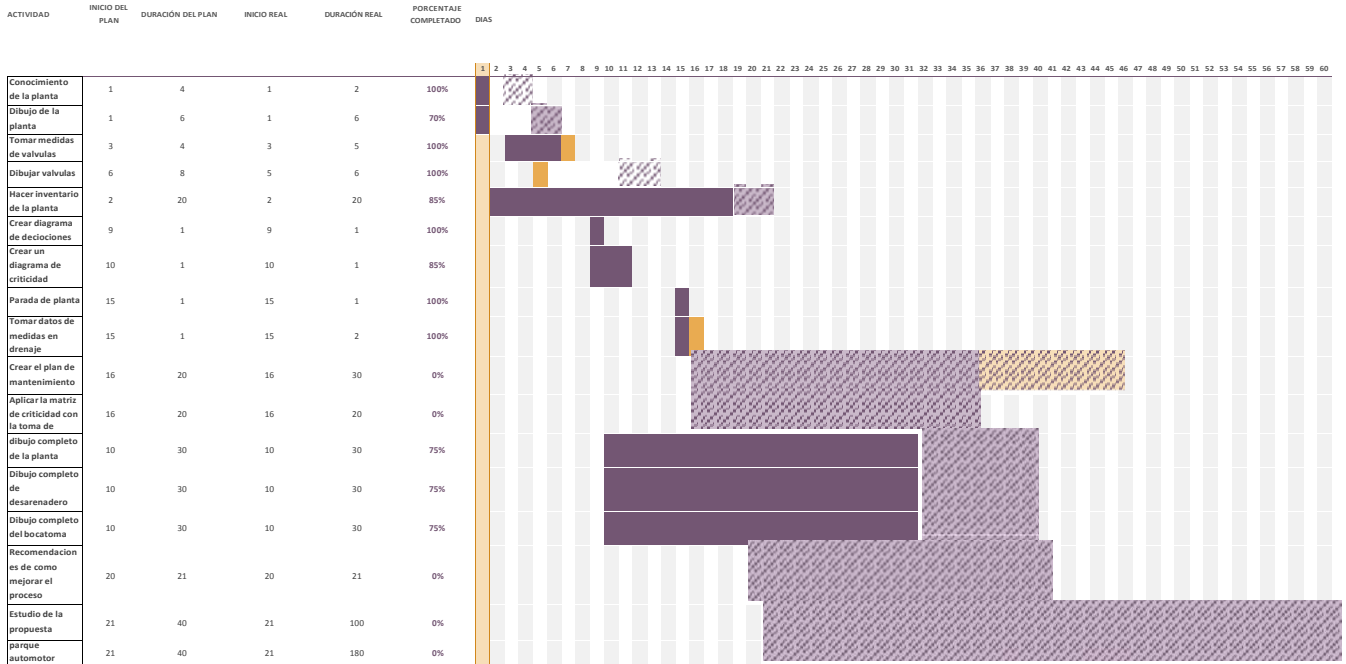
Se garantiza mejorar los tiempos de mantenimiento, para no tener problemas con operaciones y no ocasionar paradas de planta.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

PLAN DE TRABAJO

ESTE PLAN DE TRABAJO INICIO EL 14 DE ENERO DE 2020 - PTAP LA COLINA

Periodo resaltado: 1



ANTECEDENTES

Normalmente las PTAP no suelen tener un mantenimiento centralizado en confianza en Colombia ya que la mayoría de las PTAP son empresas públicas o empresas mixtas y la mayoría subcontrata estos servicios cuando se presenta una falla. En la planta de AMB situada en el parque del agua se realizó una visita con el fin de aprender las buenas prácticas de mantenimiento que ellos tienen y lo que se logró tomar fueron los tiempos de mantenimiento que ellos hacen en toda la parte de mantenimiento.

Pero últimamente con la experiencia de los ingenieros mecánicos, se ha notado que es fundamental tener un análisis de criticidad en las PTAP, la cual toma las fallas más importantes en todo el sistema de producción y hace un plan específico para esos elementos con el fin de tener los elementos mecánicos y electrónicos de la ruta crítica de producción seguros y que me garanticen un funcionamiento constante. (Sexto Cabrera, 2020)

Hoy en día se tomaron las buenas prácticas de realizar un RCM a los procesos de la industria, ya que esto nos garantiza un mayor control de todo el proceso y menos fallas o posibilidades de parar producción, muchas empresas a nivel industrial están tomando esta decisión de por qué es bueno tener plasmado un RCM.. (V.SDeshpande & J.PModak, 202)

La historia del mantenimiento empieza en la revolución industrial, la cual se conformaba básicamente con un mantenimiento correctivo de motores de combustión externa en su

mayoría poco a poco fueron avanzando hasta que llegaron a los problemas del funcionamiento de los aviones.

En los 60, la aviación civil norteamericana se percató que la forma en que llevaban el mantenimiento era muy costosa y peligrosa. Para ello crearon los llamados “Maintenance Steering Groups” (Grupos de dirección de mantenimiento), ellos analizaban el proceso del mantenimiento que se llevaba a cabo en los aviones. Dichos grupos fueron conformados por fabricantes de aviones, aerolíneas y la Federal Aviation Administration (F.A.A Administración Federal de Aviación).

También las industrias tenían grupos de mantenimiento que se encargaban de que las plantas estuvieran es constante producción, ahí nació el mantenimiento correctivo y se empezaba a plantear el mantenimiento preventivo de las plantas y de los aviones. (Depestre, 2012)

La primera guerra del mantenimiento (1733-1938) fue llamada a la consecuencia de todo lo sucedido por la revolución industrial, la consecuencia principal fue el gran avance que tuvo en la industria, el paso de los motores de combustión externa a motores de combustión interna, la creación de mecanismos más complejos y por ende solución de problemas diarios en base de estas nuevas máquinas que estaban saliendo, esto activo mucho la industria y la fabricación de nuevas máquinas y elementos que facilitarían la vida del ser humano. (Kardec, 2001)

El mantenimiento preventivo surgió a base de la implementación de tantas máquinas en el mercado, generalmente se realizaban trabajos de lubricación de las partes mecánicas y si se dañaban o se rompía alguna pieza mecánica se cambiaba totalmente la pieza, poco a poco se fueron detectando cuáles eran las fallas más comunes y así los ingenieros podían mejorar esas piezas para tener productos de calidad, la meta de ellos era que no se presentara los mantenimientos correctivos en cierto plazo de tiempo, y como iban a garantizar que una máquina pudiera lograr esos tiempos sin presentar una falla.

Con el paso de los años salieron nuevos sistemas más innovadores como los sistemas neumáticos e hidráulicos que se empezaron a aplicar a muchas máquinas y hubo una mejora a nivel de facilidad para el cliente, para las personas era más rentable ya que podía bajar costos de producción por que aumentaba la disponibilidad de las máquinas, y empezaron a generarse los planes de mantenimiento preventivo para llevar un control de todos los sistemas que controlaban las máquinas y así garantizar un funcionamiento constante y una buena disponibilidad de las máquinas en operación. (Villada-Duque, 2016)

MARCO TEORICO

1. Planta De Tratamiento De Aguas Potables

1.1 Descripción General

Una planta de tratamiento de aguas potables, es un sistema que se encarga de coger un recurso natural, que es el agua de un río y mediante diferentes procesos purificar el agua de las diferentes bacterias y otras sustancias que pueden ser dañinas para el ser humano.

Además de tratar el agua, se encarga de distribuirla a los hogares a los que este delimitado.

Las PTAP son muy importantes a nivel de expansión geográfica ya que ellas son las encargadas de limitar construcciones y que la ciudad crezca geográficamente debido a que es un recurso fundamental para el ser humano el consumo de agua potable.

1.2 Descripción del Proceso

El proceso fundamental de la PTAP es muy simple, el primer paso es captar el agua del Río de Oro por medio de una bocatoma o trampa de aguas de río, la cual se conforma por estructuras tales como rejillas y un pozo el cual sirve como embudo para distribuir el agua capturada hacia la siguiente fase.

Desarenadero, los desarenaderos son el segundo proceso de una PTAP la colina se basa principalmente en unos pozos los cuales se llenan y se retira un 5% la arena que trae Estos desarenaderos tienen el fin de enviar constantemente agua hacia la planta y se encuentran ubicados muy cerca del Río de Oro, se conecta con el bocatoma mediante una tubería de 18” la cual le entrega un caudal constante. (Loaiza Soto, 2018)

En la PTAP la colina tenemos 2 tuberías de distribución la de 18" y la de 14", estas van del desarenadero hasta la planta de tratamiento, posteriormente cuando llegan a la planta de tratamiento llegan a una piscina con forma de tobera que sirve como un tanque de inicio donde su función es agitarse por medio de la turbulencia y así retirar la arena que trae, el paso siguiente es mezclador el cual se encarga por medio de un equipo de floculación, suministrar el floculante a la tubería de línea y mezclar el agua que viene del vertedero con el floculante para así pasar a la primera etapa del proceso químico el cual se llama floculación.

Los floculadores de la PTAP la colina actualmente son 3, el principio básico de los floculadores es, por medio de unas trampas de arena sacar en lo posible la arena que viene en el agua ya combinada con el floculante. El floculante facilita el proceso de la captura de la partícula, tratando de juntar varias partículas de arena para así hacer más fácil la recolección y extracción de la arena este proceso funciona sin ninguna bomba es un proceso que con la fuerza de agua puede golpear las trampas y puede pasar a la siguiente fase que son los sedimentadores.

Los sedimentadores son un proceso de precipitación a las arenas, los sedimentadores de la PTAP la colina cuentan con un sistema de recolección que se llama panel de abejas, y el proceso que sigue es, cuando el agua es sacada de los floculadores esta pasa al canal de los sedimentadores el cual deja caer proporcionalmente por unos canales los cuales entregan el agua a las trampas de panel de abejas y ahí se queda la mayoría de la arena sobrante de todo este proceso, la colina cuenta con 5 sedimentadores los cuales siempre permanecen en uso constante a no sé de que toque hacer la limpieza que consiste en sacar la arena de estas trampas para que se vaya al desagüe, el agua que pasa después de la trampa de arena, esta sin

un 70 % de arena de río por eso para tener un agua de calidad y potable se pasa al siguiente paso que sería la filtración. (Tique & Pérez, 2017)

La filtración o filtrado del agua es una técnica que desde hace mucho tiempo se viene utilizando, este procedimiento funciona de la siguiente manera, se toma el agua sedimentada y se llevan a unos tanques que están compuestos por un material abrasivos y lo que hacen es filtrar todos los recibos de partículas de arena hasta dejar un 90% el agua potable, el siguiente paso es el almacenamiento y la distribución.

El almacenamiento de una PTAP es fundamental ya que si ocurre una parada de planta este sería su único medio para suministrar agua potable a todos los habitantes de la ciudad, por eso la PTAP la colina cuenta con 3 tanques de almacenamiento los cuales funcionan continuamente para abastecer a toda Piedecuesta, en el proceso de repartición se conoce como la flauta, la cual se encarga de distribuir el agua potable para ciertos sectores de Piedecuesta, antes de que el agua entre en la flauta se le aplica es proceso de cloración en línea.

La cloración en línea es suministrada por una bomba constantemente dependiendo del caudal a suministrar, esta cantidad es siempre vigilada por un ingeniero ambiental quien todos los días está tomando muestras constantes de todos los procesos para garantizar que se cumplan los estándares que el municipio obliga sobre la calidad del agua que es de un 99% de agua potable. (Loaiza Soto, 2018)

2. MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como la acción de mantener o corregir un componente, equipo o sistema para que siempre permanezca funcionalmente. La importancia del mantenimiento en el siglo XXI es que hay muchas máquinas en todas las empresas y básicamente realizan más de un 50 por ciento del trabajo pesado, hay empresas que tienen un 90 por ciento de máquinas encargadas del proceso, y para que sean rentables tienen que realizar unos mantenimientos específicos con el fin de no perder el proceso ni la calidad. (Mesa Grajales, Ortiz Sánchez, & Pinzón, 2016)

3. TIPOS DE MANTENIMIENTO

3.1 Correctivo

El mantenimiento correctivo es normalmente el mantenimiento que se realiza cuando una pieza falla en su totalidad, es uno del mantenimiento más utilizados pero menos eficientes económicamente ya que puede causar paradas de planta lo cual implica detener la producción o en ocasiones si no se corrige en un tiempo limitado puede llevar a una falla más grande.

