

**CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA DE UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE 30.000 BWPD, CAMPO  
COSTAYACO.**

**JEFFER IVAN FIGUEROA CASAS  
ANDRES FELIPE MARTINEZ SAÑUDO**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO RIVERA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESPECCIALIZACION EN INSTRUMENTACION ELECTRONICA  
BOGOTÁ  
2014**

## Tabla de contenido

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Tabla de contenido.....                                       | 2  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                         | 4  |
| 2. OBJETIVOS .....                                            | 5  |
| 3. IDEA DEL PROYECTO .....                                    | 7  |
| 3.1. Antecedentes .....                                       | 7  |
| 3.2. Problema a solucionar:.....                              | 8  |
| 3.3. Descripción de la solución:.....                         | 8  |
| 3.4. Justificación: .....                                     | 9  |
| 4. INGENIERÍA CONCEPTUAL.....                                 | 9  |
| 4.1. Marco teórico.....                                       | 10 |
| 4.2. Estado del arte: .....                                   | 13 |
| 4.3. Especificaciones técnicas del producto.....              | 18 |
| 4.4. Requerimientos legales y de contratación.....            | 21 |
| 4.5. Limitantes del proyecto.....                             | 21 |
| 4.6. Riesgos del proyecto .....                               | 24 |
| 5. INGENIERÍA BÁSICA .....                                    | 26 |
| 5.1. Diagrama de bloques. ....                                | 26 |
| 5.2. Narrativa de los procesos que generan la solución- ..... | 26 |
| 6. INGENIERÍA DE DETALLE.....                                 | 32 |
| 6.1. Diagramas y planos de la solución .....                  | 32 |
| 6.2. Descripción de equipos planteados .....                  | 33 |
| 6.3. Bienes Capital .....                                     | 43 |
| Maquinaria y Equipos: .....                                   | 43 |
| Construcciones muebles y enseres.....                         | 44 |
| 7. Plan detallado de trabajo.....                             | 46 |
| 8. Organigrama de Trabajo .....                               | 48 |
| 8.1. Organigrama etapa diseño de ingeniería .....             | 48 |
| 8.2. Organigrama Equipo de Construcción.....                  | 49 |
| 9. Costos del Proyecto .....                                  | 49 |
| 9.1. Costo Administrativo. ....                               | 49 |
| 9.2. Costo de Ingeniería.....                                 | 50 |

|      |                                                    |    |
|------|----------------------------------------------------|----|
| 9.3. | Costo por Suministro de equipos y materiales ..... | 51 |
| 9.4. | Costo de Movilización .....                        | 52 |
| 9.5. | Costos construcción y puesta en marcha.....        | 53 |
| 9.6. | Total costo proyecto .....                         | 54 |
| 10.  | Conclusiones .....                                 | 55 |
| 11.  | Bibliografía.....                                  | 56 |

## Lista de figuras

|            |                                                          |    |
|------------|----------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1.  | ESQUEMA BÁSICO DE LA EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO.....         | 11 |
| FIGURA 2.  | ESQUEMA DE REINYECCIÓN DE AGUA EN CAMPOS PETROLEROS..... | 13 |
| FIGURA 3.  | DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA. ....                    | 26 |
| FIGURA 4.  | P&ID PLANTA COSTAYACO .....                              | 32 |
| FIGURA 5.  | PFD PLANTA COSTAYACO. ....                               | 32 |
| FIGURA 6.  | PLANTA GENERAL COSTAYACO. ....                           | 33 |
| FIGURA 7.  | SISTEMA DE BOMBEO.....                                   | 34 |
| FIGURA 8.  | SEPARADOR DE PLACAS INCLINADAS. ....                     | 34 |
| FIGURA 9.  | TANQUE SEPARADOR DE PLACAS INCLINADAS. ....              | 35 |
| FIGURA 10. | FILTROS AUTO-LAVABLES.....                               | 35 |
| FIGURA 11. | FILTROS AUTO-LAVABLES AMIAD. ....                        | 36 |
| FIGURA 12. | VISTA LATERAL FILTRO AMIAD.....                          | 38 |
| FIGURA 13. | FILTRO AMIAD.....                                        | 38 |
| FIGURA 14. | PARTES FILTRO AMIAD. ....                                | 39 |
| FIGURA 15. | MICRO-FILTRO. ....                                       | 40 |
| FIGURA 16. | SISTEMA MICRO-FILTRADO. ....                             | 40 |
| FIGURA 17. | TANQUE DECANTADOR DE LODOS.....                          | 41 |
| FIGURA 18. | SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS. ....                | 42 |
| FIGURA 19. | TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA.....                       | 42 |
| FIGURA 20. | ESQUEMA 3D PLANTA COSTAYACO. ....                        | 44 |
| FIGURA 21. | ÁREA REQUERIDA PARA LA PLANTA COSTAYACO.....             | 45 |

## Lista de tablas

|          |                                          |    |
|----------|------------------------------------------|----|
| TABLA 1. | ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO. .... | 19 |
| TABLA 2. | PARÁMETROS PLANTA COSTAYACO. ....        | 26 |
| TABLA 3. | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....           | 37 |
| TABLA 4. | CONTROLES Y ELECTRICIDAD.....            | 38 |
| TABLA 5. | PARTES FILTRO AMIAD. ....                | 39 |

## **1. INTRODUCCIÓN**

El siguiente trabajo aplica temas de formulación, evaluación y gestión de proyectos, poniendo en práctica los amplios conceptos y conocimientos recibidos

en estos campos, a fin de lograr introducir y obtener experiencia en estas ramas del saber. Se enfatiza en el análisis de riesgos de tal forma que estos, presentes siempre en todo proyecto puedan valorarse, cuantificarse y gestionarse para hacer disminuir el grado de incertidumbre siempre presente en cada una de las etapas del proyecto.

En la actualidad para competir con éxito las inversiones deben intensificarse, haciendo que estas resulten rentables y de efecto económico favorable y acumulativo para el desarrollo empresarial, es decir, la inversión debe traducirse en la generación de nueva riqueza. Esto significa invertir en los sectores, los lugares, los momentos y los objetivos sociales que aseguren mayor valor agregado mediante proyectos formulados de tal modo que se garantice la minimización del riesgo y la maximización del beneficio, tanto económico como social.

## **2. OBJETIVOS**

### **❖ Objetivo General**

Realizar una propuesta de implementación de una planta de tratamiento de agua para la industria petrolera, desarrollando diversas etapas del proyecto, partiendo desde la idea de negocio, hasta culminar con el presupuesto y costo del mismo.

❖ **Objetivos Específicos**

1. Definir la idea de negocio, basándonos en la problemática presentada en la compañía Gran tierra.
2. Identificar posibles métodos de solución a la problemática, con el fin de establecer la mejor opción para abordar este tema y dar solución.
3. Realizar la fundamentación conceptual acerca del proyecto para identificar y abordar de una manera adecuada la solución propuesta, desarrollando así ingeniería conceptual, base fundamental para el desarrollo del proyecto.
4. Definir y desarrollar la ingeniería básica de nuestro proyecto, base fundamental para lograr desarrollar la idea de negocio.
5. Desarrollar la ingeniería de detalle, como producto de la investigación y aplicación de conocimientos adquiridos en la especialización de instrumentación electrónica, basados en automatización de procesos.
6. Determinar y desarrollar el funcionamiento y elaboración de una planta de tratamiento de agua de 30.000 BWPD para una aplicación en campo Costayaco.
7. Definir el costo de ejecución del proyecto, precio de venta y negociación.

## **CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE**

# TRATAMIENTO DE AGUA DE 30.000 BHPD, CAMPO COSTAYACO.

## 3. IDEA DEL PROYECTO

### 3.1. Antecedentes

La empresa es una compañía petrolera llamada Gran Tierra de origen canadiense, también opera en Argentina y Perú, posee una participación del 50 por ciento en campo Costayaco, descubierto en el 2007 y ubicado en Putumayo. Para el 2014 tienen presupuestado un monto de inversión de US\$243mn, para explotación en Colombia, de este modo está planeado gastar US\$118mn en la perforación de cuatro pozos exploratorios y ocho de evaluación y desarrollo. Las perforaciones de desarrollo estarán enfocadas en los campos de Moqueta y Costayaco, dentro de la inversión estará un capital de US\$ 54mn destinados principalmente a inyección y tratamiento de agua en moqueta y Costayaco, la producción de barriles diarios por parte de Gran Tierra está estimada por encima de los 14.000.

El campo Costayaco actualmente es uno de los primeros en producción con un promedio de 13.709 barriles de crudo por día según datos de un artículo de *COLOMBIA ENERGIA*, este campo según cálculos realizados por parte de Gran Tierra, tendría unas reservas de 16,4 MMBBL, contando con campos exploratorios y productivos.

Si dirigimos nuestra mirada hacia el Putumayo, lugar de ubicación geográfica del campo Costayaco, encontramos que la cuenca del Caguan- Putumayo, representa un porcentaje importante en la producción de petróleo en el país, ya que esta región es una de las que más han sido desarrolladas en este tipo de industria, ubicando así a más de 4 compañías de extracción de crudo diferentes. La cuenca de Caguan - Putumayo está ubicada geográficamente en la suroccidente del

territorio, con un área de 110.304 Km<sup>2</sup>, en donde encontramos los departamentos de Putumayo, Caquetá y Meta.

### **3.2. Problema a solucionar:**

La compañía petrolera requiere la implementación de una planta de tratamiento de agua en el campo Costayaco, debido a que necesitan reutilizar el agua implementada en la producción del crudo para que posteriormente puedan realizarse las siguientes alternativas; ser inyectado al subsuelo, ser almacenada o ser vertida en fuentes hídricas. Debido a esto el problema presentado por esta compañía es que durante el proceso de extracción, además de petróleo crudo, sale agua la cual contiene sales, metales pesados tóxicos y gas, lo cual tiene un impacto ambiental alto, el agua puede ser reinyectada lo que genera efectos positivos al medio ambiente, alguno de los aspectos negativos se dan debido a derrames accidentales de esta agua o en un vertido irracional al medio ambiente. La relación de agua con respecto a barriles explotados es alta, por lo que se considera como mejor opción la reinyección de esta en los pozos. El agua presente en los yacimientos de petróleo, una vez extraída a la superficie, resulta sumamente tóxica para el medio ambiente y para la salud humana.

### **3.3. Descripción de la solución:**

Se implementara un sistema de tratamiento de agua, que está compuesto por dos tanques CPI, estos tanques serán de almacenamiento con una capacidad de 500 barriles cada uno, 2 bombas booster y dos bombas de inyección, estas bombas estarán accionadas por arrancadores desde un centro de control, este accionamiento se puede realizar de forma manual o automática, por medio de un PLC. Con esto lograremos la separación de grasas, aceites, sales y residuos pesados. Esto se llevara a cabo gracias a un sistema de filtración automática para remover las sustancias anteriormente mencionadas y finalmente un sistema de

pulimiento de microfiltración. Con el fin de automatizar el funcionamiento por medio de la instrumentación electrónica, se implementara una HMI que permita el manejo de la estación de forma automática y remota, reduciendo de esta manera fallas por mala interpretación de medidas por parte del operario.

### **3.4. Justificación:**

En los campos petroleros de la compañía se da un fenómeno en la operación de extracción de crudo; por cada barril de crudo se extraen en promedio 5 barriles de agua, con la implementación de la planta de tratamiento de agua, la compañía Gran Tierra encargada de la explotación en el campo Costayaco, por tal motivo requieren la construcción, instalación, puesta en marcha de una planta de tratamiento de agua de inyección de 30.000 BWPD. El cliente presenta deficiencias en productividad en cuanto extracción del crudo, así como posibles problemas legales con entidades ambientales, por contaminación o mal manejo de aguas que contengan trazas de petróleo. Los siguientes beneficios, son producto de la solución:

- ❖ Aumento en los niveles de producción de crudo.
- ❖ Se reducirá a 0, los vertimientos de aguas que contengan sales o materiales pesados, perjudiciales para la vida humana.
- ❖ Se mitigaran los impactos al medio ambiente.
- ❖ Se evitan sanciones y sellamientos del pozo, por malos usos ambientales.

## **4. INGENIERÍA CONCEPTUAL**

#### **4.1. Marco teórico**

##### **Descripción del proceso o del servicio:**

Durante el proceso de extracción, junto con el petróleo crudo, sale además agua de formación (agua con sales y metales pesados tóxicos) y gas. Para reducir el impacto ambiental, el agua de formación puede ser devuelta al pozo, y así se queda dónde estaba, debajo de la tierra. A este proceso se le llama "reinyectar el agua de formación". Los impactos ambientales se producen ya sea debido a derrames accidentales de esta agua o en un vertido irracional al medio ambiente. El agua de formación presente en los yacimientos de petróleo, una vez extraída a la superficie, resulta sumamente tóxica para el medio ambiente y para la salud humana.

