



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN:**

**DISEÑO DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA DECANTADORES  
Y SISTEMAS DE BOMBEO EN GILDAN RIO NANCE**

**PRESENTADO POR:**

**CARLOS ALBERTO MEJÍA PALMA**

**ASESOR: ING. DARWIN REYES**

**CAMPUS: UNITEC SPS**

**ABRI DEL 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis padres**

En un principio las metas pudieron haber parecido inalcanzables, pero con su apoyo incondicional he obtenido el resultado deseado. No puedo sentirme más complacido con la confianza que han depositado en mí. Gracias por todos los esfuerzos y la dedicación, que gracias a eso y a ustedes debo este éxito.

### **A mis maestros**

En el recorrido de este largo camino me formaron y sacaron lo mejor de mí, transmitiéndome sus conocimientos tanto del área profesional como personal. Agradezco la dedicación y el tiempo invertido, así como también cada enseñanza impartida dentro y fuera del salón de clase.

### **A mis seres queridos**

Son muchas las personas que formaron parte de esta etapa, y es por eso que quiero darles las gracias sin distinción alguna a todos ustedes por su apoyo incondicional y el cariño.

# INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2.1.	ANTECEDENTES .....	2
2.2.	DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
2.2.1	FASE I.....	3
2.2.2	FASE II .....	4
2.2.3	FASE III .....	4
2.2.4	FASE IV .....	4
2.3.	PREGUNTAS DE INVESTIGACION .....	4
2.4.	OBJETIVOS.....	4
2.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
2.4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
2.5.	JUSTIFICACION.....	5
III.	MARCO TEORICO.....	6
3.1.	SISTEMAS DE BOMBEO .....	6
3.1.1	MECANICA DE FLUIDOS .....	6
3.1.2	DEFINICION DE UN FLUIDO .....	7
3.1.3	MAQUINAS HIDRAULICAS.....	7
3.1.4	BOMBAS HIDRAULICAS .....	7
3.1.4	BOMBAS ROTODINAMICAS .....	8
3.1.5	BOMBAS CENTRIFUGAS.....	9
3.1.6	BOMBAS SUMERGIBLES.....	10

3.1.7	TREN DE DESCARGA .....	10
3.2.	EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE AGUA.....	11
3.2.1	DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA SUBTERRANEA .....	11
3.2.2	ZONA NO SATURADA .....	12
3.2.3	ZONA SATURADA .....	13
3.2.4	ACUÍFEROS .....	13
3.2.5	CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA .....	16
3.2.6	DECANTACIÓN .....	16
3.3.	MOTORES ELECTRICOS .....	18
3.3.1	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	18
3.3.2	MOTOR DE INDUCCION .....	19
3.4.	CONTROLADORES DE MOTORES .....	19
3.3.3	VARIADORES DE VELOCIDAD .....	20
3.4.1	VARIADORES DE FRECUENCIA .....	20
3.4.2	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	21
3.4.3	VENTAJAS DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA .....	22
3.5.	AUTOMATIZACION DE SISTEMAS .....	22
3.5.1	REPRESENTACION DE SISTEMAS DE CONTROL .....	24
3.5.2	SISTEMAS DE LAZO ABIERTO .....	25
3.5.3	SISTEMAS DE LAZO CERRADO .....	25
3.5.4	CONTROLADORES AUTOMATICOS .....	25
3.5.5	CONTROLADORES PID .....	27
3.5.6	AUTOMATISMOS PROGRAMABLES .....	28
3.5.7	PLC .....	29