3.2 Preventivo

El mantenimiento preventivo es un mantenimiento que se realiza con la finalidad de reducir los mantenimientos correctivos realizando un mantenimiento general programado para que

las máquinas o las piezas conserven su confiabilidad y no se tenga que remplazar en su totalidad el componente.

3.3 Predictivo

El mantenimiento predictivo es un mantenimiento más avanzado que va de la mano con el preventivo, se basa en determinando unas variables con respecto a la máquina, que tanto tiempo opera en qué condiciones etc., se determinan unos tiempos críticos los cuales indican que partes son las más afectadas y a las que tendremos que intervenir, esto se hace con el fin de siempre tener una confiabilidad mayor del 90 por ciento de todos los equipos.(Hung, 2009)

4. MANTENIMIENTO R.C.M

El R.C.M (Reliability Centred Maintenance) es un análisis centrado en la confiabilidad del mantenimiento, este análisis da como resultado solucionar los problemas de frecuencia de mantenimiento, programación de tareas, toma de decisiones en casos de criticidad, análisis de la criticidad de falla de en el proceso y como afecta a la empresa económicamente, tener inventariado los mantenimientos preventivos y el costo que va a general a la empresa anualmente para tener una funcionalidad y confiabilidad por arriba de un 90%

El R.C.M procura realizar preguntas tales como ¿Cuánto tiempo trabaja la máquina? ¿De qué forma puede fallar? ¿Qué sucede si falla? ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas? ¿Qué

sucede si no se corrige la falla? Todas estas preguntas con base en que se pueda tomar una decisión financiera como técnica de cómo se debe realizar el debido mantenimiento con base del plante económico que tengamos. (Hung, 2009)

5. CONFIABILIDAD

La confiabilidad es la probabilidad de que un equipo falle o no cumpla con su trabajo, para esos problemas se realiza un inventario de partes con más probabilidad a fallar en un tiempo limitado, para así poder intervenir rápidamente y conservar una confiabilidad estable para el equipo, normalmente se le conoce como stock, también se tiene que tener una constante inspección para asegurarse de que otras piezas no estén fallando o estén dañadas, para que inmediatamente se pueda realizar un estudio de si esa pieza es fundamental para que la máquina funcione y cuando se va a deteriorar completamente, con el fin de tomar una decisión segura de que hacer si comprar el repuesto inmediatamente o cambiar la pieza en un lapso de tiempo. (Depestre, 2012)

6. FALLA

Una falla es considerada cuando una pieza cumple su vida útil, las fallas normalmente suelen suceder por tiempo o por que tuvieron un mal mantenimiento, ya sea por varias variables tales como, la corrosión, las vibraciones o exceso de tensiones en la pieza.

Las fallas se presentan muy a menudo y hay diferentes tipos de parámetros con las cuales podemos prever una falla en un tiempo delimitado estas las veremos a continuación. Se recomienda para todas las empresas que tengan un registro de fallas para sus máquinas con el fin de poder tener un historial de fallas para decidir si es una falla constante o delimitar la

fuente inicial de la falla y saber si hay una solución para que no se presente esta falla, si la falla se presenta por el tiempo y no por un efecto prematuro lo recomendable es cambiar en su totalidad la pieza ya que por más que la arreglemos no va a obtener la misma confiabilidad y podremos estar teniendo otra falla en poco tiempo. (Molina, 2006)

7. TIPOS DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE FALLOS

7.1 Distribución Exponencial

La distribución exponencial es una de las más utilizadas debido a su facilidad de interpretar, esta curva nos señala que la probabilidad de falla de un elemento en un tiempo x va a ser constante y puede pasar aleatoriamente durante el tiempo limitado en la gráfica propuesta. (Balakrishnan & Basu, 2019)

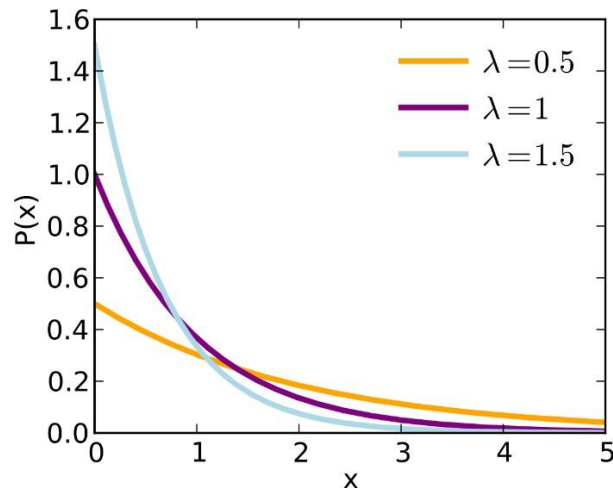


Figura 1. Distribución Exponencial

Con base en la Figura 1 podemos ver los parámetros que lleva:

λ : Tasa de fallos

A continuación en la Tabla 1 podemos ver los distintos parámetros para la fiabilidad.

Parámetros de fiabilidad	Expresión matemática
Función de densidad de probabilidad	$f(t) = \lambda e^{(-\lambda t)}$ para $t \geq 0, \lambda > 0$
Función de distribución acumulada	$F(t) = 1 - e^{(-\lambda t)}$ para $t \geq 0, \lambda > 0$
Función de Confiabilidad	$R(t) = e^{(-\lambda t)}$
Tasa de fallos	$\lambda(t) = \lambda$
Tiempo medio hasta el fallo MTTF	$MTTF = \frac{1}{\lambda}$
Tiempo medio entre fallos MTBF	$MTBF = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu_R}$

Tabla 1. Ecuaciones de la Distribución Exponencial

μ_R : Tasa de restauración

7.2 Distribución Weibull

La distribución weibull es una de las más usadas para para la modalidad de mantenimiento ya es que se adapta a mejores perfiles de falla, tiene como objetivo llevar a cabo una función de probabilidad continua con el fin de que se tomen mas datos de falla, funciona con los siguientes parámetros: (Rinne, 2008)

β : Parámetro de forma

η : Parámetro de escala o característica de vida

γ : Parámetro de posición

Dependiendo del parámetro β da la forma de la gráfica, la cual puede comportarse de manera creciente, decreciente o constante siguiendo esta regla.

- Si $\beta = 1$, se comporta Como una distribución exponencial, la cual posee tasa de fallo constante.
- Si $\beta > 1$, la tasa de fallo se comporta de manera creciente.
- Si $\beta < 1$, la tasa de fallo se comporta de manera creciente.

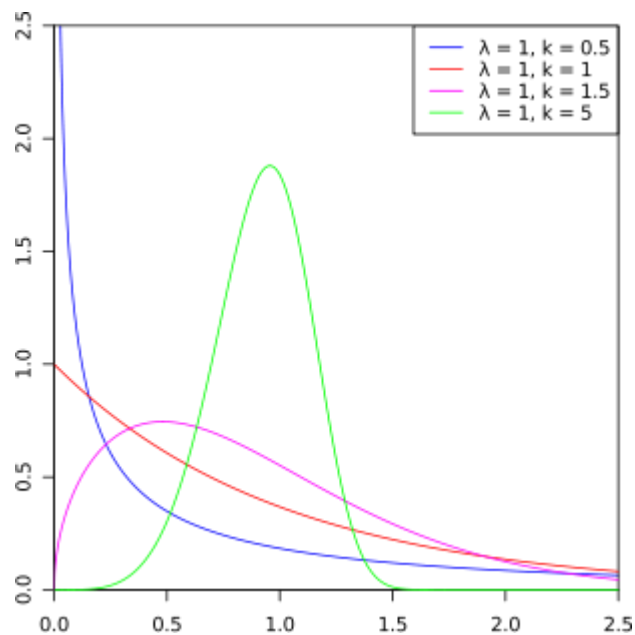


Figura 2. Distribución Weibull

A continuación en la Tabla 2 podemos ver los distintos parámetros para la fiabilidad Weibull. Y en la tabla 2 podemos observar las ecuaciones que manejaremos para cada caso que necesitemos.

Parámetros de fiabilidad	Expresión matemática
Función de densidad de probabilidad (<i>dos parámetros</i>)	$f(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} & \text{para } t \geq 0, \beta > 0, \eta > 0 \\ 0 & \text{para } t < 0 \end{cases}$
Función de distribución acumulada (<i>dos parámetros</i>)	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$
Función de Confiabilidad (<i>dos parámetros</i>)	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$
Tasa de fallos (<i>dos parámetros</i>)	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$
Tiempo medio hasta el fallo MTTF	$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$
Tiempo medio entre fallos MTBF (<i>dos parámetros</i>)	$MTBF = \eta \beta \Gamma \left(\frac{1}{\beta}\right)$

Tabla 2. Ecuaciones de la Distribución Weibull

7.3 Distribución Gamma

La distribución gama se utiliza para obtener sistemas redundantes, lo cual ocurre cuando una falla se repite constantemente, esta expresión de probabilidad delimita las ocurrencias de la falla y puede hacerse estudios para intervenir y solucionar los problemas. Funciona con los siguientes parámetros. (Stacy, 1965)

k : Parámetro de forma.

λ : Parámetro de localización.

(k) : *Función gamma* de k y se define de la siguiente manera:

$$(k) = \int_0^{\infty} t^{k-1} e^{-t} dt$$

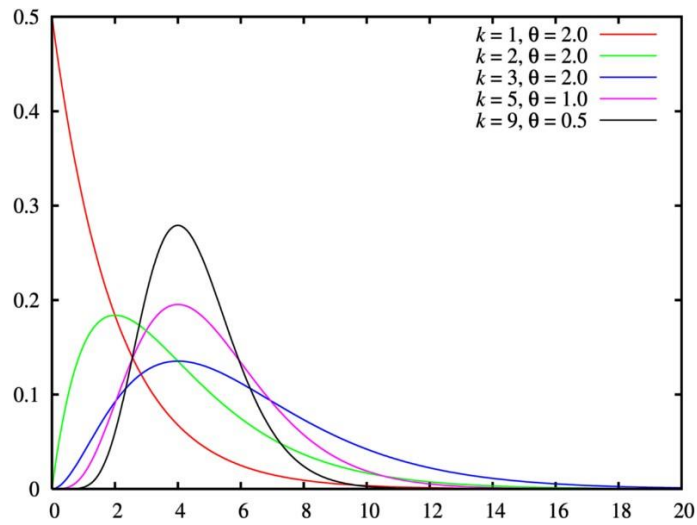


Figura 3. Distribución Gamma

En la TABLA 3 se observa las expresiones para las expresiones de fiabilidad de la distribución Gamma:

Parámetros de fiabilidad	Expresión matemática
Función de densidad de probabilidad (<i>dos parámetros</i>)	$f(t) = \begin{cases} \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{(-\lambda t)} & \text{donde } t > 0 \\ 0 & \text{para } t < 0 \end{cases}$
	$f(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{(-\lambda t)}$
Función de distribución acumulada	$F(t) = 1 - \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} \int_t^\infty t^{k-1} e^{-\lambda t} dt$
	$F(t) = 1 - \sum_{k=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$
Función de Confiabilidad	$R(t) = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} \int_t^\infty t^{k-1} e^{-\lambda t}$
	$R(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1} e^{-\lambda t}}{\Gamma(k)}$
Tasa de fallos	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Tabla 3. Ecuaciones de la Distribución gamma

NOTA: las funciones secundarias son cuando K es entero

7.4 Distribución Logarítmica

La distribución logarítmica es una de las más utilizadas para determinar los tiempos de mantenimiento de la máquina, esto porque se genera una rutina constante la cual puede ser expresada por una función log-normal. (Crow, 1987)

Los parámetros que maneja esta distribución son:

μ : Media aritmética del logaritmo de los datos.

σ : Desviación estándar del logaritmo de los datos.