La estación de tratamiento de agua en plataformas de producción de crudo está compuesta por dos tanques de almacenamiento, bombas booster y bombas de inyección, las bombas están impulsadas por motores eléctricos que están alimentados desde arrancadores ubicados en el MCC (Centro de Control de Motores), en estos arrancadores se tiene un selector manual automático (HoA) que permite seleccionar si el arranque es desde el campo (Manual) o desde un PLC (Automático).

La operación de la estación en la actualidad se la realiza sólo de forma manual, un operador cuida del funcionamiento de la planta, visualiza el nivel de líquido existente en los tanques mediante una regleta que se encuentra colocada en uno de estos, de acuerdo a esa medida el operador encenderá o apagará tanto las bombas booster como las bombas de inyección desde unos pulsadores ubicados en campo.

Dada la necesidad de preservar el medio ambiente, tener un registro del estado de las bombas, las presiones de cada una de ellas, el nivel de líquido existente en los tanques y las alarmas que este sistema puede dar, se hace necesario la utilización

de instrumentación electrónica y el control de este proceso mediante una interfaz HMI que permita el manejo de la estación de forma automática y evite las fallas que pueden producirse por errores de visualización del operador.

El petróleo es un líquido oleoso de origen natural compuesto por diferentes sustancias orgánicas. Se encuentra en grandes cantidades bajo la superficie terrestre y se emplea como combustible y materia prima para la industria química. El petróleo y sus derivados se emplean para fabricar medicinas, fertilizantes, productos alimenticios, objetos de plástico, materiales de construcción, pinturas o textiles y para generar electricidad.

Generalmente, el fluido obtenido de los depósitos de petróleo mediante perforación, consiste en una mezcla de petróleo, gas natural, agua salada conteniendo tanto sólidos disueltos como en suspensión. Los sólidos en suspensión suelen consistir en arenas, arcillas, sales y minerales del depósito.

Una vez en la superficie, el gas, petróleo y agua producidos desde los pozos de petróleo son separados en varias etapas. Por su composición el agua de formación presente en los yacimientos de petróleo, una vez extraída a la superficie, resulta sumamente tóxica para el medio ambiente.

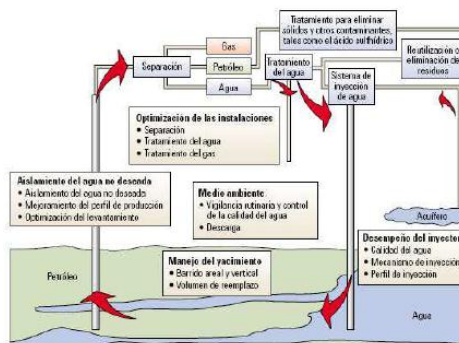


Figura 1. Esquema básico de la extracción de petróleo.

Los impactos ambientales se producen, ya sea debido a derrames accidentales de esta agua, o en un vertido irracional al medio ambiente que toman contacto con los terrenos y fuentes de agua dulce circundantes. Existen dos procedimientos para su eliminación: tratamiento y vertido a las aguas superficiales e inyección en una formación del subsuelo adecuada.

La totalidad del agua de formación, de proceso y aguas grises y negras, se reinyectarán a profundidad en la misma formación del reservorio, evitando la posibilidad de contaminación de aguas superficiales.

El procedimiento operativo se da inicialmente con la llegada del agua, que pasa primero por dos tanques que sirven de amortiguadores de las oscilaciones de presión, estabilizándola, aquí el flujo llega a una presión determinada, la bomba de inyección, la eleva venciendo la presión de la formación e inyectando el agua a través de los poros de la misma. La figura 2 muestra un esquema de reinyección de agua en campos petroleros. Los tanques cuentan con una regleta vertical que sirve para medir el nivel de líquido contenido en ellos.

El agua a reinyectar previamente llega a dos tanques de almacenamiento, al momento de que estos están con un nivel alto se procede a evacuar el agua, lo cual se lo realiza mediante dos bombas denominadas Booster que succionan el agua con una presión baja para después pasar por una de las dos bombas de inyección que incrementan dicha presión y dirige el líquido hacia los pozos destinados para la re-inyección de agua, las bombas de inyección trabajan alternadamente (una en operación y la otra en stand by), para mantener la presión en toda la línea desde la batería hasta el pozo, las bombas están impulsadas por motores eléctricos que están alimentados desde arrancadores ubicados en el Centro de Control de motores.

Se resalta que la operación de la estación en la actualidad se la realiza de forma manual, un operador cuida del funcionamiento de la planta, visualiza el nivel de líquido existente en los tanques mediante una regleta que se encuentra colocada en uno de estos, de acuerdo a esa medida el operador encenderá o apagará tanto las bombas booster como las bombas de inyección desde unos pulsadores ubicados en campo.

Después del proyecto se tendrá en forma automática, el sistema de inyección de agua será monitoreado por un HMI, cuando el nivel de los tanques de almacenamiento se encuentren en alto, una bomba de succión y una bomba de inyección se accionarán de esta forma descargando el agua hacia el pozo hasta que el nivel de los tanques sea bajo, cada bomba tendrá un transmisor tanto a la succión como a la descarga de sí mismo para sensar la presión.

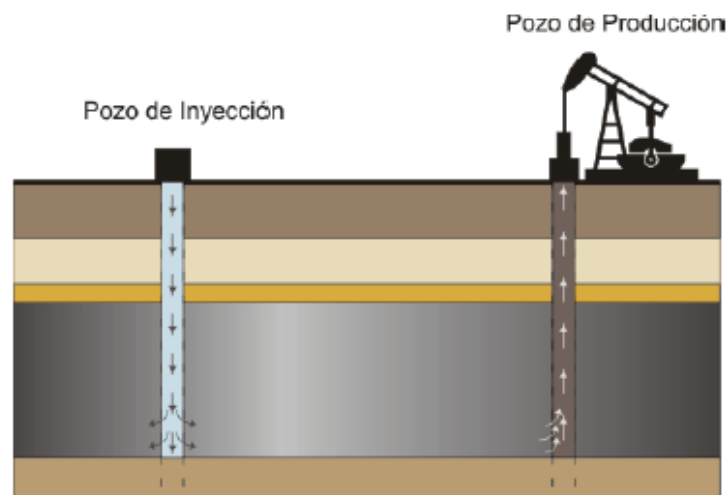


Figura 2. Esquema de reinyección de agua en campos petroleros.

#### 4.2. Estado del arte:

Teniendo en cuenta la problemática descrita en los puntos anteriores, que presenta la compañía **Gran Tierra** con respecto a los residuos de agua que son extraídos en el proceso de explotación del petróleo, nos dimos a la tarea de indagar cual era el estado de la tecnología, para este tipo de procesos, es decir,

que soluciones han sido implementadas en problemáticas similares, cual es la mejor forma de atacar el problema y cuál es la mejor solución plantada hasta el momento. Para este tipo de procedimientos no encontramos patentes como tal de la idea que intentamos desarrollar, ya que varias empresas han desarrollado la problemática de la misma manera.

Para abordar más a fondo el problema se hará una breve introducción a la problemática, la cual se basa en que la operación de explotación del petróleo genera 4 barriles de agua contaminada por cada barril de crudo, esta agua debe ser almacenada, tratada para poder ser almacenada para reinyección o vertimiento en fuentes hídricas. Por esta razón es que como solución se planteó la implementación de una planta de tratamiento de agua que tenga inyección de 30.000 BWPD. Para poder determinar el estado de la tecnología para este tipo de casos, investigamos distintos proyectos similares que presentan básicamente una solución similar a la nuestra, en donde se implementa tanques de almacenamiento de agua contaminada, en donde trabajaran cierto números de bombas y se realizara un proceso de filtración y sistemas de pulimiento de micro filtración, todo esto controlado desde un PLC, que contiene cierto tipos de actuadores y sensores para el control del proceso.

En la actualidad existen muchas normas y legislaciones que castigan drásticamente a las compañías que contaminen fuentes hídricas, por tal motivo es importante que las cargas y concentraciones existentes, sean reguladas, tratadas y eliminadas, por medio de tratamiento en plantas.

En los campos petroleros, se vive esta misma situación, al igual que diferentes industrias, el agua residuo de procedimientos de los campos petroleros debe ser dispuesta a tratamiento antes de ser reutilizada para reinyección, para almacenaje o para ser vertida en afluentes hídricos. Normalmente el agua que se obtiene al realizar la explotación de petróleo, es utilizada o dispuesta en diferentes procedimientos, como lo son, vertimiento en corrientes hídricas o procesos de

reinyección para recuperación secundaria, en los dos casos el agua debe ser primero tratada antes de ser dispuesta en alguno de estos dos procedimientos.

Las plantas de tratamiento de agua pueden variar su estructura funcional, dependiendo de diferentes factores como los son, factores económicos, técnicos, parámetros específicos de funcionamiento, entre otros. Pero básicamente se habla que un sistema de tratamiento de agua está compuesto por componentes como; eliminadores de patógenos, eliminadores de sólidos en suspensión, removedores de DBO, eliminador de nitrógeno, eliminadores de metales pesados, eliminadores de sustancias inorgánicas y de detergentes y fenoles. También en el proceso de adecuación del líquido existen etapas para su procedimiento, la primera de ellas es el tratamiento básico, en el que se remueven elementos que puedan causar problemas de funcionamiento a la planta de tratamiento de agua, el tratamiento intermedio realiza la función de remoción de sólidos parciales disueltos en el líquido, normalmente el método utilizado en esta etapa es la sedimentación, después de esta etapa sigue el tratamiento avanzado, en donde se remueven nutrientes y se mejora la calidad del agua.

Basándonos en un artículo sobre la perforación de un pozo que inició el 27 de Enero de 2011 y luego de casi tres semanas alcanzó una profundidad total de 7.371 pies, que equivale a 2.25 kilómetros desde la superficie. Los resultados de las pruebas iniciales realizadas en la formación Honda alcanzaron caudales de 318 barriles de fluido por día con un corte de agua del 71%, lo que corresponde a 92 barriles de petróleo por día en promedio.

Ecopetrol inicio una etapa de evaluación del descubrimiento para lo cual previo la realización de pruebas extensas, con el propósito de determinar el potencial de producción de la formación Honda y el volumen de hidrocarburos recuperables.

En este mismo sentido, el manejo de las aguas residuales industriales que se reutilizan en los campos Huila Norte y Tello consiste en una planta de inyección de

agua (PIA), en donde es tratada hasta cumplir las condiciones para ser reinyectada. En el proceso de inyección en el año 2008 se reutilizaron 6.879.885 m<sup>3</sup>/año y en 2009, 6.490.430 m<sup>3</sup>/año, correspondientes al 84% y 82% del agua, respectivamente. Actualmente se construyen plantas similares en otros campos de producción.

Adicionalmente, algunos campos contemplan la reducción de estaciones de recolección, buscando la minimización de vertimientos y la reinyección del agua de formación extraída de los pozos como sistema de recobro secundario para aumentar la producción de hidrocarburos. También se han empezado a desarrollar programas para recircular el agua que sale de formación, como práctica para evitar vertimientos a cuerpos superficiales.

Según estudios y prácticas realizadas por algunas de las empresas anteriores que manejan la inyección de agua se tienen que respetar los siguientes ítems para tal fin:

- ❖ El agua no debe ser corrosiva. El sulfuro de hidrógeno y el oxígeno son dos fuentes comunes de problemas de corrosión.
- ❖ El agua no debe depositar minerales bajo condiciones de operación. El encostramiento (Scale) se puede formar de la mezcla de aguas incompatibles o debido a cambios físicos que causan que el agua se convierta en súper saturada. El encostramiento mineral depositado por el agua usualmente consiste de uno o más de los siguientes compuestos químicos: BaSO<sub>4</sub>, SrSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub> \* 2H<sub>2</sub>O, CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, FeS y Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. El encostramiento mineral dentro del sistema de inyección no solo reduce la capacidad de flujo sino también proporciona un medio para que ocurra corrosión.
- ❖ El agua no debe contener sólidos suspendidos o líquidos en suficiente cantidad para causar taponamiento de los pozos de inyección. Los

materiales que pueden estar presentes como material suspendido son los compuestos que forman encostramiento tal como los mencionados en el punto anterior, limo, petróleo, microorganismos y otro material orgánico.