3.5.8	INSTRUMENTACION .....	30
3.6.	DIAGRAMA DE GAANT .....	31
IV.	METODOLOGIA .....	32
4.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	32
4.3.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	33
V.	ANALISIS Y RESULTADOS .....	34
5.1.	DESCRIPCION DEL PROYECTO .....	34
5.1.1	RESUMEN DEL PROYECTO .....	35
5.1.2	RESUMEN DE FASES .....	36
5.1.3	DATOS TECNICOS POR FASE .....	36
5.1.4	REQUERIMIENTOS DE LA PROGRAMACION DEL SISTEMA .....	38
5.1.5	DIAGRAMA DE FLUJO DE CONTROL DE BOMBAS DEL SISTEMA .....	43
.....	.....	43
5.2.	SELECCIÓN DE EQUIPOS .....	45
5.2.1	PLC S7-1214C .....	45
5.2.2	HMI KP600 BASIC PANEL .....	46
5.2.3	SETRON PAC 3200 .....	46
5.2.4	ANTENA NANO STATION M2 (UNIDIRECCIONAL) .....	47
5.2.5	ANTENA UBIQUITI ROCKET M2 .....	47
5.3.	PRESUPUESTO Y HOJAS DE ALCANCE .....	48
5.4.	PLAN DE EJECUCION .....	53
VI.	CONCLUSIONES .....	55
VII.	RECOMENDACIONES .....	56
7.2.	PARA LA UNIVERSIDAD .....	56

VIII. BIBLIOGRAFIA .....	57
IX. ANEXOS .....	59

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Flujo del Proceso (Propocionado el departamento de Proyectos).....	3
Figura 2: Diagrama de una Bomba Centrífuga (Fuente: Fullmecanica.com).....	9
Figura 3: Bomba Centrífuga. (Fluideco) .....	10
Figura 4: Perfil de zonas (Collazo & Montaña) .....	12
Figura 5: Ilustración de la distribución vertical (Collazo & Montaña) .....	13
Figura 6: Cono de Extracción de agua (Mateos & González) .....	14
Figura 7: Depresión de Explotación Intensa de Pozos (Mateos & González) .....	15
Figura 8: Diseño de un Decantador .....	17
Figura 9: Imán de la figura 3.2 (Martínez, 2001) .....	18
Figura 10: Diagrama de Bloques de un Variador (Alvarez) .....	20
Figura 11: Estructura de un Sistema Automatizado (Sanchis, 2010) .....	23
Figura 12: Ejemplo de un Diagrama de Bloques (González).....	24
Figura 13: Diagrama de Bloques de Lazo Abierto. (Ogata, 2010) .....	25
Figura 14: Diagrama de Bloques de un Lazo Cerrado (Ogata) .....	25
Figura 15: Diagrama de Bloques de Controlador PID (Ogata).....	26
Figura 16: Diagrama de Bloques de Controlador PID (Gútiez) .....	27
Figura 17: Arquitectura de un PLC (Hurtado) .....	29
Figura 18: Algoritmo general de sistema (Fuente propia).....	35
Figura 19: Esquema de Dirección de Flujo de Datos (Fuente Propia).....	35

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cronograma .....	33
Tabla 2: Resumen de Fases .....	36
Tabla 3: Datos Técnicos para Fase I .....	37
Tabla 4: Tabla de señales por etapa .....	38
Tabla 5: Tabla de caudales equivalentes .....	39
Tabla 6: Resumen de Caudales Correspondientes por Fase .....	39
Tabla 7: Tabla requerimientos para Pozos.....	40
Tabla 8: Tabla de Requerimientos para Decantadores.....	40
Tabla 9: Presupuesto Total de Proyecto .....	49
Tabla 10: Tabla de Presupuesto para Fase I .....	49
Tabla 11: Alcance Técnico de Fase I.....	50
Tabla 12: Diagrama de Gantt para Proyecto.....	53



## GLOSARIO

- Alcance tecnico: formatos que son entregados a los contratistas para que presenten los items que incluirá la oferta que presentan.
- Etapa: referencia a un decantador, tanque o varios pozos que pertenecen a una fase.
- Fase: estado periodico asignado a las partes en las que se dividirá el proyecto. Define el orden cronológico de ejecución y ubicacion de las etapas correspondientes.
- Consigna: Valor asignado deseado para un motor, usualmente se le conoce como "setpoint".
- Diagrama de bloques: Representación gráfica de un proceso para un sistema de control.
- Retroalimentacion: Se le conoce también como señal de error. Representa la señal para comparar con una consigna y asegurar que el proceso realmente se comporta en base a esta consigna.
- Actuador: Componente cuya función es proporcionar fuerza o "actuar" en base a los parametros de control asignados.
- SCADA: acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