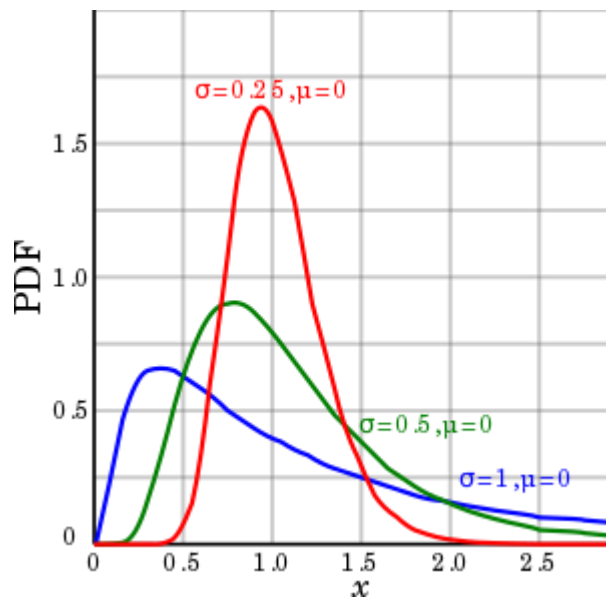


Figura 4. Distribución Logarítmica

En la tabla 4 se observa las ecuaciones para las expresiones de fiabilidad de la distribución

Logarítmica:

Parámetros de fiabilidad	Expresión matemática
Función de densidad de probabilidad	$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2} & \text{para } t \geq 0, \mu > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
Función de distribución acumulada	$F(t) = \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)$
Función de Confiabilidad	$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)$
Tasa de fallos	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Tabla 4. Ecuaciones de la Distribución Logarítmica

8. MODELO DE INVENTARIOS

Los modelos de inventario se utilizan para dar una aproximación a la demanda de ciertos productos con base en cada cuanto tengo que comprar un artículo, para eso se utilizan dos grandes teorías del inventario, conocidas como el inventario estático y el inventario dinámico.

El inventario estático corresponde a un inventario donde siempre se van a hacer los mismos pedidos de stock en un tiempo determinado, no puede causar ninguna variación por lo tanto

es más fácil llevar el control y para compras es más fácil ver cuando la renovación de uno de los productos es económicamente más factible que otros.

El inventario dinámico corresponde a inventario donde no podemos predecir con exactitud cuándo debemos hacer las compras de nuestro stock, ya que puede surgir imprevistos y puede que lo necesitemos antes del tiempo estipulado. Por qué pasa esto en la industria? Normalmente puede pasar en plantas que no tienen un plan de mantenimiento preventivo ya que no conocen el estado real de su inventario y cuando es el desgaste de esas máquinas ni cuándo van a fallar, en estos casos se recomienda hacer un estudio para así llevar una mayor control para tener un stock cuando este muy probable a fallar cada componente.

Hoy en día todas las empresas manejan unos inventarios y adaptan estos dos tipos de inventario a su empresa todo este estudio de inventarios se hace con el fin de tomar decisiones a la hora de pasar una necesidad a compras. (Salas, 2009)

9. ANALISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad se usa para determinar cuál es la ruta crítica de mi proceso y que componentes la componen, esto con el fin de poder tener un plan de mantenimiento especial para mis componentes y tener constante el proceso.

Los análisis de criticidad están ligados al RCM ya que tomamos la ruta crítica de un proceso para desarrollar maniobras de priorización de nuestras máquinas, esto quiere decir que tenemos unas máquinas que vamos a intervenir primero que otras con el fin de mantener el proceso al máximo. (del Castillo-Serpa, 2009)

10. PLANEACION DE MANTENIMIENTO

La planeación de mantenimiento es fundamental para todos los procesos que contengan máquinas, ya que esto definirá la vida útil por lo cual es fundamental tener un cronograma de mantenimiento el cual indique los tiempos que duraría en realizar una intervención y cuando se van a programar, para todos estos casos se tienen que explicar quién va a hacer cada tarea, y para ello se generan las ordenes de trabajo.

La orden de trabajo son aquellas tareas que se van a realizar en un día limitado, estas órdenes contienen cual va a ser el trabajo a realizar la ubicación y quien va a hacer el debido mantenimiento, posterior ha eso es una constancia de que se realizó un mantenimiento ya sea correctivo o preventivo a la máquina.

Una vez tengamos nuestras ordenes listas de un mes o un año podemos sacar un registro de costo más exacto y podemos bajar índices de falla con mayor facilidad se recomienda importante. (Mora, 2009)

METODOLOGIA

Para el desarrollo el primero objetivo que es realizar el inventario de la planta se realizará un recorrido por toda la planta desde la captación hasta la planta como tal del tratamiento, se procederá ha preguntar a los operadores donde estarán ubicados los elementos, como en la planta se están haciendo unas actualizaciones y hay un contratista encargado de todo ese proceso de remodelación, se tendrá en cuenta todas las modificaciones y compras que se hayan realizado, la parte del inventario lleva tanto la parte mecánica como la parte eléctrica y electrónica, como los PLC y la subestación, posterior mente a recopilar toda la información, se continuara con el inventario del laboratorio, el cual se le debe aplicar un mantenimiento más detallado en temas de calibración.

Una vez finalizado el inventario se realizará los dibujos adecuados de las válvulas que se puedan acceder, para este proceso se requiere introducirse en los sistemas y tomar fotos y medidas adecuadas de los elementos, también se procede hacer un dibujo de la planta utilizando los planos de autocad que realizo el contratista de toda la planta, esto con el fin de que la gerencia tenga una vista a la planta más realista desde el programa de solidworks con el cual puede ver el funcionamiento de la planta en 3D y no desde un plano de 2D.

Una vez terminado estos puntos se tomará todo el inventario de la PTAP la colina y se realizara una hoja de vida por cada elemento, con su respectiva ubicación y nombre, además esta hoja de vida llevara las medidas más importantes tales como : medida del vástago medidas de la válvula, serial del actuador, y una descripción si alguna de estas válvulas tienen fuga, esto con el fin de no tomar una mala elección, cabe resaltar que

todas las válvulas están bajo la norma de la AWWA 654 la cual se revisará si cumple con los requerimientos mínimos.

Una vez terminado ese objetivo se realizara una entrevista con cada operario para tener más claro como toman el mantenimiento ellos y como está el día de hoy el mantenimiento en la planta, con base en eso se realiza una propuesta de mejora en los aspectos que estén deficientes.

Para esta auditoria se va a tomar en cuenta los siguientes parámetros, organización de personal y relaciones esto con el fin de saber hoy en día como se organizan para hacer el mantenimiento o quien es el que hace mantenimiento y en relaciones como se lleva operaciones con la oficina de mantenimiento, preparación y planificación de trabajo: esto con el fin si las órdenes que genera operación de mantenimiento se están teniendo en cuenta en el área de mantenimiento. Ingeniería inspección y mantenimiento: esto con el fin de si el ingeniero a cargo ha propuesto unos mantenimientos factibles que ayuden económicamente a la empresa y cumplan con su plan de mantenimiento, compras y almacén: esto con el fin de verificar el stock actual de la planta para ver si se es necesario tener ese stock o se puede comprar con programación.contratacion: esto con el fin de que sistemas o tareas mantenimiento tiene contratado y que porcentaje de las tareas las cumple mantenimiento. Presupuesto mantenimiento: el presupuesto anual que le dan a mantenimiento y por último la eficiencia del proceso: con el fin de ver cuánto tiempo demora en realizar una intervención.

Una ves realizado este estudio se comparara con lo que tienen las otras empresas tales como la CDMB o la PTAP de san gil, con las cuales tenemos una visita a la planta ya programada para hablar sobre esos temas, la idea es hacer lo que podamos para mejorar los aspectos que hoy en día tiene en déficit la PTAP la colina.

Culminando este objetivo se hará un análisis de criticidad tomando cada sistema por aparte: captación, desarenaderos, floculadores, sedimentadores, filtros, almacenamiento de agua potable, sistema de distribución del cloro, bombas de floculación retro lavado y lavado. Se le darán valores de riesgo y se procederá a calificar con la plantilla propuesta. Con los resultados obtenidos se procederá a realizar el plan de mantenimiento indicando las tareas básicas de inspección ya sean semanales, mensuales o trimestrales.

Posterior a esto se sacaran los costos del mantenimiento de 1 año, y comparara con tener 1 día la planta sin producir agua, esto con el fin de que la alta gerencia entienda el impacto que tiene una parada de planta, o que por falta de buen mantenimiento ocasione una parada de planta.

Se tiene planeado proponer unas recomendaciones con base a problemas que surjan en el transcurso de la practica orientados con los temas principales de la ingeniería mecánica, estos pueden ser problemas de mecánica de fluidos, transferencia de calor, diseño de elementos de máquinas, esto con el fin de dejar todo seguro y planificado en la PTAP la colina.

RESULTADOS

Se logró actualizar un inventario actualizado de los elementos que hay en la PTAP la colina, actual mente se lograron obtener 229 elementos, a comparación del inventario anterior que tenía 122 elementos de los cuales un 10% ya estaban fuera de uso. A continuación en la figura 5 se muestra como está dividido el inventario.

INVENTARIO PLANTA DE LA COLINA			
NUMERO	UBICACIÓN	CODIGO DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO
1	Captación	RC0101	Rejilla horizontal del canal de captación profunda
2	Captación	RC0102	Rejilla lateral vertical del canal de captación profunda
3	Captación	CM0101	Compuerta de regulación de caudal en captación
4	Captación	VL0101	Válvula de paso para tubería de 18"
5	Aducción primaria	TB0201	Tubería de aducción primaria de 18"
6	Aducción primaria	VL0202	Válvulas de paso para tubería de 18"
7	Desarenado	CM0302	valvula guillotina para desagüe en desarenador N°1
8	Desarenado	CM0303	valvula guillotina para desagüe en desarenador N°3
9	Desarenado	CM0304	valvula guillotina de ingreso a desarenador N°1

Figura 5. Inventario de la planta

Como podemos observar en la figura 5, el inventario se divide en 4 columnas, la numeración la cual nos indica cuanto elemento tiene la PTAP la colina en el momento, la ubicación de estos elementos, el código de identificación de estos elementos y el nombre del equipo.

Una vez terminadas el inventario se procedió a realizar las hojas de vida de los elementos que tenían una información clara y fotografías.

FICHA TÉCNICA DE EQUIPO			
			
Ubicación	Planta de tratamiento de agua potable la Colina		
Sección	filtración		
Equipo	Compuerto de regulación de caudal de desagüe al filtro N°2		
Serial	B731900102		
Códigos	MOV-602-B CM0720		
Imagen del equipo			
			
Características técnicas			
	Nombre	Detalle	
	tamaño varilla	3,5m 1 1/4"	
	material	HD	
	medida	20"X24"	
Observaciones			

Figura 6. Formato hojas de vida

Como podemos ver en la figura 6 es el formato de todas las hojas de vida de los elementos, estas constan de la ubicación global del elemento, la sección de la planta donde está ubicada el elemento, el equipo o el nombre con el que está en el inventario, el serial de la máquina y los códigos como aparece en el P&D y como aparece en el inventario de la planta, se acompañan de 3 imágenes identificando la ubicación la placa y el estado de la válvula si se puede ver, seguido vienen las características técnicas elementales tales como la medida de la válvula, la medida del vástago y que material es, también tenemos la casilla de observaciones en caso de reportar una fuga o si se arreglado estas válvulas.

En la figura 4 podemos observar que se percibe un hipervínculo en el código, esto es con el fin de llevarlos a una galería de fotos de ese elemento, no todos tienen una galería ya que es muy difícil acceder a ver el estado de estos y poder obtener fotos.