- ❖ El agua inyectada no debe reaccionar para causar hinchamiento de los minerales arcillosos presentes en la formación. La importancia de esta consideración depende de la cantidad y tipo de minerales arcillosos presentes en la formación, así como de las sales minerales disueltas en el agua inyectada y permeabilidad de la roca.
- ❖ La salmuera debe ser compatible con el agua presente inicialmente en la formación. El agua producida e inyectada debe ser manipulada separadamente, si no son completamente compatibles.

Para culminar el estado del arte de nuestro trabajo, queremos enunciar algunos equipos de tratamiento de agua basados en la industria petrolera, para esto dividiremos la clasificación de los equipos según su principio de funcionamiento:

- ❖ Filtros: en su mayoría son tanques que se encuentran especialmente cerrados y presurizados, que tienen como función presentar restricción a sólidos y aceites contenidos en el agua, quedando atrapados por un lecho filtrante. En el mercado para la industria petrolera existen muchos tipos de filtros, como por ejemplo de lecho filtrante, filtros duales, filtros con cascara de nuez, filtro de flujo único, filtro de doble flujo, filtros de carbón activo, filtros bicapa, filtros tricapa. Dentro de las marcas de fabricantes más sobresalientes en cuanto a filtros, encontramos las siguientes; New Water, Unicel, Metrol Auto-Felt, Metrol, Hydromation, Sabian, SFX, Suretrap, Silver Band, Filtraflo, Biostyr, Biosep, Filtra matic, entre otros.

- ❖ Separadores por flotación: son equipos que por medio del principio de burbujeo de gas, al hacer contacto con partículas disueltas de aceite, incrementan la diferencia de densidades lo que genera que las gotas de aceite queden fácilmente en la superficie, para que luego sean eliminadas. Dentro de este tipo de separadores encontramos los siguientes tipos, separadores verticales, horizontales, tanques API, reactores de líquidos y gas, unidades de flotación, unidad de flotación hidráulica, flotación mecánica, flotación mecánica. Las marcas que brindan este tipo de soluciones son; Unicel, GRL, Revolift, tridair y Wemco.
- ❖ Equipos separadores de gravedad: funcionan bajo el principio de separación por gravedad, dentro de los cuales se encuentran los siguientes tipos; Interceptor de placas corrugadas, tanque vertical de desnatado, Actiflo, tanque Skim. Las marcas de este tipo de equipos principalmente son; Unicel, Natco y Wemco.
- ❖ Equipos de sedimentación: este tipo de equipos como su nombre lo indica funcionan bajo el principio de sedimentación, dentro de los que se encuentran los siguientes tipos; Hidrociclón, desanador. Las marcas en las que sobresalen en este tipo de equipos son; Vortoil y Krebs.

### **4.3. Especificaciones técnicas del producto**

#### **Especificaciones de funcionamiento**

La planta de tratamiento de agua tiene un caudal máximo de 30000BWPd en donde se tienen los siguientes parámetros:

| Parámetro             | Unidad | Valor |
|-----------------------|--------|-------|
| Caudal                | BWPD   | 30000 |
| Sólidos en suspensión | mg/L   | ≤300  |
| Grasas y aceites      | Mg/L   | ≤100  |

**Tabla 1. Especificaciones de funcionamiento.**

La planta de tratamiento de agua de inyección de 30.000 BWPD tiene los siguientes componentes técnicos:

- ❖ Tanques CPI, capacidad de 500 barriles cada uno.
- ❖ Bombas booster.
- ❖ Bombas de inyección.
- ❖ PLC.
- ❖ HMI
- ❖ Transmisores de presión
- ❖ Transmisor de flujo en la línea de inyección de agua de formación.
- ❖ Transmisores de nivel.

### **Especificaciones de montaje físico**

Las unidades de tratamiento de agua para este tipo de aplicaciones tiene los siguientes elementos:

- ❖ Interceptor de placas corrugadas.
- ❖ Filtros automáticos auto limpiantes.
- ❖ Microfiltración.
- ❖ Decantador de lodos.

El sitio en donde se va a hacer la implementación de la instrumentación de la planta de inyección de agua, está ubicada en el campo Costayaco, este pozo petrolero está ubicado en el departamento del Putumayo. Las condiciones de sitio deben ser:

- ❖ Terrenos planos
- ❖ No presentar humeado agresiva
- ❖ Tener una plataforma o plancha de cemento
- ❖ El lugar debe estar cerca del punto de inyección de pozo, para fines de no presentar pérdidas de presión al momento de realizar el proceso.

### **Especificaciones de ambiente de operación**

- ❖ En la región encontramos temperaturas superiores a 27°C.
- ❖ Alta humedad.
- ❖ Precipitaciones: 2.300 y 3.500 mm.
- ❖ Humedad relativa : 85-90%

### **Especificaciones de gestión de la solución**

Una interfaz Humano-Máquina, HMI (Human-Machine Interface), es un mecanismo que le permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido/apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial y realizar control por supervisión. La interfaz puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato y pulsadores hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar en la pantalla del monitor representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta.

Un ejemplo común de una HMI es el cajero automático que posibilita al usuario ejecutar una serie de transacciones bancarias.

Para la implementación de la solución se requiere una HMI, la cual debe ser supervisada y controlada por un operador para el correcto funcionamiento, ya que allí se presentara el monitoreo de todos los sensores que contiene el sistema.

#### **4.4. Requerimientos legales y de contratación**

##### **Legales**

- ❖ *Código ASME Sec. V, Artículo 6 "Inspección por líquidos penetrantes"*
- ❖ *American Petroleum Institute*
- ❖ *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*
- ❖ *Norma técnica Colombiana*
- ❖ *National Electric Code.*
- ❖ *International Society of Atomation*
- ❖ *American Society of mechanical Engineers*

##### **Contractuales**

- ❖ ASME B31.4            Tipo de tuberías para transporte de líquidos.
- ❖ API RP-551            Procesos de medición en instrumentación.
- ❖ API RP-552            Sistemas de transmisión
- ❖ ASME B1.20.1        Medida de tubería de propósito general.

#### **4.5. Limitantes del proyecto**

##### **Organizacional:**

La automatización del sistema de inyección de agua a implementar necesitara una persona que se encargue de la administración y dirección del proyecto (cotizaciones y adquisición de materiales, suministro de elementos y herramientas a utilizar, control del correcto desarrollo del proyecto, supervisión de tiempos y tareas a cumplir), personal especializado en: construcción de tableros de control (funcionamiento de elementos, cableado eléctrico, sistemas de seguridad), realización de sistemas SCADA (software de control e interfaces HMI), una persona con conocimientos en comunicaciones industriales, personal con experiencia en instrumentos de medición.

La empresa se encuentra en la capacidad de realizar este proyecto garantizando calidad y eficiencia en el proceso de inyección de agua, además la empresa ofrece acompañamiento de personal en campo para cada una de las etapas de instalación, hasta el arranque efectivo del proceso.

Se subcontratara personal solamente para realizar la carcasa del tablero de control y para el transporte adecuado del mismo hasta el sitio en que será instalado.

### **Legal:**

Para realizar la contratación y hacernos cargo de este proyecto se exige que tengamos los documentos legales obligatorios y los exigidos por el cliente, estos conllevan tanto requisitos comerciales, tributarios, de funcionamiento y de seguridad laboral.

Para los requisitos comerciales se necesita estar inscrito en el registro mercantil de la cámara de comercio la cual ofrece diferentes funciones.

En los requisitos tributarios se obliga a estar inscrito en el Registro Único Tributario (RUT).

Para cumplir los requisitos de funcionamiento se hace necesario tener: registro de industria y comercio, certificado de uso de suelos, licencia sanitaria, certificado de bomberos y Sayco y Acimpro.

Por últimos en los requisitos de seguridad laboral se exige tener un reglamento de higiene y seguridad industrial y un reglamento interno de trabajo. Nuestra empresa cuenta con todos los requisitos exigidos para el desarrollo del proyecto (automatización de un sistema de inyección de agua) y está al día con todos los documentos que exige la ley.

#### **Financiero:**

El proceso de instrumentación del proyecto de automatización del sistema de inyección de agua cuesta aproximadamente mil millones de pesos (\$1000000000), a eso se incluye costos de ingeniería, configuración, montaje actividades de comisionamiento, arranque y puesta en marcha, lo que da lugar a un valor de proyecto de aproximadamente mil quinientos millones de pesos (\$1500000000). Nuestra empresa cumple con los requisitos de capital que exige el proyecto por lo tanto tenemos la capacidad financiera para hacernos cargo del proyecto y desarrollarlo sin inconvenientes ofreciendo calidad y eficiencia en la elaboración.

#### **Infraestructura:**

Nuestra empresa cuenta con todo lo necesario respecto a recursos físicos y materiales para acoger este proyecto, dando garantía, calidad y confiabilidad en el desarrollo del sistema de automatización.

Poseemos las herramientas necesarias para la correcta construcción de tableros de control, garantizando su funcionamiento.

Contamos con los programas y las licencias originales de los diferentes softwares que se utilizan para programar los controladores lógicos programables (PLC) así como computadores y maquinas óptimas que soporten los trabajos y tareas que se quieran realizar.

Por otro lado contamos con diversos proveedores de equipos, materiales, herramientas y elementos a utilizar los cuales nos han brindado total seguridad y eficiencia en la provisión y entrega de los recursos, dándonos confianza a la hora de realizar el trabajo.

#### **4.6. Riesgos del proyecto**

##### **Identificación de riesgos:**

Un riesgo importante en el proyecto, es el de los costos y el valor del proyecto. Si el precio estimado al desarrollo del proyecto está por debajo de los costos que en verdad se utilizan para la realización del sistema, nos enfrentaremos a un grave problema de compleja solución.

El incumplimiento de tiempos es otro riesgo que debemos tener en cuenta. Este riesgo lo tendremos presente en todo el proceso de desarrollo del proyecto, nos vemos enfrentados a incumplimiento de los proveedores al entregar el equipo y materiales de trabajo, por problemas y dificultades en las tareas que retrasen las labores del equipo de trabajo, retraso de las empresas que se subcontraten para la realización de algunas tareas, etc. Hay diversas circunstancias que pueden hacer que se retrase las fechas de entrega del proyecto terminado completamente.

Otro riesgo importante a tomar en cuenta es el incorrecto funcionamiento del sistema, esto podría suceder a causa de una malinterpretación de algunas especificaciones, por instrumentos o equipos defectuosos de fábrica utilizados en

la implementación del proyecto o la mala realización de alguna tarea en una de las etapas del desarrollo del proyecto.

### **Gestión de los riesgos:**

Para realizar los costos de un sistema debemos asesorarnos en fuentes confiables para realizar las cotizaciones, además contar con profesionales con experiencia en instrumentación y automatización que puedan ayudarnos en la realización del presupuesto del proyecto y así tener un valor del proyecto más exacto.

Si el proyecto ya se empezó a desarrollar como una opción se eliminarían recursos al proyecto, lo que haría que los tiempos de elaboración se alargaran.

Para estimar tiempos más exactos debemos estudiar concretamente cada etapa del proyecto, analizando las posibles complicaciones que se pueden presentar y así acordar tiempos razonables para la entrega de cada tarea. Por otro lado los proveedores a los que acudamos, deben ser empresas serias y responsables que cumplan con los tiempos de realización y entrega de lo que sea solicitado, esto también aplicaría a las empresas con las que subcontratemos. Si hay tareas retrasadas, se debe asignar más recursos a dichas tareas pero esto conlleva a que aumenten los costos del proyecto.

Para evitar problemas en el funcionamiento de sistema, se deben hacer pruebas o exigir certificados de funcionamiento de todos los componentes los elementos que se adquieran, también se deben probar cada una de las etapas del proyecto con sus respectivos sistemas de seguridad y alimentación, por último se debe asignar personal competente y con experiencia a cada una de las tareas para que estas sean realizadas adecuadamente teniendo la calidad exigida.