## I. INTRODUCCIÓN

Gildan Textiles de Sula S.A. (SULATEX) es la nueva planta fabricante de textiles ubicada en el parque Gildan Rio Nance que espera iniciar operaciones parcialmente en mayo del 2018. Los procesos operativos de esta planta como el lavado, teñido y generación de vapor demandan aproximadamente 1200 GPM, la cual deberá ser suministrada con un sistema de bombeo que extraerá el agua de los mantos acuíferos ubicados en las propiedades del parque.

Uno de los requerimientos de la empresa y motivo de este análisis realizado, es implementar la automatización en el control y monitoreo en todas las etapas de este sistema de bombeo con el fin de garantizar la calidad de agua para el proceso y poder suplir por completo la demanda de la planta evitando rebalses en el tanque o paros de los pozos, ya que este último provoca una acumulación de sedimentos en el agua.

El proyecto a realizar consiste en proponer un diseño de la automatización del sistema, este será evaluado en base a su funcionamiento y el coste que requerirá su implementación. El diseño deberá poder ser aplicable para las 4 fases del proyecto que serán descritas a profundidad más adelante.

Según (Sanchis, Romero & Ariño, 2010) "Se define un sistema (máquina o proceso) automatizado como aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención del operario) ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado."

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. ANTECEDENTES**

La producción de textiles del Parque Gildan Rio Nance es realizada por tres plantas: Honduras Textiles S. de R.L. (HONTEX), Choloma Textiles S. de R.L. (CHOLTEX), Mayan Textiles S. de R.L. (MAYAN) y actualmente en estado de construcción, se incorporará Sula Textiles S. de R.L. (SULATEX) a las operaciones. Las plantas textiles en Gildan requieren agua como uno de los suministros necesarios para sus operaciones diarias.

Para extraer el agua que se utiliza en la producción, Gildan cuenta con varios pozos ubicados en diferentes zonas dentro de todo el parque, estos pozos cuentan con trenes de descarga para trasegar el agua a su etapa siguiente que es la decantación y por último al Tanque reservorio. El diseño estándar de estos trenes de descarga está hecho en hierro negro, el cual será modificado por un nuevo diseño en acero inoxidable y un carrete de sensores para poder implementar la automatización de los mismos.

Los sistemas de bombeo que se utilizan actualmente para las plantas son sistemas electromecánicos, pero como la demanda de producción no es constante, ha sucedido que el tanque de almacenamiento se llena a su punto máximo y debe ser apagado el sistema para no desperdiciar agua. Además de esto, al apagarse el pozo se provoca la sedimentación del mismo y como consecuencia de esto, al usar el pozo de nuevo, el flujo de agua debe desviarse hasta que el agua salga en condiciones adecuadas para el proceso de nuevo.

## 2.2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Para los sistemas de bombeo en Gildan se planea implementar un estandar de 3 etapas: extracción, decantación y almacenamiento. El sistema de bombeo de Sulatex no será la excepción y lo incorporará. Gildan ha solicitado a través del departamento de proyectos la elaboración de un diseño de automatización para los pozos y decantadores, estos ultimos se encargarán de separar los lodos que provienen del pozo.

Para diseñar el sistema de bombeo de Sulatex, se hicieron estudios técnico económicos por el departamento de Proyectos en Rio Nance y se llegó a la conclusión de reestructurar los sistemas de bombeo por completo de todo el parque y redirigir el agua de los pozos que alimenta las plantas de Choltex y Mayan. Se inauguraron nuevos pozos con el objetivo de equilibrar el suministro que perderían estas plantas.