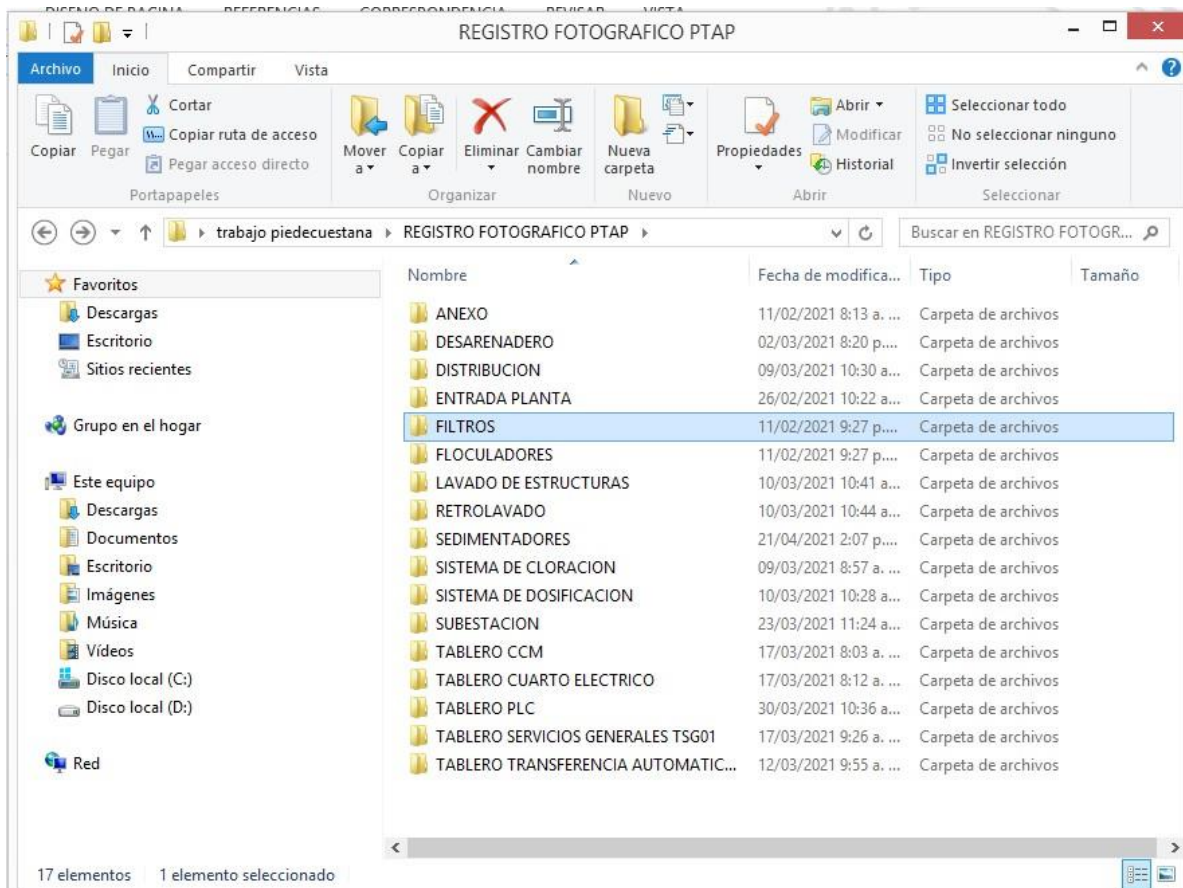


Figura 7. Carpeta de Organización de Filtros

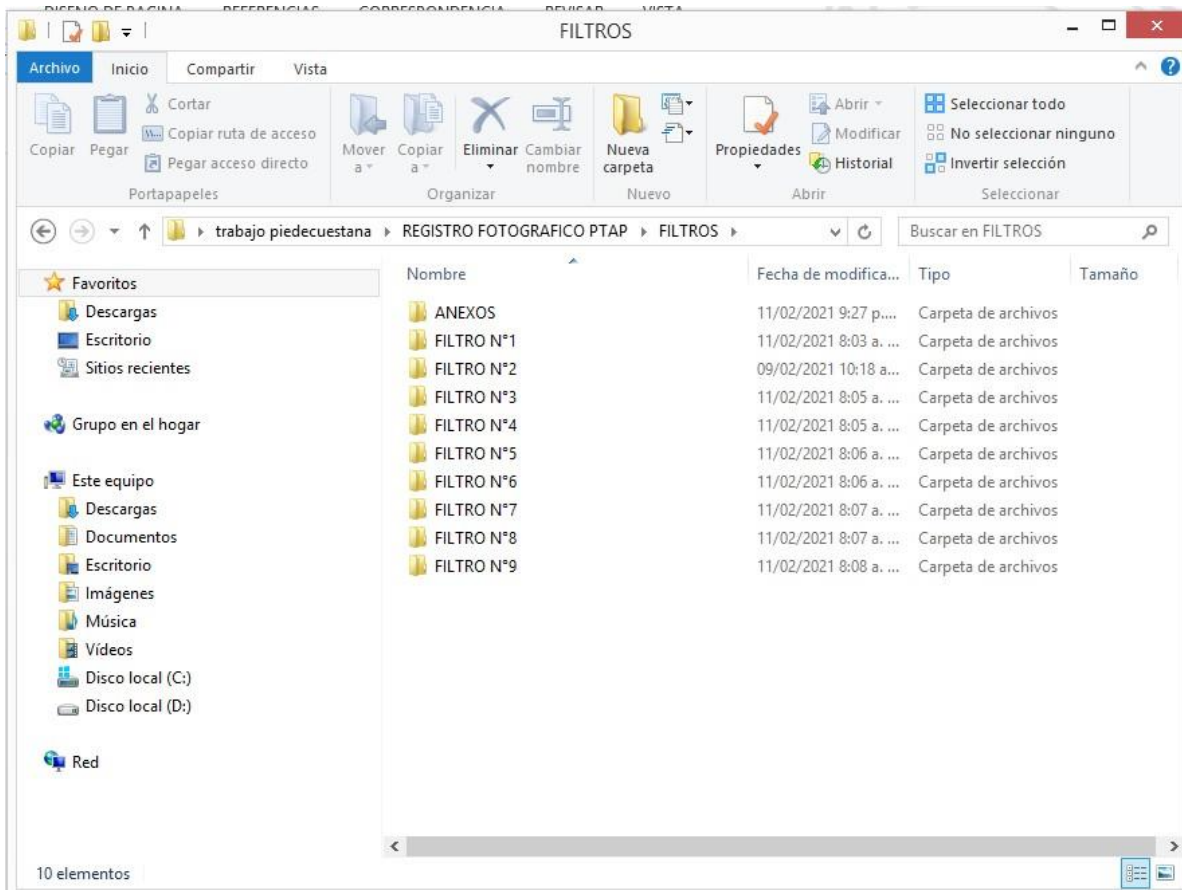


Figura 8. Carpetas de Organización de los Filtros por Números

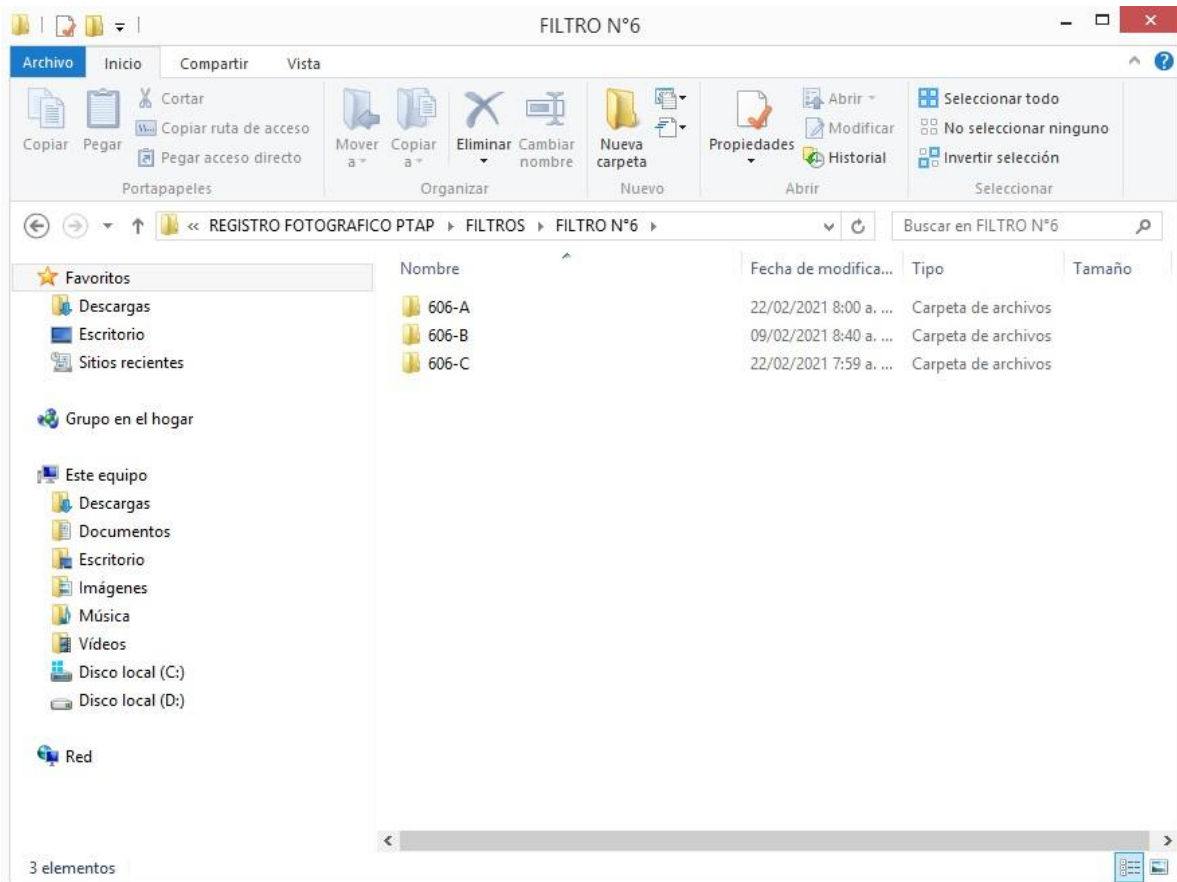


Figura 9. Carpeta de Organización de Filtros por Válvulas

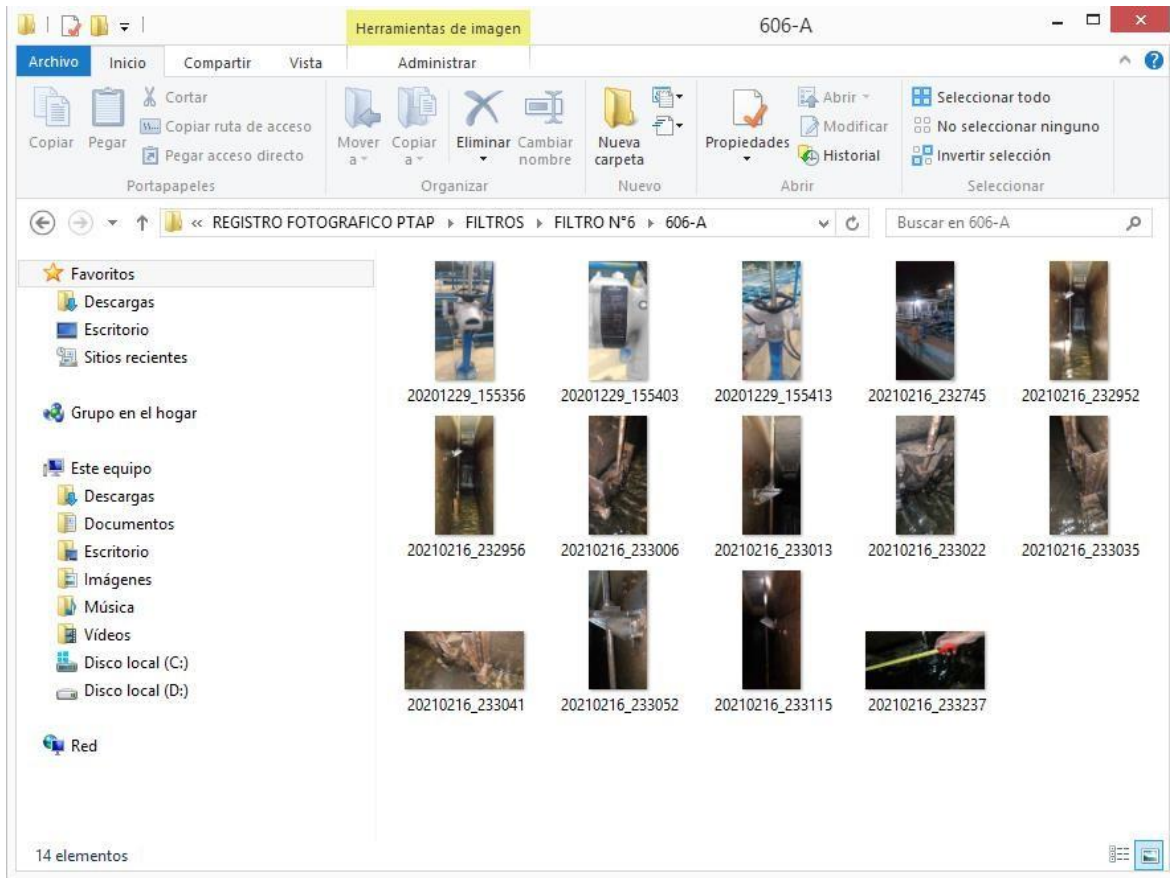


Figura 10. Carpeta de Foto de las Válvulas de los Filtros

En las figuras de la 8 a la 10 se explica la distribución de las galerías de fotos, estas se ubican por secciones y luego por su código en el P&D , si están en el SCADA si no están simplemente por la ubicación y por el nombre, esto con el fin de llevar un registro fotográfico del estado de las maquinas.