## 5. INGENIERÍA BÁSICA

### 5.1. Diagrama de bloques.

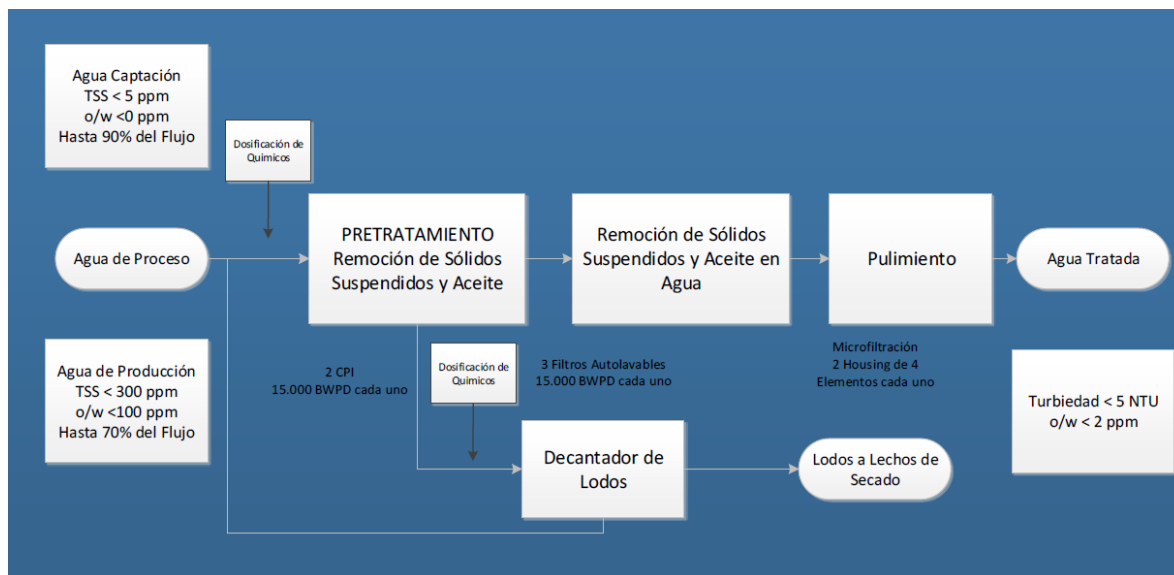


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema.

### 5.2. Narrativa de los procesos que generan la solución-

El sistema de tratamiento de agua se diseñó para un caudal máximo de 30000 BWPD y para tratar los siguientes parámetros especificados en la siguiente tabla, correspondiente al campo Costayaco:

| Parámetro             | Unidad | Valor |
|-----------------------|--------|-------|
| Caudal                | BWPD   | 30000 |
| Sólidos en suspensión | mg/L   | ≤300  |
| Grasas y aceites      | Mg/L   | ≤100  |

Tabla 2. Parámetros planta COSTAYACO.

De acuerdo a dar solución a la problemática presentada por la compañía, la calidad de agua objetivo esta direccionada al tratamiento hacia la turbidez con valores menores de 5 NTU y Grasas y Aceites con una concentración menor de 2 mg/L.

El sistema de tratamiento está compuesto por un CPI, para la separación de grasas y aceites, un sistema de filtración automática, para remover solidos suspendidos, grasas y aceites, finalmente un sistema de pulimiento de microfiltración. Como se describen a continuación.

#### ❖ ALIMENTACION DE AGUA CRUDA

El flujo de agua de captación y de formación alimenta a los tanques CPI, por medio de una tubería de 8" la cual se divide en dos tuberías de 6" para ingresar a cada uno de los tanques.

En la tubería inicial de 8" se encontrara una válvula actuada neumáticamente de simple efecto que controlara el paso de agua al sistema, Además un Flow Switch para indicar el flujo de agua.

El sistema de alimentación contara con dos sistemas de dosificación de químicos (coagulante y neutralizante). Si el Flow switch se acciona el sistema de dosificación de coagulante y neutralizante estará bombeando, de lo contrario los sistemas de dosificación estarán apagados. Estos sistemas están compuestos por dos bombas dosificadoras en back-up. Si en los tanques de almacenamiento de químicos se detecta un nivel bajo se generara una alarma para indicar que no hay producto químico.

El flujo de entrada será regulado por una válvula de control, de tal manera que el flujo de entrada al sistema sea como máximo el caudal de diseño de 30000 BWPD.

## ❖ TANQUES CPI

El sistema de separación de grasas y aceites está conformado por de tres procesos:

### ✓ Separación de aceites y grasas:

El sistema de separación de grasas y aceites está compuesto por un canal con compuerta nivelable, en donde se recolectaran los aceites separados para que luego sean conducidos hacia un tanque de recolección de aceite, en donde estará un sensor de nivel tipo radar el cual controlara el sistema de bombeo que lo compone una bomba neumática, accionadas por una válvula de control de aire.

### ✓ Evacuación de lodos:

El sistema de evacuación de lodos generados en el CPI, funcionara manualmente según la frecuencia de generación de lodos. Para evacuar lodos se abrirán las válvulas de control de lodos manualmente y se activara un pulsador para que las bombas neumáticas sean activadas por medio de una válvula de control de aire y así el lodo generado en los CPI sea enviado a los decantadores de lodos.

### ✓ Salida de agua clarificada

El agua clarificada de los CPI es conducida a un tanque de equilibrio el cual tendrá un sensor de nivel ultrasónico que controlara el sistema de bombeo, de tal forma que si existe un nivel alto en el tanque, este cerrara la válvula de control de alimentación y se generara una alarma para indicar que hay que regular las válvulas de control inicial.

Igualmente se tiene un sistema de recirculación de agua clarificada desde el tanque de equilibrio hacia las tolvas de los CPIs. Cuando se finalice la evacuación de lodos del sistema, dos bombas centrifugas alternadas y controladas por el sensor de nivel ultrasónico del tanque de equilibrio, inyectaran agua a las tolvas para hacer limpieza.

## ❖ SISTEMA DE BOMBEO

El sistema de bombeo está compuesto por tres bombas centrifugas en paralelo que trabajaran por alternadamente o en cascada, con una capacidad máxima de 15000 BWPD cada una. Serán controladas por el sensor de nivel ultrasónico en el tanque de equilibrio. Además el sistema tendrá un variador de frecuencia que estará controlado por el transmisor de caudal, que estará en la tubería de salida del sistema de tratamiento. Igualmente el sistema de bombeo se apagara si el tanque de almacenamiento de agua tratada está en su nivel máximo.

## ❖ SISTEMA DE FILTRACIÓN AUTOMÁTICA

Posteriormente al sistema de bombeo se encuentran tres unidades de filtración en paralelo con capacidad máxima cada una de 15000 BWPD, que constará cada una de dos etapas de filtración, un pre-filtro grueso y una malla fina de acero inoxidable.

El agua de proceso entra a cada uno de los filtros automáticos cilíndricos, pasa a través del tamiz grueso de afuera hacia el centro. Posteriormente el agua atraviesa por la malla fina de adentro hacia afuera, para salir ya filtrada.

Una válvula de lavado se abrirá y la válvula de regulación de caudal a la salida del sistema de filtración automática regulara el caudal cuando cualquiera de los filtros entre en ciclo de lavado con el fin de nivelar presiones en el sistema la cual causa una caída en la presión en la cámara de lavado. La caída de presión crea una alta velocidad, en el área de la pantalla en cada abertura de las boquillas de ajuste automático que aspira agresivamente los sólidos retenidos en el medio filtrante. Durante este proceso, el conjunto de accionamiento viaja a través del colector de agua de lavado a la válvula de lavado, en donde la torta de lodo es expulsada hacia los decantadores de lodos. Durante este proceso, el conjunto de accionamiento hace girar el colector a una velocidad lenta y constante, mientras que el controlador de movimiento mueve linealmente el colector.

Todo esto controlado desde un PLC que tiene el equipo de filtración y además controlado desde el tablero general del sistema.

### ❖ MICROFILTRACIÓN

Posteriormente a la filtración el agua ingresa a dos housing de microfiltración en paralelo con elementos de filtración con tamaño de poro de 5 $\mu$ m, en donde se encontrará un sistema de presión diferencial con el fin de poder indicar el momento de recambio de los elementos de filtración. Cada uno de los housing de microfiltración tendrá la capacidad de tratar el caudal máximo de diseño (30000 BWPD), con el fin de que cuando entre en mantenimiento una de las unidades de microfiltración la otra pueda operar normalmente. En operación normal las dos funcionan al mismo tiempo a la mitad de su capacidad.

Cada unidad de microfiltración tendrá dos drenajes para evacuar toda el agua contenida en los housing en el momento de realizar el recambio de elementos de filtración.

A la salida del sistema de microfiltración se encontrara un sistema de dosificación de químicos el cual estará encendido cuando el sistema de bombeo este encendido. Además se encontrara un sistema de medición de flujo (FIT) que estará funcionando con los variadores de frecuencia (VFD) del sistema de bombeo. Igualmente se encontrara un elemento de medición de presión (PIT) que indicara la presión de salida del sistema.

### ❖ SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS

El sistema de tratamiento de lodos recibirá lodos generados en los tanques CPI, Filtros automáticos y drenajes del sistema de microfiltración.

Este sistema lo componen dos unidades de decantación de lodos. Cada unidad tiene sensores de nivel ultrasónicos con interlock a las válvulas de control de flujo de lodo, a la entrada de cada uno de los decantadores.

Solo operara una unidad a la vez, cuando un decantador llegue a nivel alto se cerrara la válvula correspondiente, entonces entrara a operar el otro decantador.

Cuando estén abiertas las válvulas de control de flujo de lodos, se activara el sistema de dosificación de polímero.

Una vez el nivel alto de los decantadores este activo se generara una alarma con temporizador, con el fin de indicar el tiempo de espesamiento del lodo. Ya con el tiempo cumplido de espesamiento, se determinara manualmente por medio de un mando, en la pantalla del PLC se dará la señal para abrir la válvula de control de aire de las bombas neumáticas, para enviar los lodos ya espesados a los lechos de secado de Gran Tierra.

Antes de bombear el lodo a los lechos de secado se determinara la altura del nivel de lodo y así poder dejar el nivel de agua clarificada para recirculación al tanque de equilibrio, por medio de un sistema de bombeo de recirculación se abrirá la válvula de control de agua clarificada. El sistema de bombeo de recirculación será controlado por el sensor ultrasónico de los decantadores. Ya con solo el lodo en los decantadores se procede a bombear el lodo restante a los lechos de secado.

## ❖ SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS

Cada uno de los sistemas de dosificación estará compuesto por: Un tanque de almacenamiento de químicos, dos bombas dosificadoras (una en funcionamiento y la otra en back-up), sensores de nivel de bajo nivel y de alto nivel y alarmas por nivel bajo en los tanques de almacenamiento de químicos.