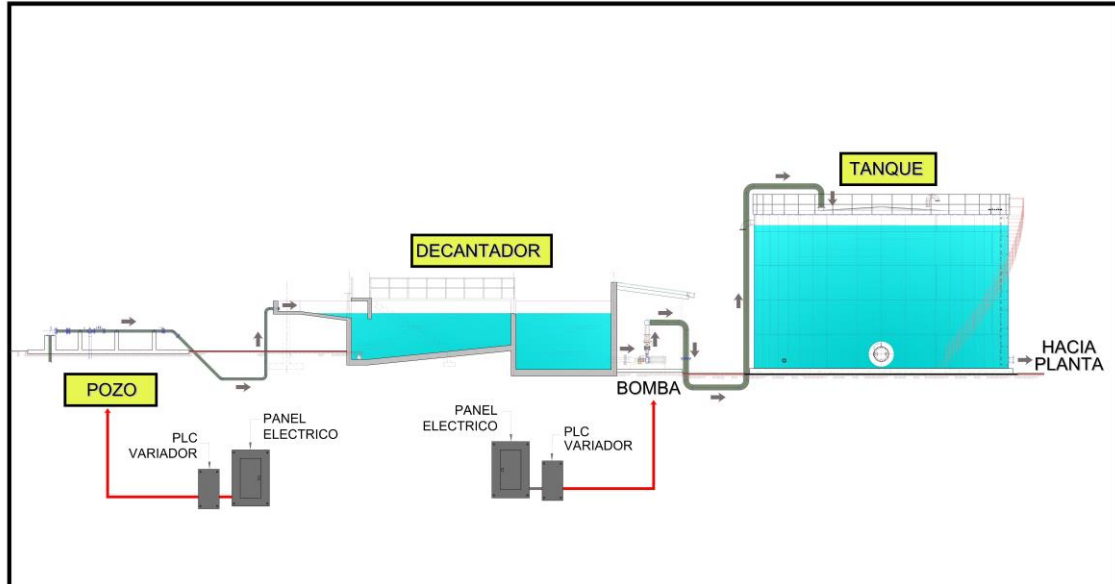


Figura 1: Diagrama de Flujo del Proceso (Propocionado el departamento de Proyectos)

### 2.2.1 FASE I

Para alimentar a Sulatex se tomarán los pozos que están cercanos a esta, que actualmente pertenecen a Choltex. Con el objetivo de equilibrar la demanda de

Choltex, se tomarán los pozos del área de Shing-Sung, estos tienen capacidad de suministrar 1300 GPM aproximadamente. El decantador estará en la misma área y luego se llevará por último hasta el tanque ubicado en Choltex.

### **2.2.2 FASE II**

Una vez ya equilibrado el requerimiento hídrico de Choltex, se tomarán los pozos que pertenecen a este y la salida del decantador se redirigirá al tanque de Sulatex. Estos pozos cuentan con una capacidad de 670 GPM.

### **2.2.3 FASE III**

Para completar la demanda de Sulatex se tomarán los pozos que alimentan a Mayan, estos pozos en total pueden suministrar 1930 GPM aproximadamente. Con estos pozos se completa la demanda para la planta.

### **2.2.4 FASE IV**

La última fase que se hará paralela a la Fase III, consiste en poner en funcionamiento los pozos en los alrededores de Hosiery Factory, estos pueden brindar 1600 GPM y así poder balancear la demanda de Mayan.

## **2.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACION**

- ¿Cuáles son las variables y parámetros que deben tomarse en cuenta?
- ¿Cómo se implementará la lógica que controlará el programa?
- ¿Cómo se establecerá la comunicación entre los diferentes equipos en ubicaciones remotas de la planta?

## **2.4. OBJETIVOS**

Según (Gómez, 2006), "Los objetivos tienen que expresarse con claridad para evitar posibles desviaciones en el proceso de investigación y deben ser susceptibles de alcanzarse, es decir, deben ser viables. Son las guías del estudio y hay que tenerlos presentes durante todo su desarrollo, para no desviarnos del eje de la investigación."

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar el diseño de la automatización para el sistema de bombeo que suministra agua a SULATEX, CHOLTEX y MAYAN.

### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar el problema de sedimentación de los pozos y determinar soluciones para mitigar los mismos.
- Identificar los equipos, la instrumentación y componentes necesarios para poner en marcha en base a las necesidades planteadas por la Gerencia de proyectos.
- Establecer requerimientos y mostrar un modelo de programación y configuración del sistema.