Posterior se realizó el dibujo de la planta y el diseño de los elementos mecánicos.

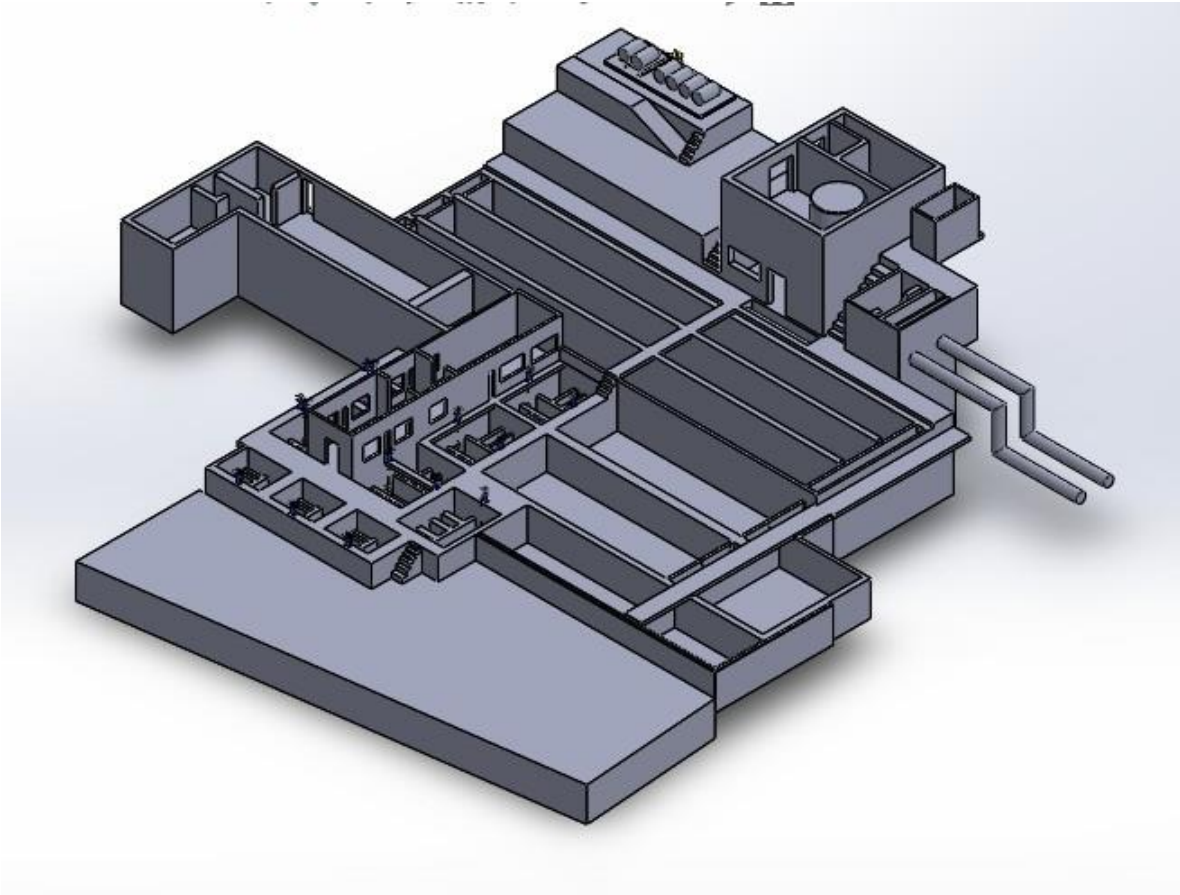


Figura 11.Planta PTAP la colina seccion 3

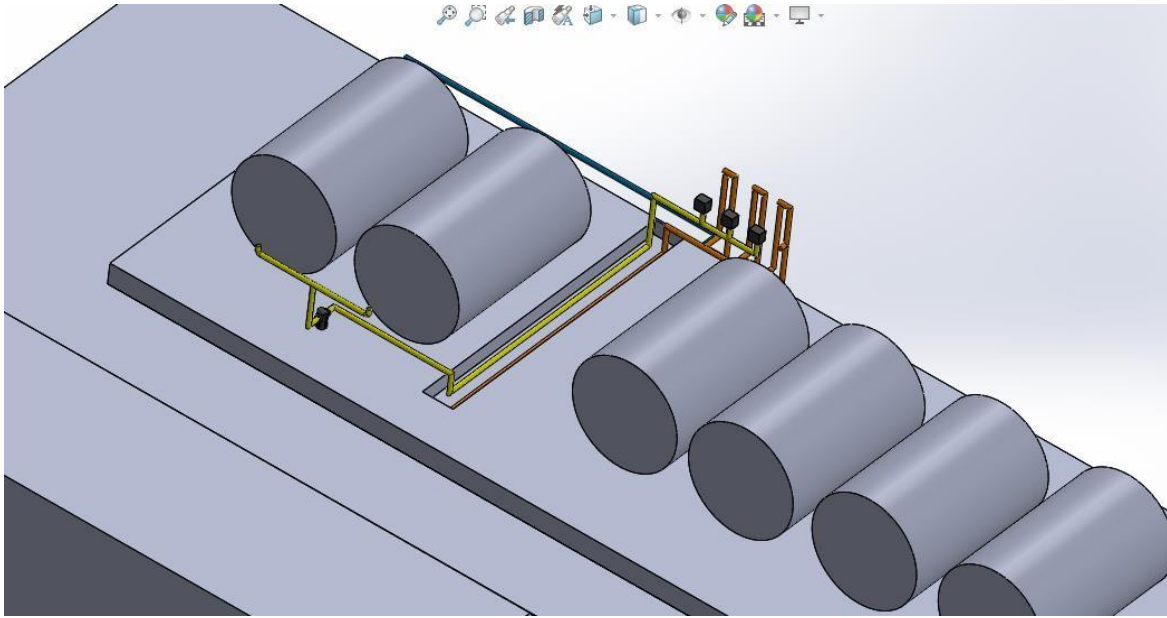


Figura 12. Sistema de Cloración



Figura 13. Distribucion de las Válvulas de Paso

En la figura 11 podemos ver da etapa 3 de la planta, la cual es donde se realizan los procesos y donde está la mayoría de las máquinas y el personal. Podemos observar los filtros con sus respectivas válvulas, los floculadores y los sedimentadores y el sistema de cloración, también dibuje las oficinas de los empleados y la distribución.

En la figura 12 podemos ver el sistema de cloración que se piensa implementar, toda la tubería es de Policloruró de vinilo o mejor conocido como PVC, y va conectada hasta el almacenamiento del agua, la tubería amarilla es la tubería succión del cloro líquido la cual va hasta un dosificador de cloro el cual limita el paso del cloro y después se combina con la tubería azul, la cual es una tubería de agua, posterior a eso se envía por el tubo naranja ya con la mezcla agua-cloro hacia el almacén de agua potable que está conectado con la distribución.

En la figura 13 podemos observar, posición real de las válvulas en toda la planta, las más notorias se pueden percibir, las demás como están en tubería interna no se pueden percibir en el plano 3D si no que se ven en los P&D.