## 6. INGENIERÍA DE DETALLE

### 6.1. Diagramas y planos de la solución

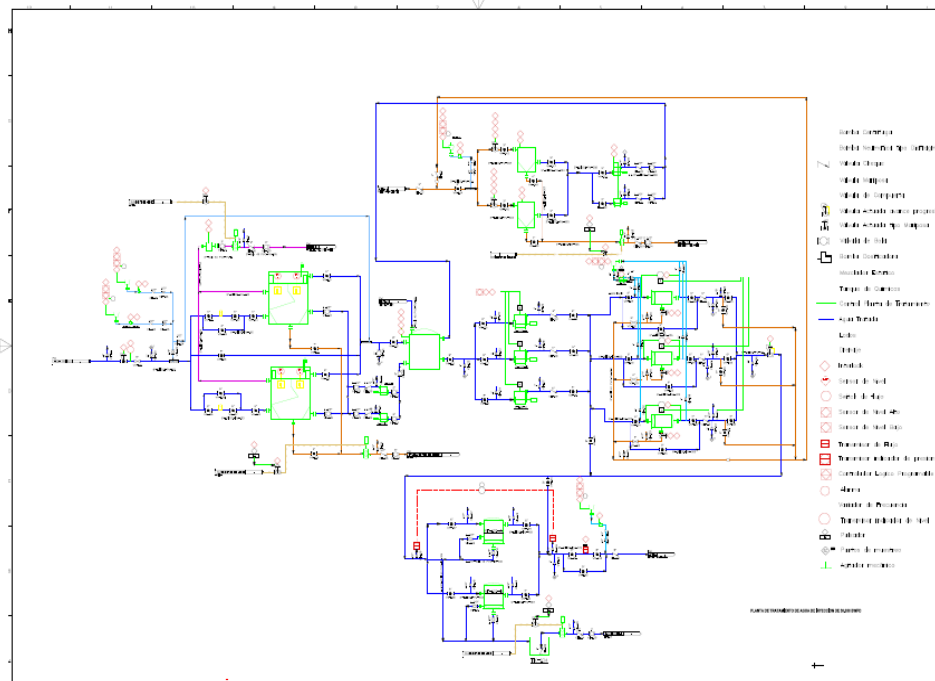


Figura 4. P&ID planta COSTAYACO

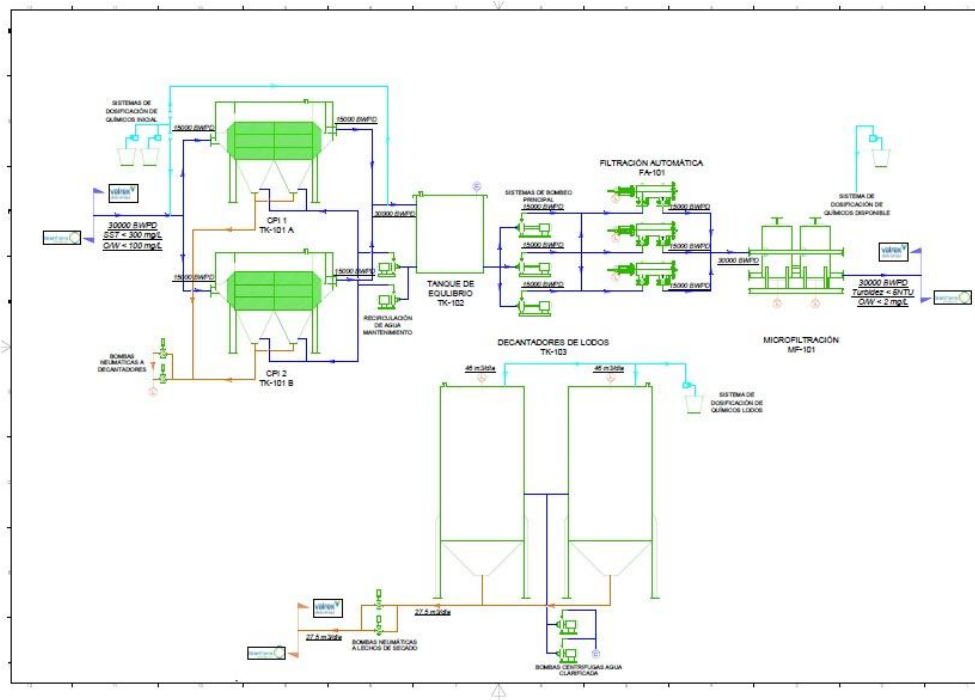
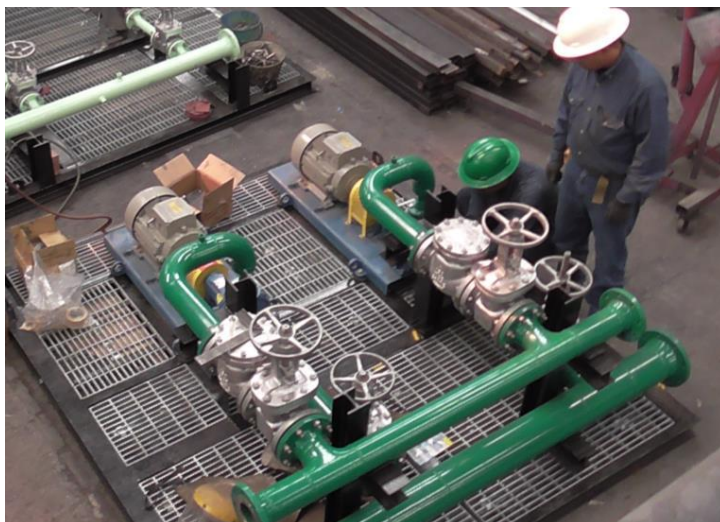


Figura 5. PFD planta COSTAYACO.





**Figura 7. Sistema de bombeo.**

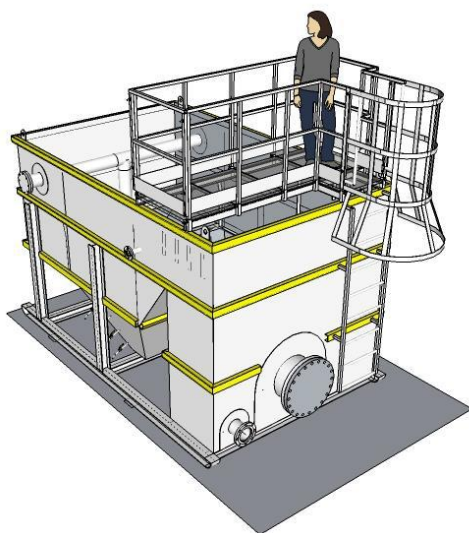
## **SEPARADOR DE PLACAS INCLINADAS**

**Capacidad:** 15.000 BWPD cada unidad

**Cantidad:** 2 unidades en operación

**Material tanque:** Acero al Carbón

**Material Placas:** PRFV (específicamente resina epoxi – vinilester), con marco (frame) en PRFV



**Figura 8. Separador de placas inclinadas.**

En este equipo se removerá sólidos suspendidos y grasas y aceite con una eficiencia entre el 85% y el 90%, dependiendo la distribución de tamaño de partícula.



Figura 9. Tanque separador de placas inclinadas.

### FILTROS AUTO-LAVABLES (TAMIZ METÁLICO)

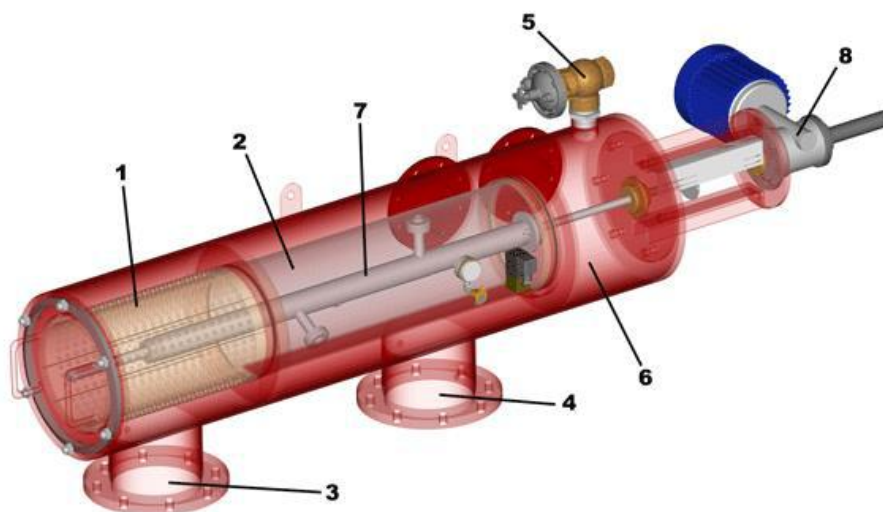


Figura 10. Filtros auto-lavables.



**Figura 11. Filtros auto-lavables AMIAD.**

La unidad consta de dos etapas de filtración, un pre-filtro grueso (1) y una malla fina de acero inoxidable (2).

El agua de proceso entra por la entrada (3), pasa a través del tamiz grueso en el centro de la malla fina. El agua pasa entonces a través de la malla fina de adentro hacia afuera y sale por la salida (4).

Los sólidos y grasas no deseadas se acumulan en la superficie interna de la malla fina, creando un diferencial de presión. Una vez que la caída de presión alcanza un nivel preestablecido, un ciclo de enjuague es activado por el sistema de control suministrado por la fábrica mediante la apertura de las válvulas de enjuague (5) a un drenaje atmosférico.

Como resultado, las caídas de presión en la cámara de lavado a contracorriente (6) y el conjunto de colector de suciedad (7). La caída de presión crea una corriente de reflujo, que succiona la suciedad fuera de la pantalla, similar a una aspiradora. El agua de lavado se realiza a través del colector y se expulsa por los agujeros en la base del colector.

Al mismo tiempo, el conjunto de accionamiento (8) controla el movimiento del conjunto de colector, asegurando que las boquillas colectoras cubran toda el área de pantalla de una manera helicoidal, y devolver el colector a su posición original en preparación para el siguiente ciclo.

## RETROLAVADO

Sólidos y grasas no deseadas se acumulan sobre la superficie interior de la pantalla fina que aumenta una capa de suciedad que se conoce como la torta de filtro. Esta torta de filtro crea un diferencial de presión a medida que atrapa partículas incluso más pequeñas que el tamaño de las aberturas de la pantalla. Una vez que la presión diferencial entre la entrada y salida del filtro llega a 7 psi, un ciclo de enjuague se activa por el sistema de control suministrado de fábrica.

Una válvula de enjuague se abre a la atmósfera la cual causa una caída en la presión en la cámara de enjuague y el conjunto de colector de suciedad. La caída de presión crea una alta velocidad (50 f/s), el flujo inverso a través de una pequeña área de la pantalla en cada abertura de las boquillas de ajuste automático que aspira agresivamente la suciedad de la pantalla en el conjunto del colector de suciedad. **Estas boquillas especiales reducen el lavado de agua en un 50%.** Durante este proceso, el conjunto de accionamiento viaja a través del colector de suciedad a la válvula de enjuague, en el que se expulsan a un desagüe. Durante este proceso, el conjunto de accionamiento hace girar el colector de tierra a una velocidad lenta y constante, mientras que el controlador de movimiento mueve linealmente el colector de tierra a una tasa fija.

Todo el proceso dura segundos y no interrumpe el flujo del sistema.

## ESPECIFICACIONES TECNICAS

| CARACTERISTICA               | ESTÁNDAR                             |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Material de construcción     | Acero al carbón                      |
| Presión de operación         | 30 psi min., 150 psi max.            |
| Temperatura de operación     | Max 80°C                             |
| Tasa de flujo                | Hasta 450 gpm                        |
| Código                       | Hidrostáticamente comprobado, 225psi |
| Cantidad                     | 2 en operación, 1 en stand by        |
| Conexiones                   | Bridas                               |
| Instalación                  | Cualquier posición                   |
| Duración del ciclo de lavado | 30 segundos                          |

Tabla 3. Especificaciones técnicas.

## CONTROLES Y ELECTRICIDAD

| CARACTERISTICAS                  | ESTÁNDAR                             |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Potencia                         | 120 V, 60 Hz, 1p<br>220 V, 50 Hz, 1p |
| Recinto                          | Nema 4x                              |
| Activación del ciclo de enjuague | Dp, Temporizador, manual             |
| Motor                            | ½ HP / 0,37 KW / 1p                  |
| Tipo control                     | PLC                                  |

Tabla 4. Controles y electricidad.

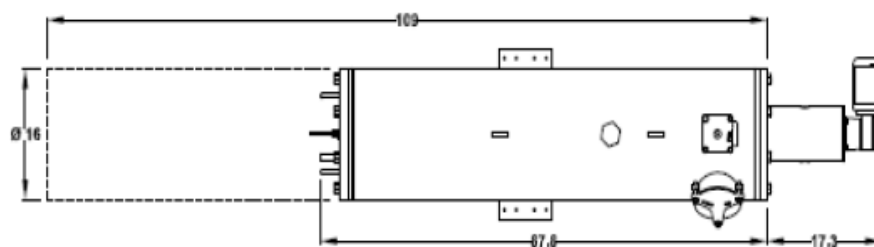


Figura 12. Vista lateral filtro AMIAD.

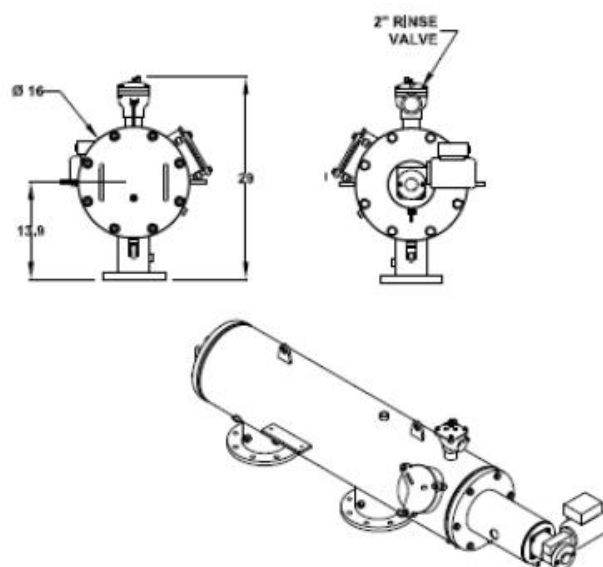


Figura 13. Filtro AMIAD.