### **2.5. JUSTIFICACION**

La razón por la que este proyecto será elaborado en cuatro fases que involucrarán la reestructuración de los sistemas de bombeo de las plantas Choltex y Mayan, es debido a los análisis técnico económicos que se realizaron antes de aprobar el proyecto. Estos análisis tomaron en cuenta factores como: ubicación, capacidades de bombeo, numero de pozos por zona, demandas actuales de las plantas y costos de implementación.

Agregado a esto, los sistemas automatizados para los sistemas de bombeo tienen como función hacer más rápidos los procesos de bombeo y poder tener sistemas de abastecimiento de agua de alta capacidad, previendo posibles carencias en un sistema contiguo, caso en el que entrarán los sistemas que fueron desarrollados y servirán de respaldo para apoyar la alimentación de cualquier planta en el parque.

### **III. MARCO TEORICO**

#### **3.1. SISTEMAS DE BOMBEO**

El agua es uno de los recursos más importante para la industria . Desde sistemas de refrigeración, elaboración de productos, generación eléctrica y de vapor, limpieza, procesos químicos, etc. Para esto se han desarrollado sistemas de tratamiento y bombeo para poder transportar y tratar la calidad de este recurso.

Un sistema de bombeo automatizado está compuesto por elementos como: fluido hidráulico, bombas hidráulicas, tanque reservorio, tuberías, válvulas, accesorios mecánicos, sensores y equipos control. Estos sistemas tienen el objetivo de transportar el fluido desde un punto de extracción o recolección hasta un el tanque reservorio.

##### **3.1.1 MECANICA DE FLUIDOS**

Para analizar o diseñar un sistema de trasiego de agua, es necesario comprender sus componentes, definir parámetros y variables involucradas, basándose en la naturaleza de los mismos para determinar cuál será el comportamiento del sistema en diferentes escenarios posibles. Para conocer los factores involucrados en este proceso, hay que fundamentarse en la Mecánica de Fluidos.

Según (Mott) "El término mecánica de fluidos se refiere al estudio del comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento". Para analizar el comportamiento de un fluido y diseñar un sistema hidráulico, se debe tomar muchas variables, para el desarrollo de este proyecto se tomaron en cuenta las siguientes:

- Presión
- Caudal o Flujo
- Volumen

### **3.1.2 DEFINICION DE UN FLUIDO**

Según (White, 2004) "Cualquier esfuerzo cortante aplicado a un fluido, no importa cuán pequeño sea, provocará el movimiento del fluido. Éste se mueve y se deforma continuamente mientras se siga aplicando el esfuerzo cortante. Como corolario, podemos decir que un fluido en reposo debe estar en un estado de esfuerzo cortante nulo."

### **3.1.3 MAQUINAS HIDRAULICAS**

Según (Zamora Parra y Viedma Robles, 2016) "Con carácter general, puede decirse que una máquina de fluido es un sistema mecánico que intercambia energía mecánica con el fluido que está contenido o que circula a través de él." Cuando se habla específicamente de máquinas hidráulicas, a diferencia de una máquina de fluidos, este concepto se aísla por la característica de manejar fluidos incompresibles.

### **3.1.4 BOMBAS HIDRAULICAS**

Según (De las Heras, 2011) "En el sentido más amplio del término, una bomba hidráulica es una máquina generadora que trabaja con un fluido incompresible en la que se produce una transformación de energía mecánica en hidráulica". Al tener el manejo de flujos incompresibles, se evita involucrar algunos conceptos termodinámicos en el análisis del sistema.

Las bombas pueden clasificarse según diferentes criterios, al ser máquinas que transforman energía mecánica en otro tipo de energía como ser la energía hidráulica, tienen un rendimiento determinado por una curva para cada tipo de bomba. Las bombas de uso más común en la industria se clasifican en:

- Bombas Volumétricas.
- Bombas Rotodinámicas.