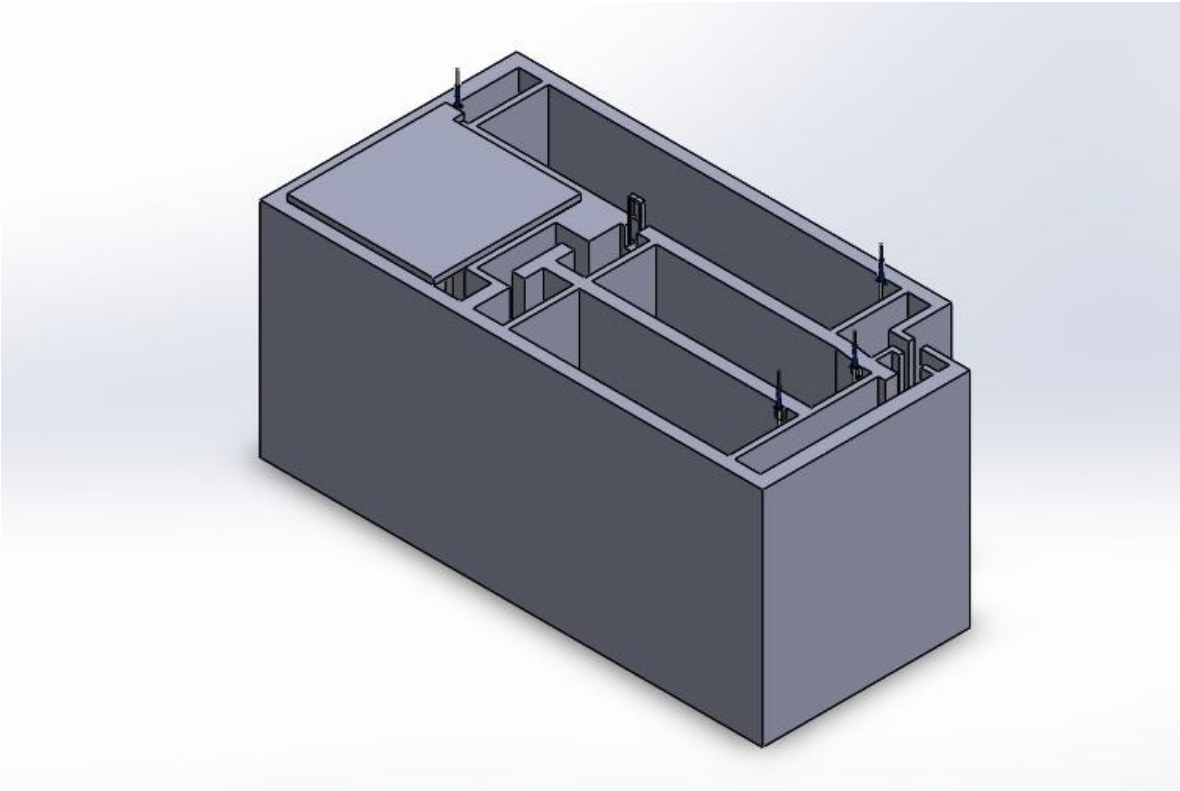


Figura 14. Distribución del Desarenadero Fase 2

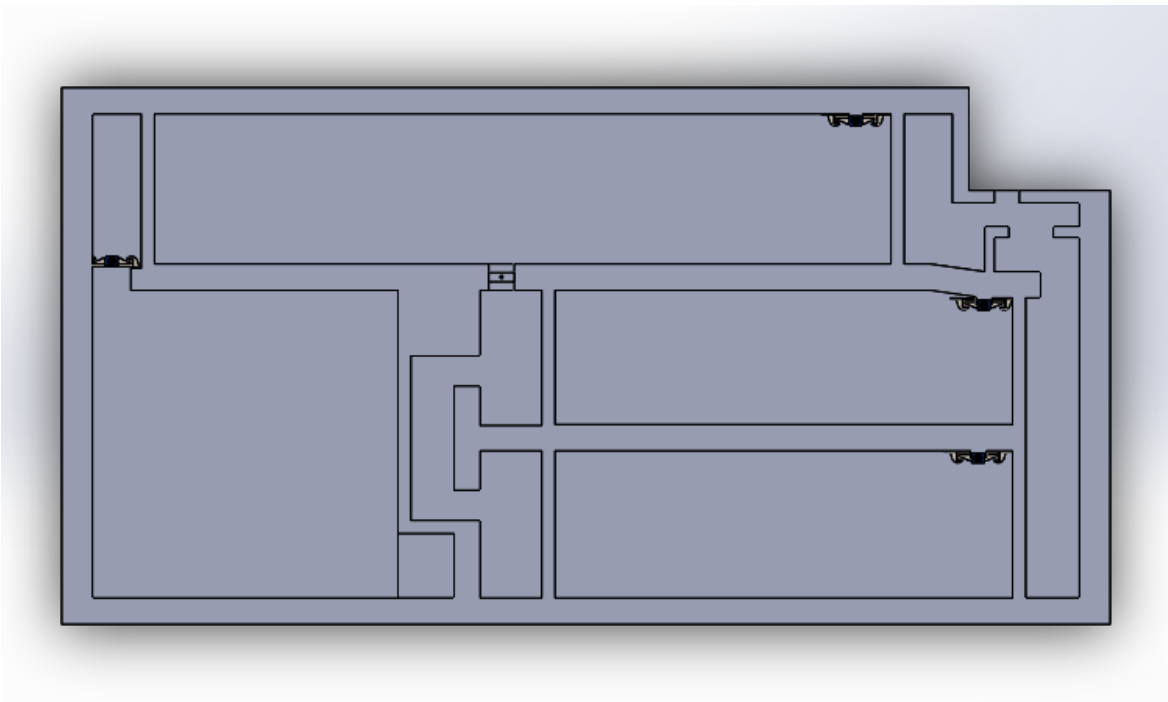


Figura 15. Desarenadero Vista Superior

En la figura 14 y 15 se muestra la segunda etapa, la cual es los desarenaderos, esta etapa está conectada con una tubería de 14" y con una de 18" , este proceso es donde se retira la mayor parte de la tierra que trae el agua, pasando por un sistema muy básico de rejillas en diferentes posiciones, se pueden percibir las válvulas que posee esta sección de la planta.

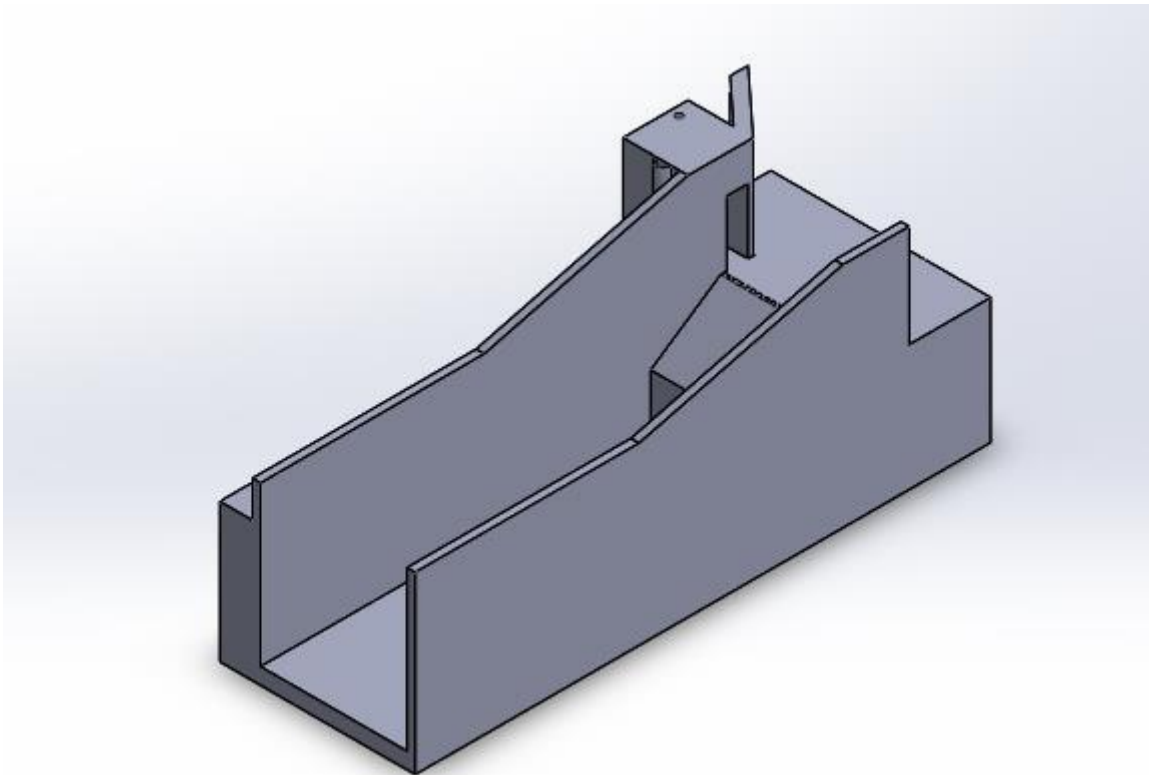


Figura 16. Bocatoma Fase 1

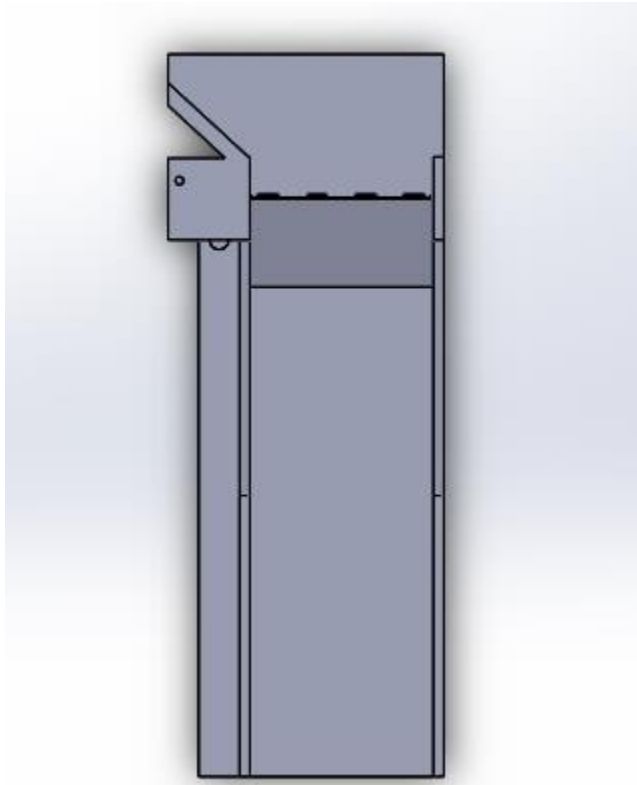


Figura 17. Bocatoma Vista Superior

En la figura 16 y 17 se puede ver la primera etapa del proceso la cual es la Captación su función es recolectar el agua que viene del Río de Oro y por medio de una tubería de 18” comunicarla hacia el desarenadero para que pueda empezar el proceso.

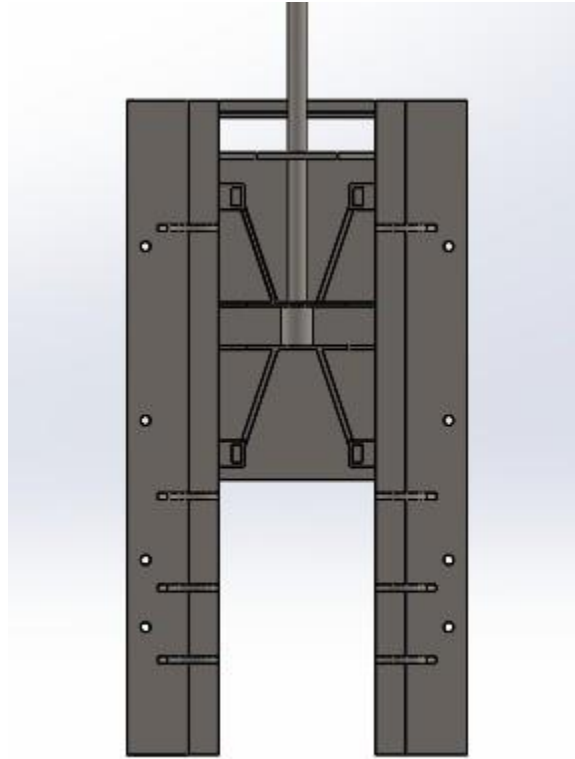


Figura 18. Válvula tipo guillotina

En la figura 18 podemos observar el dibujo de las válvulas estilo guillotina, las cuales son muy utilizadas en toda la planta. Por lo general todas estas válvulas tienen una distribución general basados en la norma AWWA 654 la cual rige a los fabricantes, el diseño de las válvulas.

La mayoría de las válvulas que hoy en día operan en la planta llevan un margen de 2 años en funcionamiento, el único mantenimiento que realiza es el engrase de los vástagos y la revisión constante de fugas.



Figura 19. Valvulas tipo mariposa

Esta es otra válvula también muy usada en la planta, es una válvula estilo mariposa, y es la que se está implementando hacer el cambio para poder quitar las guillotinas y dejar solo las mariposas.

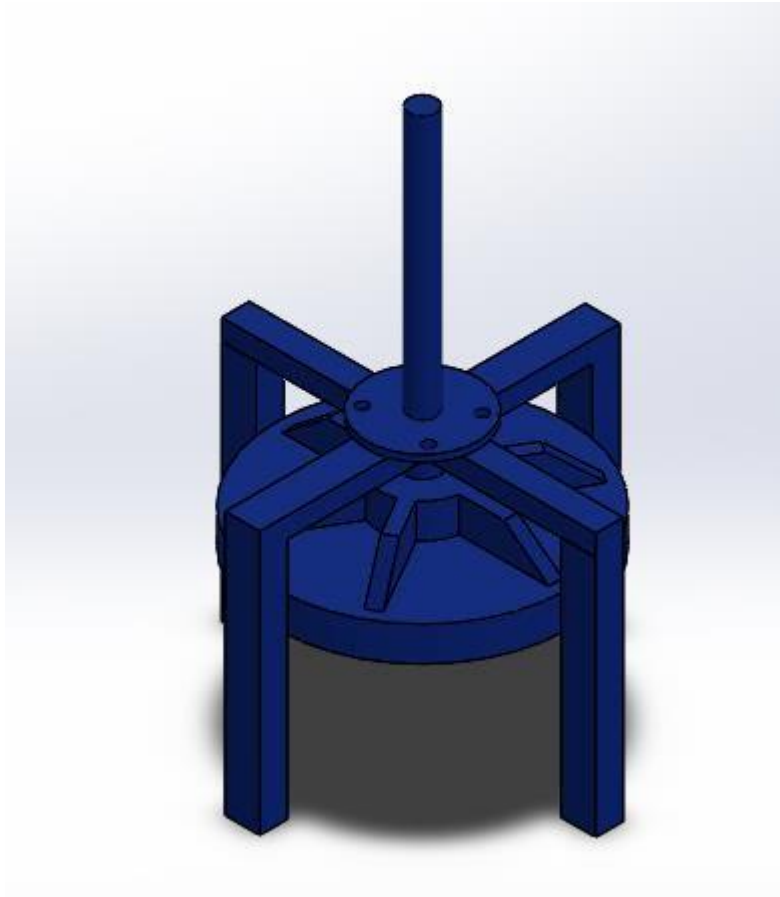


Figura 20. Válvula tipo sifón

En la figura 20 podemos observar una válvula de fondo utilizada para el drenaje de los sedimentadores, actualmente solo se encuentran 2 válvulas de fondo.