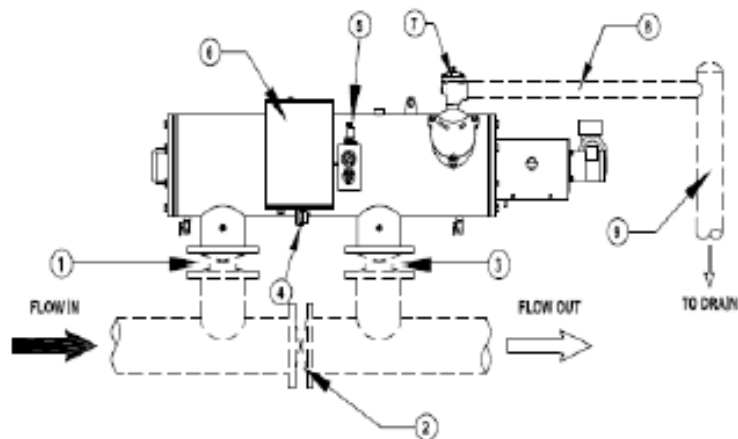


Figura 14. Partes filtro AMIAD.

| NUNMERO | DESCRIPCION                          |
|---------|--------------------------------------|
| 1       | Válvula de control                   |
| 2       | Drenaje de cabecera                  |
| 3       | Drenaje en linea                     |
| 4       | Válvula de autolavado                |
| 5       | Controlador PLC                      |
| 6       | Válvula solenoide                    |
| 7       | Switch de presion diferencial        |
| 8       | Válvula de aislamiento en la salida  |
| 9       | Válvula sistema Bypass               |
| 10      | Válvula de aislamiento en la entrada |

Tabla 5. Partes filtro AMIAD.

## PULIMIENTO – MICROFILTRACIÓN

**Capacidad:** 30.000 BWPD cada unidad

**Cantidad:** 2 unidades en operación

**Material tanque:** Acero inoxidable

**No de Elementos:** 4 por cada housing

**Diametro housing:** 36"

**Tamaño de Partícula:** 5um



**Figura 15. Micro-filtro.**



**Figura 16. Sistema micro-filtrado.**

**Tiempo estimado de recambio: 20 días (depende los TSS a la entrada)-**

## **DECANTADOR DE LODOS**

**Cantidad: 2**

**Capacidad: hasta 30 m<sup>3</sup>**



**Figura 17. Tanque decantador de lodos.**

## **DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS**

**Cantidad: 4**

**Bombas Dosificadoras Marca Milton Roy**

**Tanques de Dosificación de Químicos en Fibra de Vidrio**



**Figura 18. Sistema de dosificación de químicos.**

Capacidad aprox. Bomba Coagulante/rompedor inverso: 40 gph

Capacidad aprox. Bomba polímero alto peso molecular: 4 gph

Capacidad aprox. Bomba cal viva: 7 gph

Capacidad aprox. Bomba ajustador de pH: 20 gph

## **TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA**

Tablero con PLC y display gráfico marca Siemens, con salida Ethernet para conexión a centro de Control.

Componentes marca Siemens

Selectores de 3 posiciones (Manual, automático, OFF)



**Figura 19. Tablero de control y potencia.**

## **EQUIPOS INSTRUMENTACIÓN**

El sistema contará con los siguientes equipos de instrumentación:

- ❖ Sensores Transmisores de Presión Diferencial (Filtros autolavables y Housing Microfiltración), que permiten realizar los retrolavados de forma automática, así como generan una alarma para realizar el recambio de los elementos de microfiltración.
- ❖ Medidor de Caudal Electromagnético a la salida del sistema.
- ❖ Indicador Transmisor de Presión a la salida del sistema.
- ❖ Facilidad para instalar sensores de nivel a la entrada y salida del sistema.

### **6.3. Bienes Capital**

#### **Maquinaria y Equipos:**

- ❖ Computadores Portátiles.
- ❖ Impresoras a color.
- ❖ Fotocopiadora.
- ❖ Equipo de soldadura.
- ❖ Monta cargas.

#### **Equipo de Herramientas:**

- ❖ Taladros.
- ❖ Herramienta de mano.
- ❖ Pulidoras.
- ❖ Tubería.
- ❖ Prensas.
- ❖ Dobladoras.
- ❖ Tarrajas.
- ❖ Equipos electrónicos.

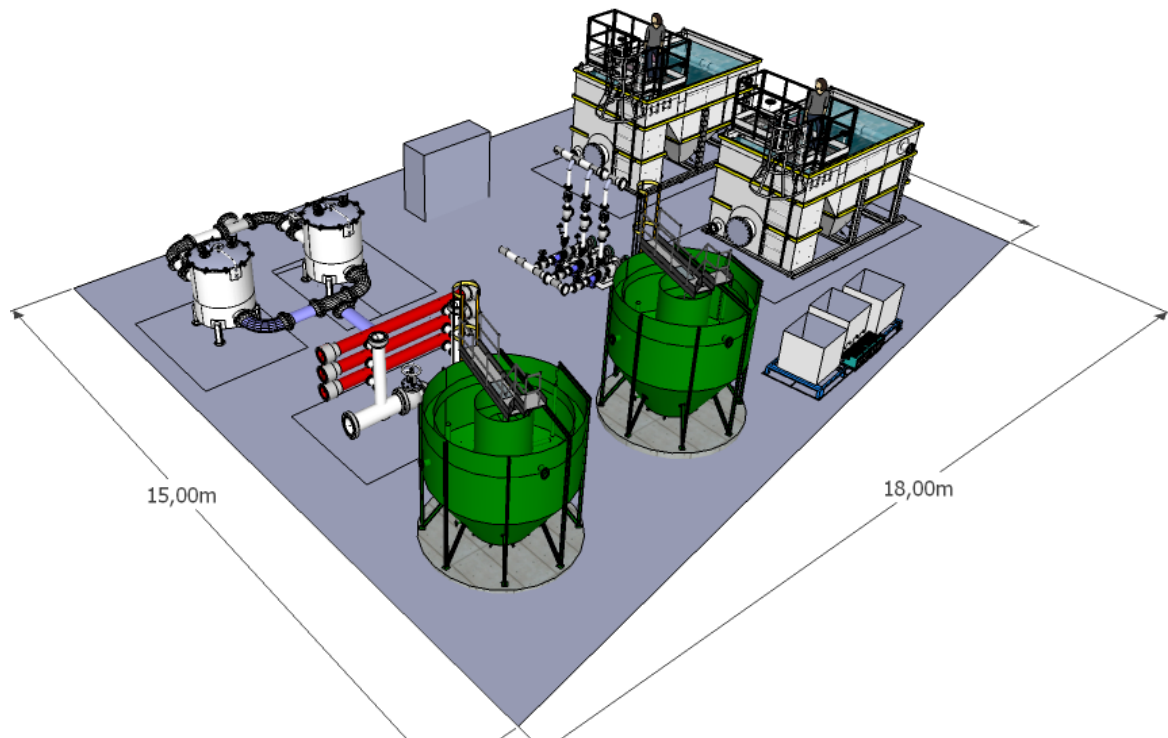
### **Vehículos:**

- ❖ Camioneta cabina sencilla.
- ❖ Camioneta tipo van.
- ❖ Cama baja.
- ❖ Camiones.

### **Software y licencias:**

- ❖ Siemens Tia portal step 7 professional v12.
- ❖ SCADA System SIMATIC WinCC.
- ❖ Office.

### **Construcciones muebles y enseres**

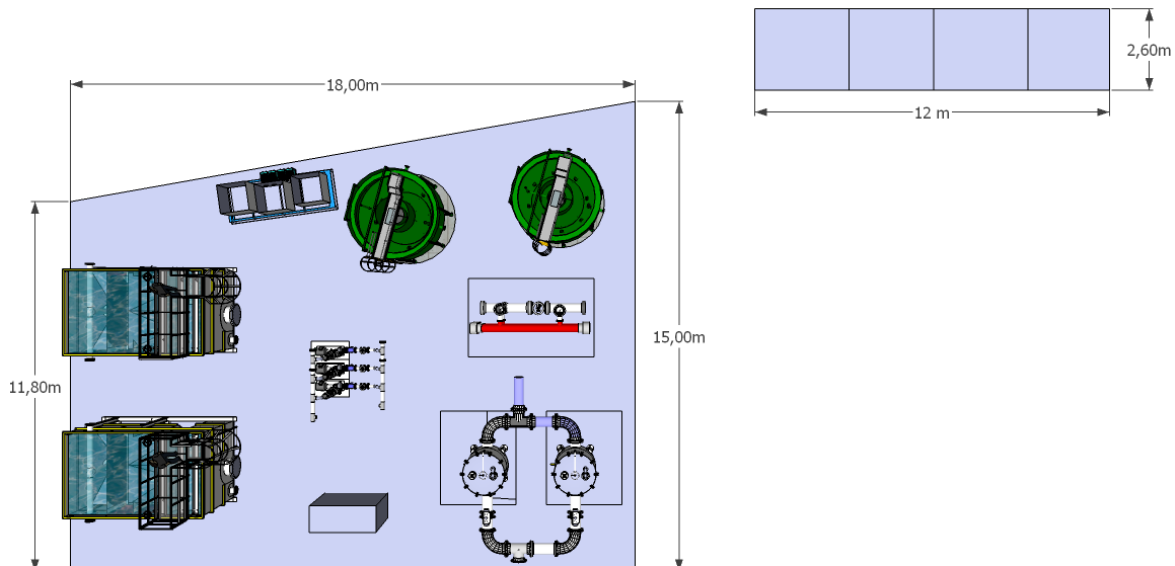


**Figura 20. Esquema 3D planta COSTAYACO.**

## ÁREA REQUERIDA

**Área:** 240 m<sup>2</sup> para equipos principales

32 m<sup>2</sup> para lechos de secado (se sugiere emplear el área de la preparación de la salmuera, la cual se especificó como disponible en la visita de obra)



**Figura 21. Área requerida para la planta COSTAYACO.**

## TIEMPO DE ENTREGA

100 días calendario después de aprobada la ingeniería básica.