### **3.1.4 BOMBAS ROTODINAMICAS**

Según (De las Heras, 2011) "Una bomba rotodinámica es una máquina generadora que comunica energía al fluido a su paso por uno o varios rodets, rotores o impulsores, incrementando su cantidad de movimiento".

Estas son las bombas más comunes en la industria para el transporte de agua o fluidos poco viscosos. Se pueden clasificar en base a diferentes criterios, sin embargo, el más utilizado es la dirección de flujo a la salida del rodete, el cual determina su clasificación de la siguiente manera:

- Bombas Centrífugas
- Bombas Axiales
- Bombas de Flujo Mixto.

Según (Shames, 2002) "Si en su paso a través de la turbina o bomba el fluido no se confina en ningún momento, puede considerarse el aparato como una turbomáquina; en caso contrario, se conoce como una máquina de desplazamiento positivo. En el caso de una turbina, el ensamblaje de los álabes que se encuentran unidos al eje usualmente se conoce como rotor, mientras que con bombas se conoce como impulsor."

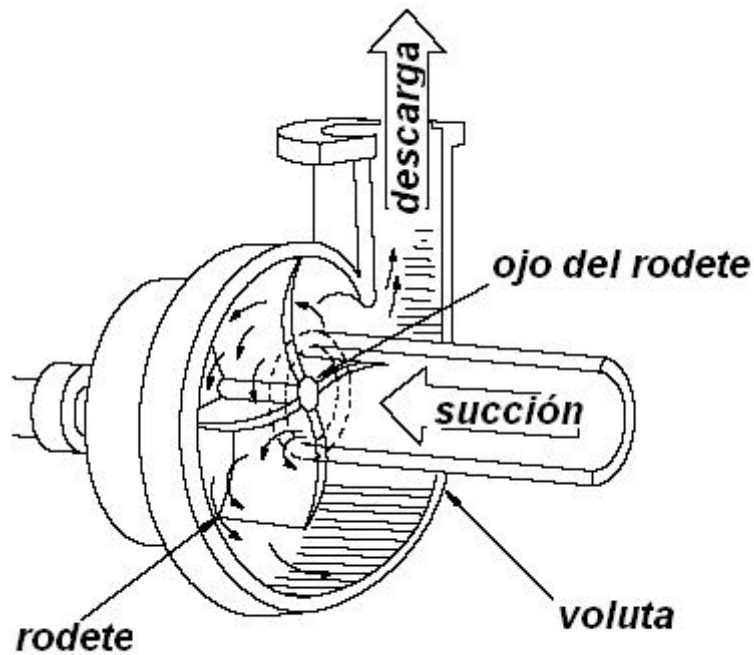


Figura 2: Diagrama de una Bomba Centrífuga (Fuente: Fullmecanica.com)

En los decantadores los arreglos de bombas trabajan con bombas rotodinámicas, específicamente centrífugas, estas se utilizan debido a que son las bombas más sencillas para la aplicación de bombeo de agua y fueron determinado por el estudio de bombeo de la Gerencia de Proyectos Mecánicos.

### 3.1.5 BOMBAS CENTRIFUGAS

“Las bombas centrífugas son el tipo más corriente de bomba rotodinámica. Se encuentran bombas centrífugas para caudales desde 1 L/min hasta  $10^6$  L/min, alturas de algunos metros hasta varias centenas, incluso en configuraciones de una etapa, y potencias de decenas de W hasta algunos MW. El rendimiento de las bombas más grandes puede llegar al 90% y su curva de potencia aumenta con el caudal.” (White)

Las bombas centrífugas son las bombas de uso más común en la industria debido a sus características y relaciones de rendimiento que mantienen. También son conocida como Turbomáquinas.



Figura 3: Bomba Centrífuga. (Fluideco)

### 3.1.6 BOMBAS SUMERGIBLES

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido

Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar abajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba siente en "un acoplador del pie de los platos", de tal forma conectándola con la tubería de salida.

Estas son las bombas que se colocan en la profundidad de los pozos y están sumergidas por debajo del nivel freático del subsuelo.