Una vez realizado el inventario y el dibujo de los elementos mecánicos que lo componen y la distribución, ubicación de los elementos en la planta, se realizó una evaluación con el personal de trabajo si tenían conocimiento del mantenimiento; Se realizaron preguntas con respecto a la intervención de ellos en el mantenimiento, como era la estructura que se manejaba y si se presentaba una falla cuanto tiempo duraba en resolverla.



Figura 21. Auditoria de mantenimiento

Este fue el resultado de la auditoria que se realizó en la PTAP la colina preguntándoles a los empleados que se dedicaban a mantenimiento, producción, laboratorio y gerencia.

Se basaron 5 preguntas de cada tema , para garantizar la precisión, se nota que una de las mas altas tendencias es la contratación, ya que la mayoría del mantenimiento se realiza por contratación, no se tiene un personal dedicado a realizar mantenimiento, no hay manejo de stock ni de inspección y mantenimiento general de la planta, el presupuesto anual de la planta se realiza por solicitudes de parte del ingeniero a cargo cuando se produce una falla, o cuando se debe hacer un mantenimiento correctivo, el único mantenimiento que es preventivo es el de la calibración del laboratorio, la eficiencia de reparar una falla es dudosa ya que depende de un tercero para que solucione el problema.

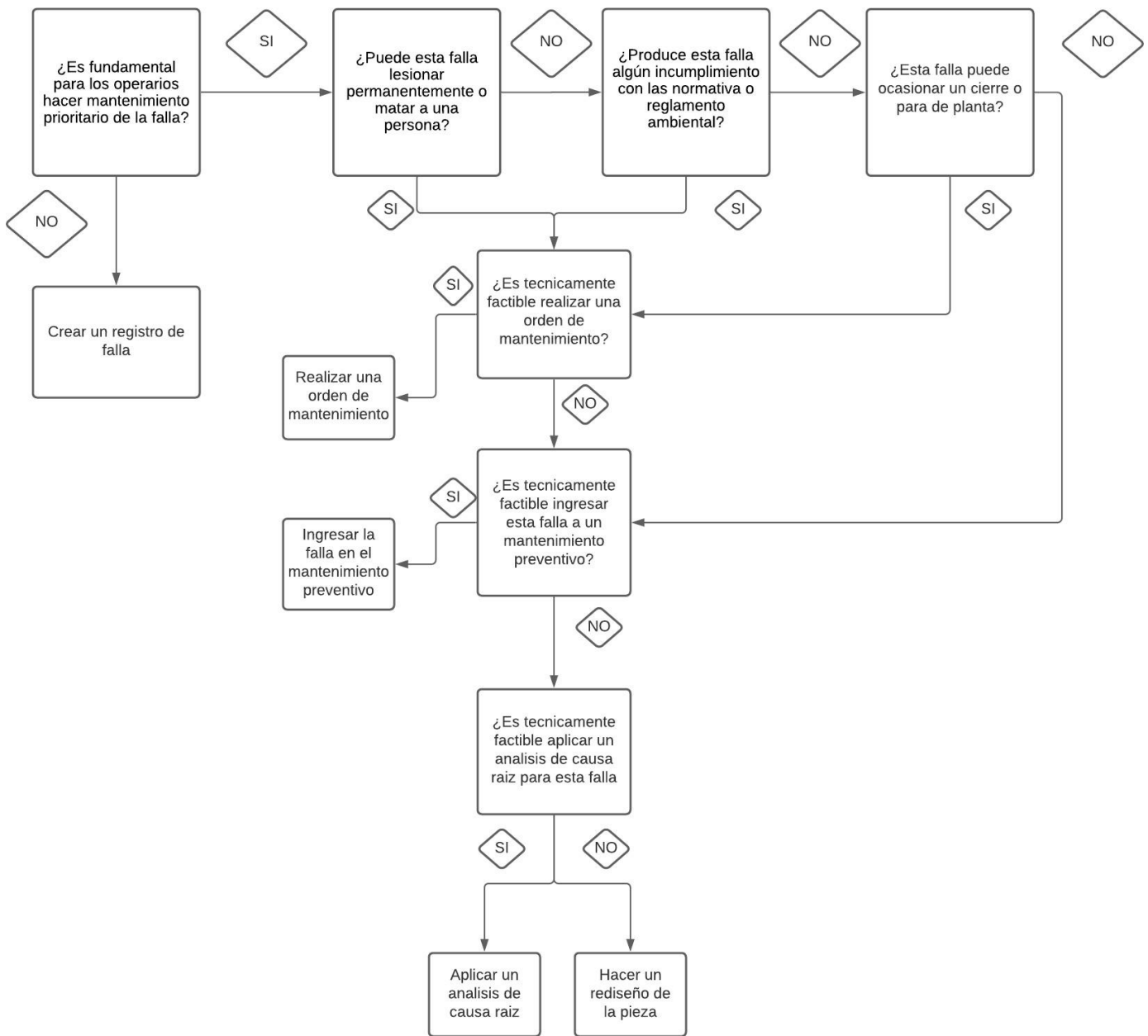


Figura 22 Diagrama de decisiones

En la figura 22 podemos ver el diagrama de decisiones el cual esta enfocado hacia la PTAP la colina, con el nuevo planteamiento del plan de mantenimiento, esto con el fin de que se sepa cual es la importancia de cualquier elemento teniendo en cuenta el diagrama realizado.

PARAMETROS			
Existe uno o más equipos de reserva que realizan la misma función	E	FACTOR DE REDUNDANCIA	A
No existen equipos de reserva	F		
Sin consecuencias en la seguridad y/o medioambiente	G	FACTOR DE SEGURIDAD DEL PERSONAL Y MEDIO AMBIENTE	B
Efecto leve de seguridad y/o medioambiente	H		
Efecto grave de seguridad y/o medioambiente	I		
No afecta el proceso	J	FACTOR DE PROCESO	C
Pérdida parcial de calidad del proceso	K		
Pérdida total de proceso	L		
La avería genera un coste operativo < 500.000	M	FACTOR DE COSTE DE REPARACION	D
La avería genera un coste operativo < 5.000.000	N		
La avería genera un coste operativo ≥ 5.000.000	O		
CRITICO	> 45		
SEMI-CRITICO	< 45		
NO CRITICO	< 30		

Figura 23. Parámetros para el análisis de criticidad

FACTORES EQUIPOS	A		B			C			D				
	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
	0	20	0	15	30	0	12.5	25	0	12.5	25		
Rejilla horizontal del canal de captación profunda		X	X			X			X			20	NO-CRITICO
Rejilla lateral vertical del canal de captación profunda		X	X			X			X			20	NO-CRITICO
Compuerta de regulación de caudal en captación		X	X			X				X		33	SEMI-CRITICO
Válvula de paso para tubería de 18"		X	X				X			X		45	CRITICO
Tubería de aducción primaria de 18"		X	X				X				X	58	CRITICO
Válvulas de paso para tubería de 18"	X		X				X			X		25	NO-CRITICO
valvula guillotina para desagüe en desarenador N°1	X			X		X				X		28	NO-CRITICO
valvula guillotina para desagüe en desarenador N°3	X			X		X				X		28	NO-CRITICO
valvula guillotina de ingreso a desarenador N°1		X	X			X				X		33	SEMI-CRITICO

Figura 24. Análisis de criticidad de la PTAP

En la figura 23 y 24 podemos observar los criterios de un análisis de criticidad, esto con el punto de definir los riesgos que tiene todos los elementos del inventario y poder atacar los elementos más riesgosos, para que no presenten una falla esporádica y se tenga mayor control del mantenimiento.

Una vez ya teniendo el análisis de criticidad se proponen la realización de actividades de mantenimiento con base en cada elemento, esto con el fin de tener un mantenimiento preventivo para todos los elementos, no obstante será un mantenimiento de supervisión y limpieza ya que la mayoría de los elementos tienen poco riesgo porque cuentan con dos o más subsistemas que la bajan la criticidad de fallo.

Para los elementos más críticos si se plantea un mantenimiento más específico con el fin de monitorear a detalle ese elemento.

C O N	Compuerta de regulación de caudal en captación	CM0101	compuerta, vástago - obturador		X			
			Verificar alineación de desplazamiento			X		
			Verificar, limpiar y ajustar guías y sello de la compuerta			X		
			Lubricar tornillo obturador			X		
				Protección anticorrosiva del cuerpo exterior				X
	Válvula de paso para tubería de 22"	VL0101	Limpiar exterior de la válvula y área circundante			X		
			Verificar y corregir sello y estado exterior de la válvula			X		
			Verificar y corregir operación de válvula (cierre y apertura)			X		
Protección anticorrosiva del cuerpo exterior							X	
A p d r u i c m c a i r ó i n a	Tubería de aducción primaria de 22"	TB0201	Inspeccionar estado exterior de la tubería				X	
			Verificar espesor de tubería por ultrasonido				X	
	Válvulas de paso para tubería de 22"	VL0202	Limpiar exterior de la válvula y área circundante			X		
			Verificar y corregir sellos y estado exterior de la válvula			X		
			Verificar y corregir operación de válvula (cierre y apertura)			X		
			Protección anticorrosiva del cuerpo exterior					X

Figura 25. Cronograma de mantenimiento

En la figura 25 se representa el formato del cronograma de actividades, se dividen por las secciones, el nombre del elemento, el código del elemento identificado por el inventario, y las casillas de las tareas a realizar.

Para todos estas tareas y por medio de la auditoria que he realizado, lo mejor para la empresa es contratar un equipo de mantenimiento, asi que se han realizado los cálculos de 2 técnicos T3 o T4 con experiencia en mecánica y soldadura y otro con experiencia en eléctrica y cableado, los sueldos mensuales de estos técnicos oscilan entre 1,200.000 y 1, 500,000 pesos colombianos.

Y se realizó un programa en Excel que ayude a controlar al ingeniero en jefe de el personal o cuadrilla de mantenimiento, con el cual se va a realizar las tareas que se realizaron y quien las realizo y el costo beneficio de la siguientes.

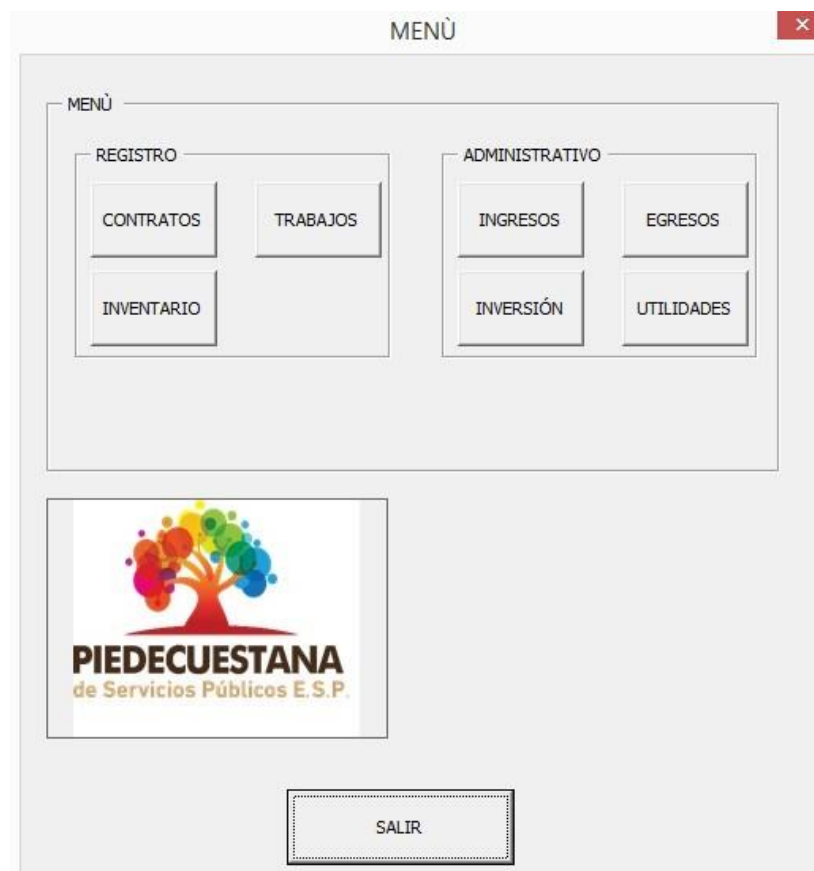


Figura 26. Menú de datos

Entradas

ENTRADAS DE CONTRATOS

PERSONAL FECHA

EMPLEADO

CODIGO

CANTIDAD DE HORAS AGREGADAS

PRECIO HORA

GANANCIA POR HORA

HORAS DE CONTRATO

CODIGO	EMPLEADO	HORAS DE CONTRATO	PRECIO HORA	GANANCIA POR HORA
123	AURELIO DIAZ	752	\$20.000,00	\$25.000,00
324	MIGUEL SANTAMARIA	765	\$20.000,00	\$25.000,00