Tiempo estimado de Ingeniería Básica 15 días hábiles

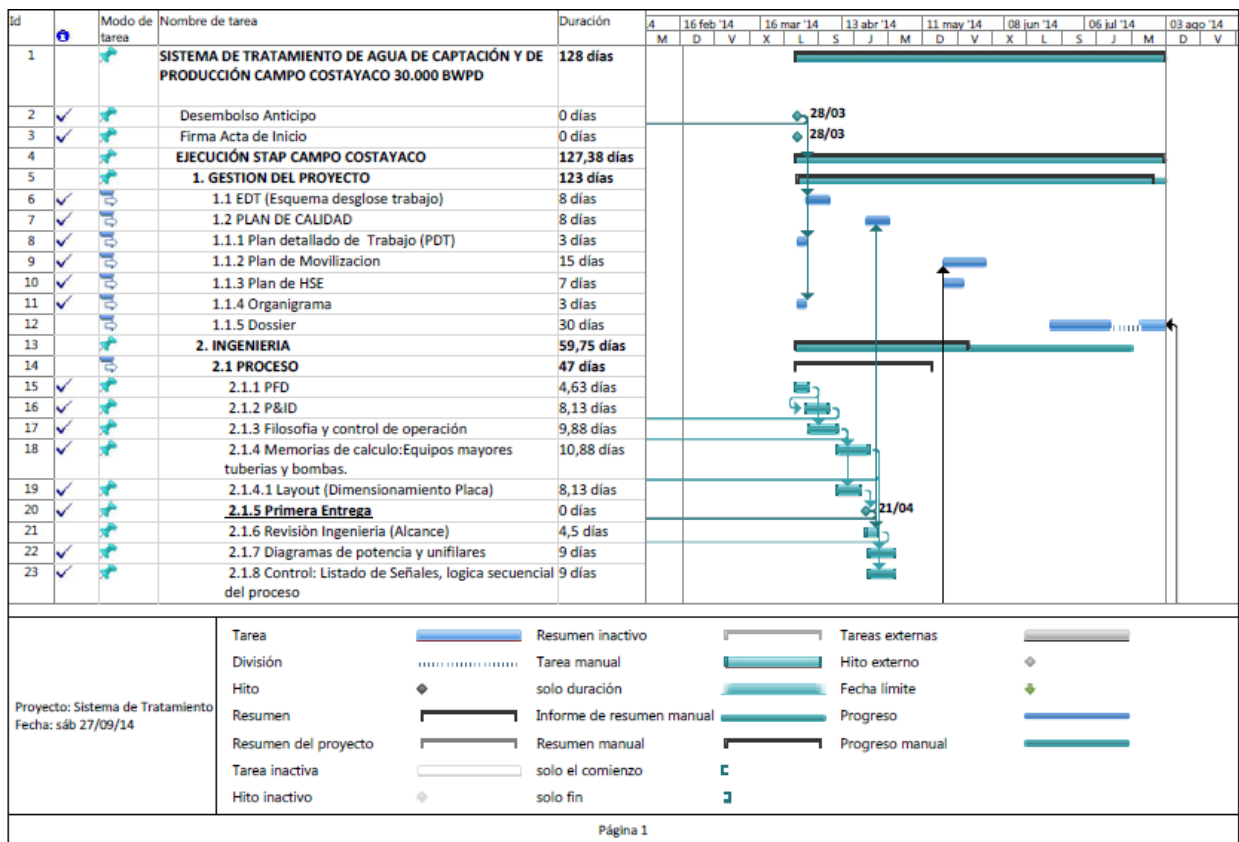
## REQUERIMIENTOS

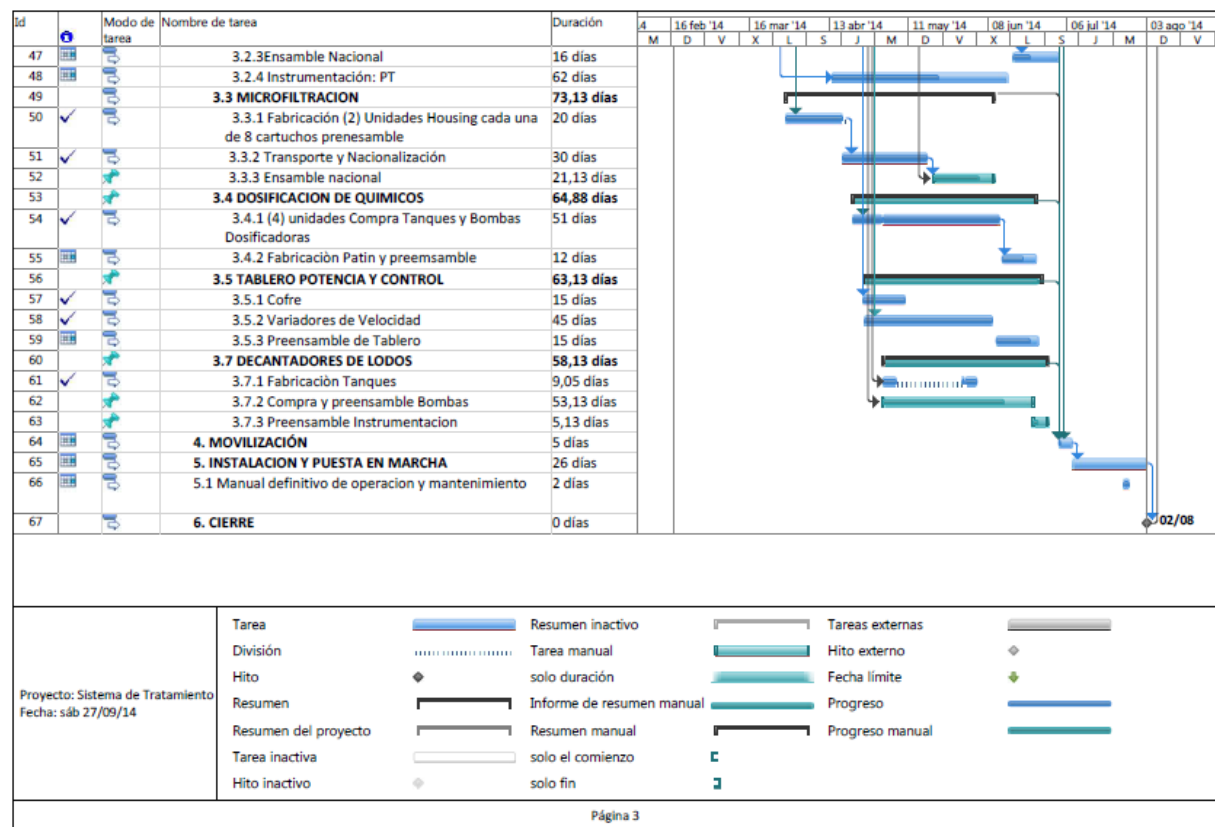
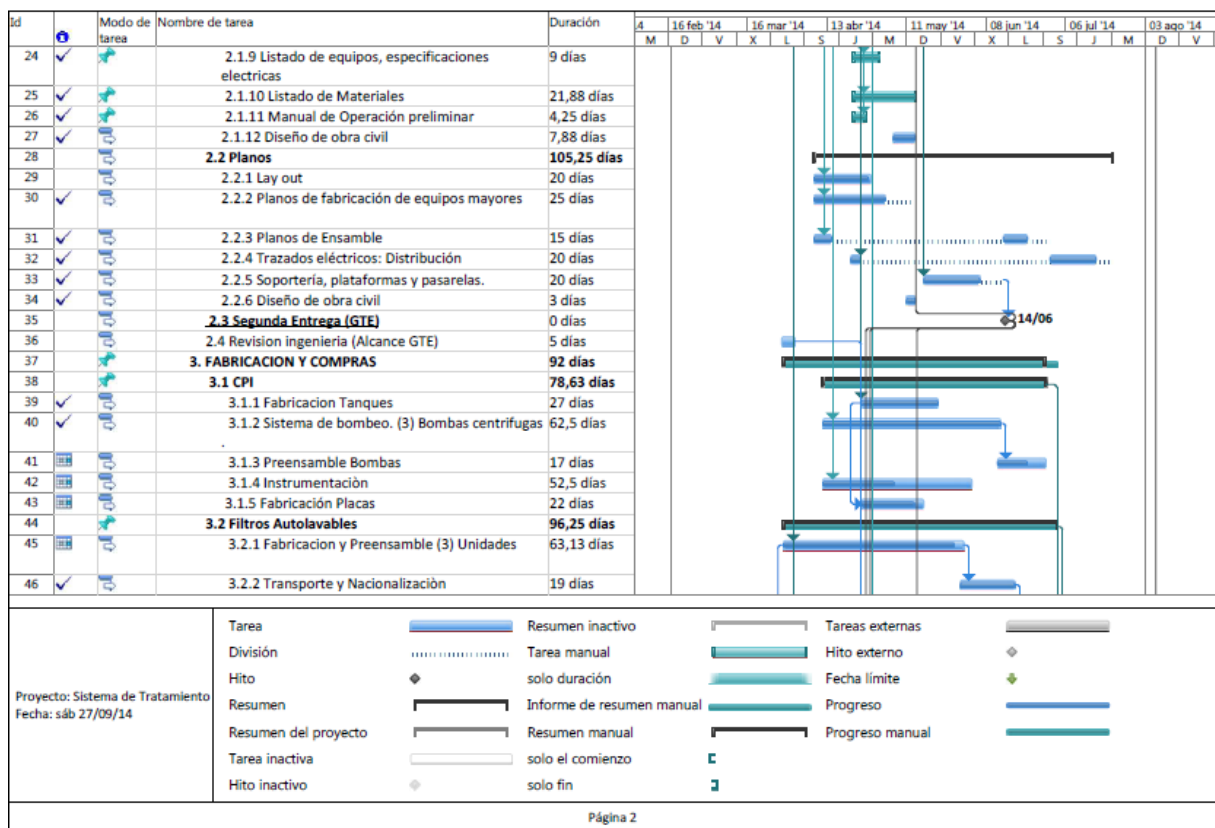
Se deja a cargo del cliente los siguientes aspectos:

- ❖ Suministro de Energía de aproximadamente 160 A a 440 V. Una línea neutro para 110 V.
- ❖ Suministro a borde de placa de agua de proceso a mínimo 10 psig.

- ❖ Suministro de obras civiles (incluye obras civiles para lechos de secado),  
diseño por parte de Valrex de las obras civiles (no incluye estudio de  
suelos)
- ❖ Recibo de agua tratada a borde de placa a máximo 15 psig.
- ❖ Aire para bombas de lodos

## 7. Plan detallado de trabajo



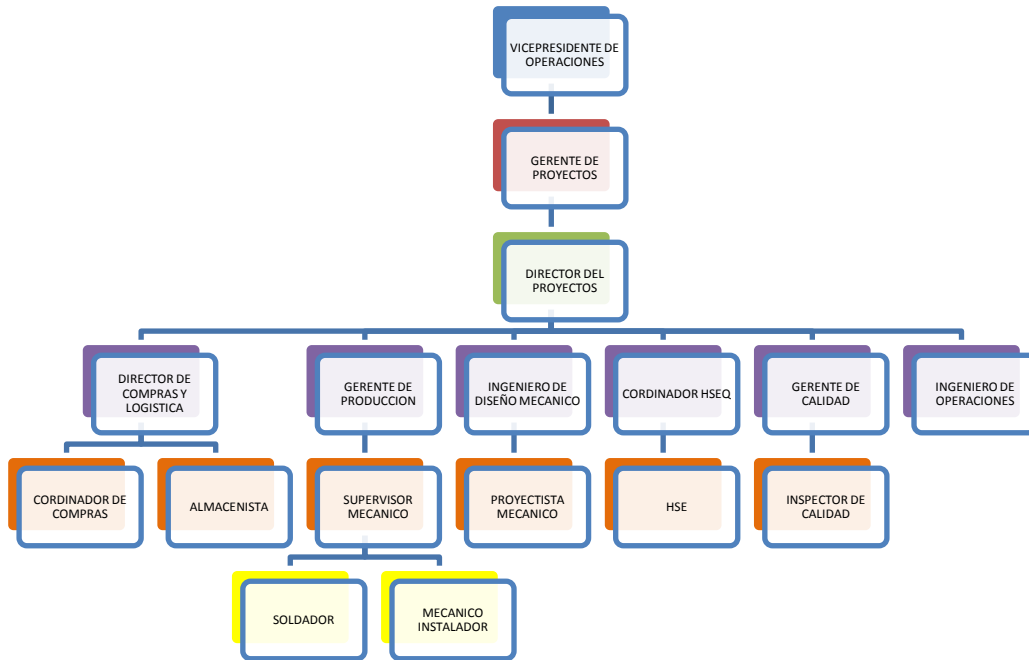


## 8. Organigrama de Trabajo

### 8.1. Organigrama etapa diseño de ingeniería



## 8.2. Organigrama Equipo de Construcción.



## 9. Costos del Proyecto

### 9.1. Costo Administrativo.

|                           |                                        | TAREA:                                   | Gestion del Proyecto    |                   |                     |                    |                |
|---------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------|
| Tipo                      | Concepto                               | Recurso                                  | Nombre                  | Cant.             | Durac.<br>(semanas) | Costo<br>(semanal) | Total Costos   |
| Costo variable<br>directo | Costo de<br>mano de<br>obra<br>directa | Directivo<br>responsabl<br>e             | Gerente de<br>proyecto  | 1                 | 17                  | \$ 5.000.000       | \$ 85.000.000  |
|                           |                                        | Personal<br>operativo                    | Director de<br>Proyecto | 1                 | 17                  | \$ 3.500.000       | \$ 59.500.000  |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           | Costo por<br>uso de<br>activos         | Bienes de<br>capital<br>(maquinari<br>a) |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        | Bienes de<br>capital<br>(equipos)        | Computador              | 1                 | 17                  | \$ 60.000          | \$ 1.020.000   |
|                           |                                        |                                          | Impresora               | 1                 | 17                  | \$ 65.000          | \$ 1.105.000   |
|                           |                                        |                                          | Fotocopiadora           | 1                 | 17                  | \$ 60.000          | \$ 1.020.000   |
|                           |                                        |                                          |                         |                   | \$ 0                |                    |                |
| Costo fijo                | Asociado<br>al WBS                     | Materiales<br>(a entregar<br>al cliente) | Documentos              | 3                 | 17                  | \$ 10.000          | \$ 170.000     |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         |                   |                     |                    | \$ 0           |
|                           |                                        |                                          |                         | DURACIÓN<br>TAREA | 17                  | COSTO TAREA        | \$ 147.815.000 |