### 3.1.7 TREN DE DESCARGA

"La tubería de descarga, o tren de descarga, incluye los elementos para la operación, pruebas y protección contra golpe de ariete de la conducción a

presión y la bomba misma; abarca desde la descarga de la bomba hasta la conexión con a tubería de conducción a presión” (CNA, 2007).

Cada pozo en Gildan cuenta con un tren de descarga para la operación de cada pozo, cada uno de estos cuenta con un carrete de sensores, válvulas de purga o control, valvula de check, flujometro, bridas, etc. Los trenes de descarga se estandarizaron parcialmente con un diseño en acero inoxidable.

Por cada fase, los pozos se interconectan a través de una línea de impulsión que termina en los decantadores.

### **3.2. EXTRACCION Y TRATAMIENTO DE AGUA**

La ubicación de Gildan tiene una importancia estratégica, la zona de Río Nance debido al río que la atraviesa, además, del ciclo hidrológico y diversos factores determinan las condiciones para la formación de diversos acuíferos que circulan y se alojan por debajo de los niveles freáticos del subsuelo.

Según (Collazo & Montaña) “El agua subterránea es la que se aloja y circula en el subsuelo, conformando los acuíferos. La fuente de aporte principal es el agua de lluvia, mediante el proceso de infiltración. Otras fuentes de alimentación localizada pueden ser los ríos, arroyos, lagos y lagunas. El agua subterránea se sitúa por debajo del nivel freático y está saturando completamente los poros y/o fisuras del terreno y fluye a la superficie de forma natural a través de vertientes o manantiales o cauces fluviales.”.

#### **3.2.1 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL AGUA SUBTERRANEA**

En un perfil de subsuelo, normalmente se presentan dos zonas con caracteres hidráulicos diferentes, integradas por varias franjas o fajas. La zona más somera se denomina de aireación o zona no saturada y la más profunda de saturación o zona saturada.

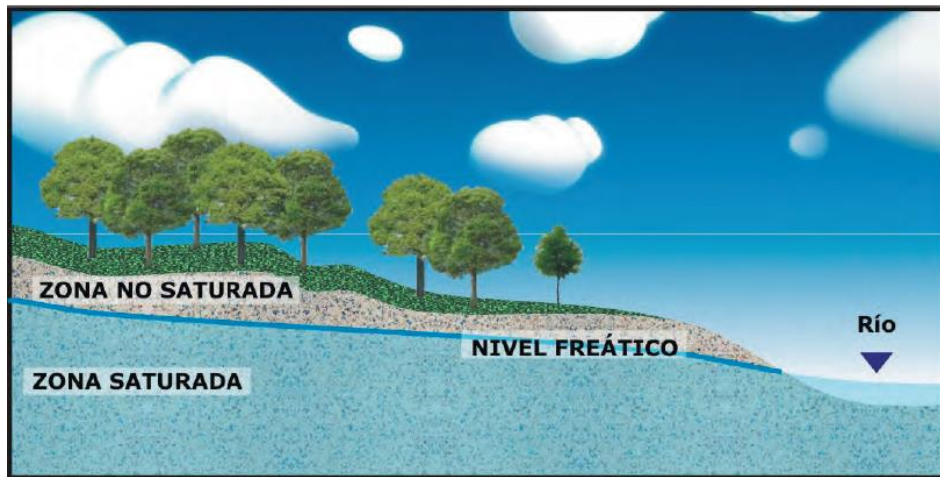


Figura 4: Perfil de zonas (Collazo & Montaña)

### 3.2.2 ZONA NO SATURADA

Esta zona se encuentra entre la parte superficial de la tierra y la superficie freática, esta zona se encuentra llena de aire y agua en pocas cantidades, esta zona puede dividirse en los siguientes niveles:

- **Zona de Evapotranspiración o Zona Edáfica:** en esta zona es donde se encuentra la vegetación, se desarrolla la mayor parte de procesos biológicos y es la mas cercana a la superficie.
- **Zona Intermedia:** Está comprendida entre el límite de ascenso capilar del agua y el límite de alcance de las raíces de las plantas.
- **Zona Capilar:** Se encuentra desde la superficie freática hasta el límite de ascenso capilar del agua. Su espesor depende principalmente de la distribución del tamaño de los poros y de la homogeneidad del terreno.