Figura 27. Entrada de contratos

Salidas

HORAS TRABAJADAS

PERSONAL FECHA

PERSONAL

CODIGO

CANTIDAD DE HORAS TRABAJADAS

PRECIO HORA

GANANCIA POR HORA

HORAS DE CONTRATO

CODIGO	PERSONAL	HORAS DE CONTRATO	PRECIO HORA	GANANCIA POR HORA
123	AURELIO DIAZ	752	\$20.000,00	\$25.000,00
324	MIGUEL SANTAMARIA	765	\$20.000,00	\$25.000,00

Figura 28. Horas de trabajo

INGRESOS ✕

ID **FECHA**

FECHA INICIAL **FECHA FINAL**

DESCRIPCIÓN

FECHA	DESCRIPCIÓN	PIEZAS	PRECIO	TOTAL
08/05/2021	AURELIO DIAZ	3	\$25.000,00	\$75.000,00

TOTAL

Figura 29. Ingresos mensuales

EGRESOS ✖

ID **FECHA**

DESCRIPCION

MONTO

Figura 30.Egresos mensuales

UTILIDADES ✖

CÁLCULO DE UTILIDADES DEL MES **FECHA**

FECHA INICIAL **FECHA FINAL**

FECHA	DESCRIPCIÓN	IMPORTE	FECHA	DESCRIPCIÓN	IMPORTE

TOTAL DE EGRESOS
TOTAL DE INGRESOS

UTILIDAD

Figura 31.cálculo de utilidades

En las figuras de la 26 a la 31 se muestra el funcionamiento sencillo del programa, tenemos un menú el cual nos permite registrar las horas contratadas por la empresa a un personal de trabajo, el ingeniero en jefe es el único que está autorizado para generar los reportes y anotar las ordenes de trabajo, como podemos observar se debe ingresar, la cantidad de horas que laboro la persona y posterior mente en ingresos se pone la descripción del trabajo realizado por la persona, automáticamente hace el cálculo de cuanto le costó a la empresa realizar ese trabajo y cuanto gano la empresa por la realización de ese trabajo.

Este programa se realizó con la intención de llevar un control en las ordenes de trabajo y poder reducir las contrataciones, se realizó una comparación con el año 2020 el cual se reparó una bomba centrifuga del sistema de retro lavado, la mano de obra tuvo un costo total de 600.000 pesos colombianos y el transporte 1.200.000, para un total de 1.800.000 pesos colombianos por el cambio de los sellos, con el programa se realizó el cálculo teniendo en cuenta la mano de obra ya contratada, y dio un resultado de 450.000 pesos colombianos sin necesidad de transporte por que todo se realizó en el establecimiento.

Cabe aclarar que los cálculos se realizaron teniendo en cuenta las herramientas necesarias que aún no se han comprado para esta cuadrilla, ya que esto es una prueba piloto.

Teniendo en cuenta el análisis de criticidad y las tareas que se deben realizar, se planteó con el ingeniero a cargo las herramientas indicadas para poder desempeñar los trabajos con mayor facilidad, esta propuesta no solo se enfoca en los trabajos necesarios de la planta la colina sino que también se tienen en cuenta las demás plantas y algunas tareas del parque automotor, como trabajos de soldadura y alineación de partes.

Hoja de comparación de los cálculos realizados 2021 vs 2022.

Hoja de cálculo de los costes

NOTA: Esta hoja de costos es enfocada para cubrir con los trabajos a realizar en las plantas

Área	Elementos	ANUAL	Coste mensual (\$ COL)			Coste anual (\$ COL)		
			propuesto	Estimado	Diferencia	Estimado	Real	Diferencia
PERSONAL	personal tecnico especializado en mecanica T3	12	\$ 1.000.000,00	\$ 1.250.000,00	-\$ 250.000,00	\$ 12.000.000,00	\$ 15.000.000,00	-\$ 3.000.000,00
PERSONAL	personal tecnico especializado en electrica T3	12	\$ 1.000.000,00	\$ 1.250.000,00	-\$ 250.000,00	\$ 12.000.000,00	\$ 15.000.000,00	-\$ 3.000.000,00
IMPLEMENTACION	Pinza Amperimétrica Uni-t Ut200a Con Estuche Auto Rango 200 ^a	1	\$ 99.000,00	\$ 104.000,00	-\$ 5.000,00	\$ 99.000,00	\$ 104.000,00	-\$ 5.000,00
IMPLEMENTACION	Soldador Inversor 140 Amp 110/220v	1	\$ 479.900,00	\$ 499.900,00	-\$ 20.000,00	\$ 479.900,00	\$ 499.900,00	-\$ 20.000,00
IMPLEMENTACION	electrodo E6013 ACERO ALCARBONO	1	\$ 133.000,00	\$ 153.000,00	-\$ 20.000,00	\$ 133.000,00	\$ 153.000,00	-\$ 20.000,00
IMPLEMENTACION	termometro digital, pistola laser con infrarojo	1	\$ 69.000,00	\$ 89.000,00	-\$ 20.000,00	\$ 69.000,00	\$ 89.000,00	-\$ 20.000,00
IMPLEMENTACION	Juego De Herramientas 73 Pieza Mecánica	1	\$ 124.000,00	\$ 144.000,00	-\$ 20.000,00	\$ 124.000,00	\$ 144.000,00	-\$ 20.000,00
Otros		1	\$ 400.000,00	\$ 450.000,00	-\$ 50.000,00	\$ 400.000,00	\$ 450.000,00	-\$ 50.000,00
Subtotal			\$ 3.304.900,00	\$ 3.939.900,00	-\$ 635.000,00	\$ 25.304.900,00	\$ 31.439.900,00	-\$ 6.135.000,00
Costes inesperados (agregar una estimación del 30 %)						\$ 991.470,00		
Costes totales						\$ 3.304.900,00	\$ 32.896.370,00	

Figura 32.Costos Finales

Coste mensual (\$ COL)			Coste anual (\$ COL)		
Área	Elementos	ANUAL	propuesto	Estimado	Diferencia
			Estimado	Real	Diferencia
PERSONAL	personal tecnico especializado en mecanica T3	12	\$1.000.000,00	\$1.250.000,00	-\$250.000,00
			\$12.000.000,00	\$15.000.000,00	-\$3.000.000,00
PERSONAL	personal tecnico especializado en electrica T3	12	\$1.000.000,00	\$1.250.000,00	-\$250.000,00
			\$12.000.000,00	\$15.000.000,00	-\$3.000.000,00

IMPLEMENTACION			Pinza Amperimétrica Uni-t Ut200a Con Estuche Auto			
Rango 200ª	1	\$99.000,00	\$104.000,00	-\$5.000,00	\$99.000,00	
		\$104.000,00		-\$5.000,00		

IMPLEMENTACION			Soldador Inversor 140 Amp 110/220v	1		
		\$479.900,00	\$499.900,00	-\$20.000,00	\$479.900,00	\$499.900,00
						-\$20.000,00

IMPLEMENTACION			electrodo E6013 ACERO ALCARBONO	1		
		\$133.000,00	\$153.000,00	-\$20.000,00	\$133.000,00	\$153.000,00
						-\$20.000,00

IMPLEMENTACION			termometro digital, pistola laser con infrarojo	1		
		\$69.000,00	\$89.000,00	-\$20.000,00	\$69.000,00	\$89.000,00
						-
		\$20.000,00				

IMPLEMENTACION			Juego De Herramientas 73 Pieza Mecánica	1		
		\$124.000,00	\$144.000,00	-\$20.000,00	\$124.000,00	\$144.000,00
						-\$20.000,00

Otros	1	\$400.000,00	\$450.000,00	-\$50.000,00	\$400.000,00	
		\$450.000,00		-\$50.000,00		

Subtotal			\$3.304.900,00		\$3.939.900,00	-
		\$635.000,00	\$25.304.900,00	\$31.439.900,00		-\$6.135.000,00

Costes inesperados (agregar una estimación del 30 %)						
		\$991.470,00		\$7.591.470,00		

Costes totales			\$3.304.900,00		\$32.896.370,00	
----------------	--	--	----------------	--	-----------------	--

CONCLUSIONES

Se realizó la actualización del inventario con el fin de tener el total control de los elementos en la PTAP la colina, cada inventario tienen su hoja de vida y algunos tienen su galería de fotos.

Se crearon los planos 3D de todas las estaciones de la PTAP la colina. se realizó los planos de las válvulas guillotinas y mariposas que se encontraban en las secciones de la planta la PTAP.

Se plantearon las diversas estrategias de un RCM para la PTAP la colina, con el fin de mejorar en su mantenimiento, se desarrolló una propuesta atractiva con la cual se piensa solucionar uno de los problemas más fundamentales del mantenimiento, el cual es tener un historial de cada elemento cuando falla y tener una cuadrilla propia para minimizar los costos de mantenimiento y mayor fiabilidad.

Se concluyó que la PTAP la colina tienen ciertos problemas con el área de mantenimiento, no se necesita un personal las 24 horas pero si se necesita rapidez y eficiencia a la hora de hacer un mantenimiento, la mayoría de mantenimientos son de inspección y limpieza, los mantenimientos de alto nivel como cambios de aceite o trabajos de soldadura están separados por alrededor de 5 meses. Esto genera tener una cuadrilla solo enfocada a una planta no es necesaria, por eso la propuesta de que esa plantilla debe rotar para todas las plantas teniendo en cuenta los trabajos ya estipulados y no atrasar los trabajos.

BIBLIOGRAFIA

- Balakrishnan, N., & Basu, A. P. (2019). *Exponential Distribution: Theory, Methods and Applications*. CRC PRESS.
- Crow, E. L. (1987). *Lognormal distributions*. new york: Marcel Dekker.
- del Castillo-Serpa, A. M.-B.-G. (2009). *Análisis de criticidad personalizados//Analysis of Criticity Personalized*. ingenieria mecanica .
- Depestre, L. O. (2012). *Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Revista Centro Azúcar.
- Hung, a. (2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC. *Enrgética*, 12-32.
- Kardec, A. y. (2001). *Mantenimiento, FunciónEstratégica*. Brasil,: Qualitymark.
- Loaiza Soto, J. C. (2018). *Diagnóstico del sistema operativo de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del Meta*.
- Mesa Grajales, D., Ortiz Sánchez, Y., & Pinzón, M. (2016). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 150-170.
- Molina, J. (2006). *mantenimiento y seguridad industrial*. univercidad nacional san luis.
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento-planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Rinne, H. (2008). *The Weibull Distribution: A Handbook*. CRC press.
- Salas, H. G. (2009). *Inventarios: manejo y control*. ecoe ediciones.
- Sexto Cabrera, L. F. (2020). *PROPUESTA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO;ANÁLISIS DE CRITICIDAD MÉTODO CUALITATIVO;MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM),;MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM);PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIXÁN MODULO II*. Universidad del Azuay.
- Stacy, E. W. (1965). *Parameter estimation for a generalized gamma distribution*. Technometrics.

- Tique, A. J., & perez, R. a. (2017). *Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio : planta de tratamiento de agua potable de El Espinal - Tolima.*
- V.SDeshpande, & J.PModak. (202). *Application of RCM to a medium scale industry.* ELSEVIER.
- Villada-Duque, F. (2016). El mantenimiento como estrategia competitiva. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia.*