## 9.2. Costo de Ingeniería.

|                        |                               | TAREA:                             | Planos: PFD, Estructurales, Layout, P&ID, Potencia, Control y Unifilares. |                |                     |                    |               |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|
| Tipo                   | Concepto                      | Recurso                            | Nombre                                                                    | Cant.          | Durac.<br>(semanas) | Costo<br>(semanal) | Total Costos  |
| Costo variable directo | Costo de mano de obra directa | Directivo responsable              | Cordinador de Ingenieria                                                  | 1              | 8                   | \$ 2.500.000       | \$ 20.000.000 |
|                        |                               | Personal operativo                 | Ingeniero de Diseño                                                       | 3              | 8                   | \$ 1.000.000       | \$ 8.000.000  |
|                        |                               |                                    | Dibujante                                                                 | 3              | 8                   | \$ 400.000         | \$ 3.200.000  |
|                        | Costo por uso de activos      | Bienes de capital (maquinaria)     |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               | Bienes de capital (equipos)        | Computador                                                                | 1              | 8                   | \$ 60.000          | \$ 480.000    |
|                        |                               |                                    | Impresora                                                                 | 1              | 8                   | \$ 65.000          | \$ 520.000    |
|                        |                               |                                    | Fotocopiadora                                                             | 1              | 8                   | \$ 60.000          | \$ 480.000    |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
| Costo fijo             | Asociado al WBS               | Materiales (a entregar al cliente) | Documentos                                                                | 5              | 8                   | \$ 50.000          | \$ 400.000    |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           |                |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                                                                           | DURACIÓN TAREA | 8                   | COSTO TAREA        | \$ 33.080.000 |

|                        |                               | TAREA:                             | Ingenieria de Proceso. |       |                     |                    |               |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------|---------------------|--------------------|---------------|
| Tipo                   | Concepto                      | Recurso                            | Nombre                 | Cant. | Durac.<br>(semanas) | Costo<br>(semanal) | Total Costos  |
| Costo variable directo | Costo de mano de obra directa | Directivo responsable              | Ingeniero de Proyecto  | 1     | 8                   | \$ 1.500.000       | \$ 12.000.000 |
|                        |                               | Personal operativo                 | Ingeniero Electronico  | 1     | 8                   | \$ 1.200.000       | \$ 9.600.000  |
|                        |                               |                                    | Ingeniero Electrico    | 1     | 8                   | \$ 1.200.000       | \$ 9.600.000  |
|                        |                               |                                    | Tecnico Jefe           | 1     | 8                   | \$ 500.000         | \$ 4.000.000  |
|                        | Costo por uso de activos      | Bienes de capital (maquinaria)     |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               | Bienes de capital (equipos)        | Computador             | 1     | 8                   | \$ 60.000          | \$ 480.000    |
|                        |                               |                                    | Impresora              | 1     | 8                   | \$ 65.000          | \$ 520.000    |
|                        |                               |                                    | Fotocopiadora          | 1     | 8                   | \$ 60.000          | \$ 480.000    |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
| Costo fijo             | Asociado al WBS               | Materiales (a entregar al cliente) | Documentos             | 5     | 8                   | \$ 20.000          | \$ 160.000    |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                        |       |                     |                    | \$ 0          |
|                        |                               |                                    |                        |       | DURACIÓN TAREA      | 8                  | COSTO TAREA   |

### 9.3. Costo por Suministro de equipos y materiales

|                        |                               | TAREA:                             | Fabricacion y Compras                 |                |                     |                    |                |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|
| Tipo                   | Concepto                      | Recurso                            | Nombre                                | Cant.          | Durac.<br>(semanas) | Costo<br>(semanal) | Total Costos   |
| Costo variable directo | Costo de mano de obra directa | Directivo responsable              | Gerente Comercial y de Mercadeo       | 1              | 12                  | \$ 800.000         | \$ 9.600.000   |
|                        |                               | Personal operativo                 | Ingeniero Comercial                   | 1              | 12                  | \$ 700.000         | \$ 8.400.000   |
|                        |                               |                                    | Cordinador tecnico del area comercial | 1              | 12                  | \$ 700.000         | \$ 8.400.000   |
|                        |                               |                                    | Cordinador Comecial                   | 1              | 12                  | \$ 600.000         | \$ 7.200.000   |
|                        |                               |                                    | Asistente Comercial                   | 1              | 12                  | \$ 400.000         | \$ 4.800.000   |
|                        | Costo por uso de activos      | Bienes de capital (maquinaria)     | Camioneta cabina sencilla             | 1              | 12                  | \$ 50.000          | \$ 600.000     |
|                        |                               |                                    |                                       |                |                     |                    | \$ 0           |
|                        |                               |                                    |                                       |                |                     |                    | \$ 0           |
|                        |                               |                                    |                                       |                |                     |                    | \$ 0           |
|                        |                               | Bienes de capital (equipos)        | Computador                            | 1              | 12                  | \$ 60.000          | \$ 720.000     |
|                        |                               |                                    | Impresora                             | 1              | 12                  | \$ 65.000          | \$ 780.000     |
|                        |                               |                                    | Fotocopiadora                         | 1              | 12                  | \$ 60.000          | \$ 720.000     |
|                        |                               |                                    |                                       |                |                     |                    | \$ 0           |
| Costo fijo             | Asociado al WBS               | Materiales (a entregar al cliente) | CPI                                   | 2              |                     |                    | \$ 122.555.917 |
|                        |                               |                                    | Filtros amiad                         | 3              |                     |                    | \$ 142.627.980 |
|                        |                               |                                    | Tablero de potencia y control         | 1              |                     |                    | \$ 150.000.000 |
|                        |                               |                                    | Decantador de losods                  | 2              |                     |                    | \$ 90.240.655  |
|                        |                               |                                    | Microfiltros                          | 2              |                     |                    | \$ 77.694.800  |
|                        |                               |                                    | Docificador de quimicos               | 4              |                     |                    | \$ 57.975.741  |
|                        |                               |                                    |                                       |                |                     |                    |                |
|                        |                               |                                    |                                       | DURACIÓN TAREA | 12                  | COSTO TAREA        | \$ 682.315.093 |

### 9.4. Costo de Movilización

|                        |                               | TAREA:                             | Movilizacion de equipos y maquinaria |                |                     |                    |               |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|
| Tipo                   | Concepto                      | Recurso                            | Nombre                               | Cant.          | Durac.<br>(semanas) | Costo<br>(semanal) | Total Costos  |
| Costo variable directo | Costo de mano de obra directa | Directivo responsable              | Cordinador operativo                 | 1              | 1                   | \$ 800.000         | \$ 800.000    |
|                        |                               | Personal operativo                 | Conductores                          | 5              | 1                   | \$ 700.000         | \$ 700.000    |
|                        |                               |                                    | Ayudantes                            | 5              | 1                   | \$ 500.000         | \$ 500.000    |
|                        | Costo por uso de activos      | Bienes de capital (maquinaria)     | Cama Baja                            | 2              | 1                   | \$ 20.000.000      | \$ 20.000.000 |
|                        |                               |                                    | Camion                               | 2              | 1                   | \$ 10.000.000      | \$ 10.000.000 |
|                        |                               |                                    | Monta Cargas                         | 1              | 0,14                | \$ 11.000.000      | \$ 1.540.000  |
|                        |                               |                                    | Container                            | 1              | 8                   | \$ 1.700.000       | \$ 13.600.000 |
|                        |                               | Bienes de capital (equipos)        |                                      |                |                     |                    |               |
|                        |                               |                                    |                                      |                |                     |                    |               |
| Costo fijo             | Asociado al WBS               | Materiales (a entregar al cliente) |                                      |                |                     |                    |               |
|                        |                               |                                    |                                      | DURACIÓN TAREA | 1                   | COSTO TAREA        | \$ 47.140.000 |

## 9.5. Costos construcción y puesta en marcha

|                        |                               | TAREA:                             | Instalacion y puesta en marcha |                |                     |                    |                |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|
| Tipo                   | Concepto                      | Recurso                            | Nombre                         | Cant.          | Durac.<br>(semanas) | Costo<br>(semanal) | Total Costos   |
| Costo variable directo | Costo de mano de obra directa | Directivo responsable              | Director del proyecto          | 1              | 2                   | \$ 3.500.000       | \$ 7.000.000   |
|                        |                               | Personal operativo                 | Residente de obra              | 1              | 8                   | \$ 2.500.000       | \$ 20.000.000  |
|                        |                               |                                    | Ingeniero HSE                  | 1              | 8                   | \$ 1.500.000       | \$ 12.000.000  |
|                        |                               |                                    | Ingeniero Electrico            | 1              | 6                   | \$ 2.100.000       | \$ 12.600.000  |
|                        |                               |                                    | Pintor SandBlasting            | 2              | 8                   | \$ 1.800.000       | \$ 14.400.000  |
|                        |                               |                                    | Ingeniero Mecanico             | 1              | 6                   | \$ 2.100.000       | \$ 12.600.000  |
|                        |                               |                                    | Mecanico de montaje            | 2              | 8                   | \$ 2.200.000       | \$ 17.600.000  |
|                        |                               |                                    | Obrero                         | 2              | 8                   | \$ 1.600.000       | \$ 12.800.000  |
|                        |                               |                                    | Tubero alineador               | 1              | 8                   | \$ 2.000.000       | \$ 16.000.000  |
|                        |                               |                                    | Soldador                       | 1              | 8                   | \$ 2.000.000       | \$ 16.000.000  |
|                        |                               |                                    | Ingeniero Civil                | 1              | 6                   | \$ 2.400.000       | \$ 14.400.000  |
|                        | Costo por uso de activos      | Bienes de capital (maquinaria)     | Camioneta cabina sencilla      | 1              | 8                   | \$ 50.000          | \$ 400.000     |
|                        |                               |                                    | Camioneta tipo van             | 1              | 8                   | 1100000            | \$ 8.800.000   |
|                        |                               |                                    |                                |                |                     |                    | \$ 0           |
|                        |                               | Bienes de capital (equipos)        | Equipo de herramienta          | 4              | 8                   | \$ 10.000.000      | \$ 40.000.000  |
|                        |                               |                                    | Equipo de Soldadura            | 1              | 8                   | \$ 7.000.000       | \$ 7.000.000   |
| Costo fijo             | Asociado al WBS               | Materiales (a entregar al cliente) | Entrega de planta terminada    |                |                     |                    |                |
|                        |                               |                                    |                                | DURACIÓN TAREA | 8                   | COSTO TAREA        | \$ 211.600.000 |

## 9.6. Total costo proyecto

| TAREAS NIVEL 3 | TAREAS NIVEL 2                                               | TAREA NIVEL 1                    |
|----------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| \$ 147.815.000 | Costo Gestion del proyecto: \$ 147.815.000                   | Costo Proyecto: \$ 1.158.790.093 |
| \$ 33.080.000  | Costo Ingenieria: \$ 69.920.000                              |                                  |
| \$ 36.840.000  |                                                              |                                  |
| \$ 122.555.917 | Costo Implementación: \$ 682.315.093                         |                                  |
| \$ 142.627.980 |                                                              |                                  |
| \$ 150.000.000 |                                                              |                                  |
| \$ 90.240.655  |                                                              |                                  |
| \$ 57.975.741  |                                                              |                                  |
| \$ 77.694.800  |                                                              |                                  |
| \$ 47.140.000  | Costo de movilizacion de equipos y maquinaria: \$ 47.140.000 |                                  |
| \$ 211.600.000 | Costo instalacion y puesta en marcha: \$ 211.600.000         |                                  |

## 10. Conclusiones

- ❖ Identificamos la necesidad de la empresa Gran Tierra, la cual se basa en implementar una planta de tratamiento de agua y así mismo se planteó una idea de negocio que les pudiera satisfacer como solución a dicha necesidad.
- ❖ Logramos analizar varios métodos y tecnologías con la cual se puede dar solución a la necesidad de implementar una planta de tratamiento de agua, así mismo se escogió la mejor forma, los instrumentos y mecanismos más adecuados para abordar este proyecto.
- ❖ Se concluyó que para filtrar el agua esperando que los resultados requeridos sean exitosos, se es necesario una serie de etapas, constituidas por diferentes tipos de tanques y filtros con mecanismos diversos que al final del proceso purificaran el agua hasta el nivel necesario o requerido para su reutilización.
- ❖ Determinamos la ingeniería básica, desarrollando con claridad la narrativa del proceso, herramienta que nos brindó los fundamentos teóricos para poder definir una solución, detallada con claridad e identificándola como la solución adecuada.
- ❖ Logramos realizar la ingeniería de detalle, en donde fue posible aplicar los diferentes conocimientos adquiridos en la especialización de instrumentación electrónica, en temáticas como sensorica, interpretación de especificaciones, válvulas, gestión de proyecto, entre otras.
- ❖ Llegamos a identificar la problemática, dando una correcta solución y el correcto funcionamiento a esta, la cual consistió en la propuesta de implementación de una planta de tratamiento de agua para una capacidad de 30.000 BWPD.
- ❖ Realizando actividades como planeación de cronogramas y hojas de tiempo para el desarrollo del proyecto, logramos obtener las tablas de costo por actividad según el árbol de tareas, lo que nos lleva a tener un costo total de implementación del proyecto.

## **11. Bibliografía**

- [1] Ospina, E. *Tratamiento de agua residual*. CIS S.A.2000.
- [2] American Petroleum Institute. *Monographs on Refinery Environmental Control, managment of wáter discharges*. API 421.
- [3] *Programa de capacitación personal de producción Modulo 2, Circuito del agua*. PERENCO COLOMBIA LTD.2000.
- [4] Jaimes, C, Diana y Pico, J, Maria. *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras aplicación campo colorado*.