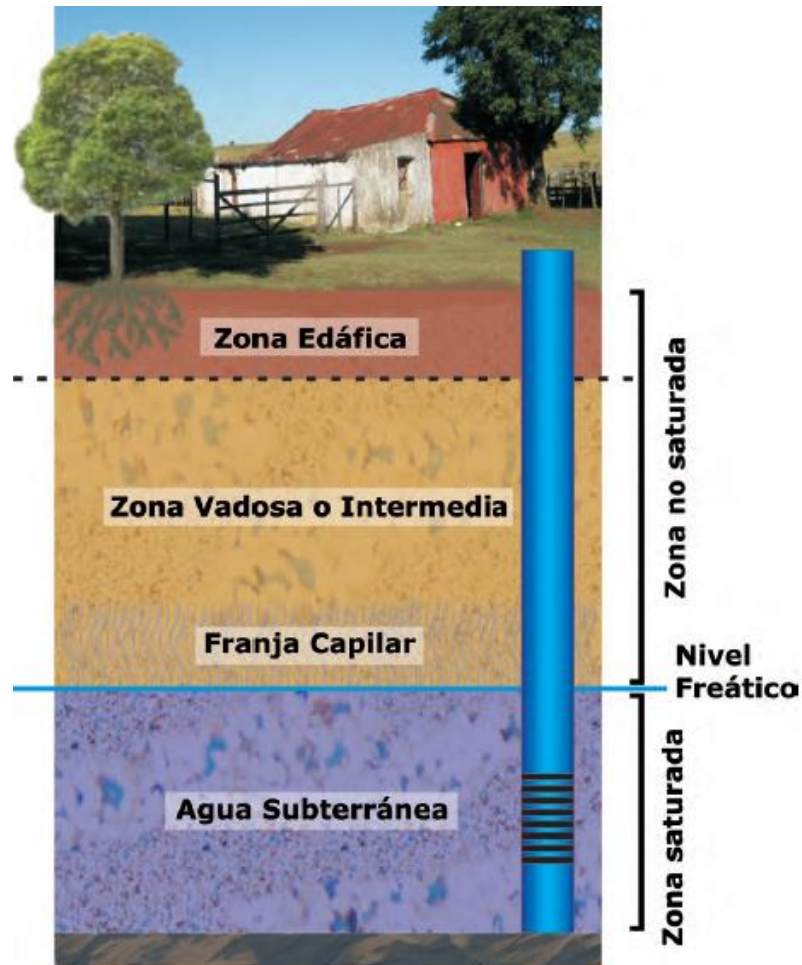


Figura 5: Ilustración de la distribución vertical (Collazo & Montaño)

### 3.2.3 ZONA SATURADA

La zona saturada es la zona de interés para este tipo de estudios, donde se concentra el agua. Esta zona está ubicada por debajo de la superficie freática, aquí todos los pozos y fisuras se encuentra llenos de agua.

### 3.2.4 ACUÍFEROS

Se denomina acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de obras que comúnmente son los pozos, que se construyen mediante perforaciones y tuberías que se ingresan para formar conos de bombeo.

En Gildan se realizaron determinados estudios y ensayos de bombeos, para determinar las ubicaciones de las perforaciones, profundidad de las bombas, etc.

Los acuíferos en Gildan son de porosidad primaria o poroso, esto representa un fenómeno de sedimentación y e infiltraciones dentro del pozo, debido a la calidad del material que forma los poros en el subsuelo.

Según (Collazo & Montaña) "Constituidos por formaciones geológicas sedimentarias. Los materiales suelen ser gravas y principalmente arenas, que varían su composición y tamaño en función de su origen geológico (fluvial, eólico, lacustre, glacial, etc.). Estos materiales pueden estar sueltos o no consolidados (generalmente son formaciones recientes, de edad cuaternaria) o consolidados."

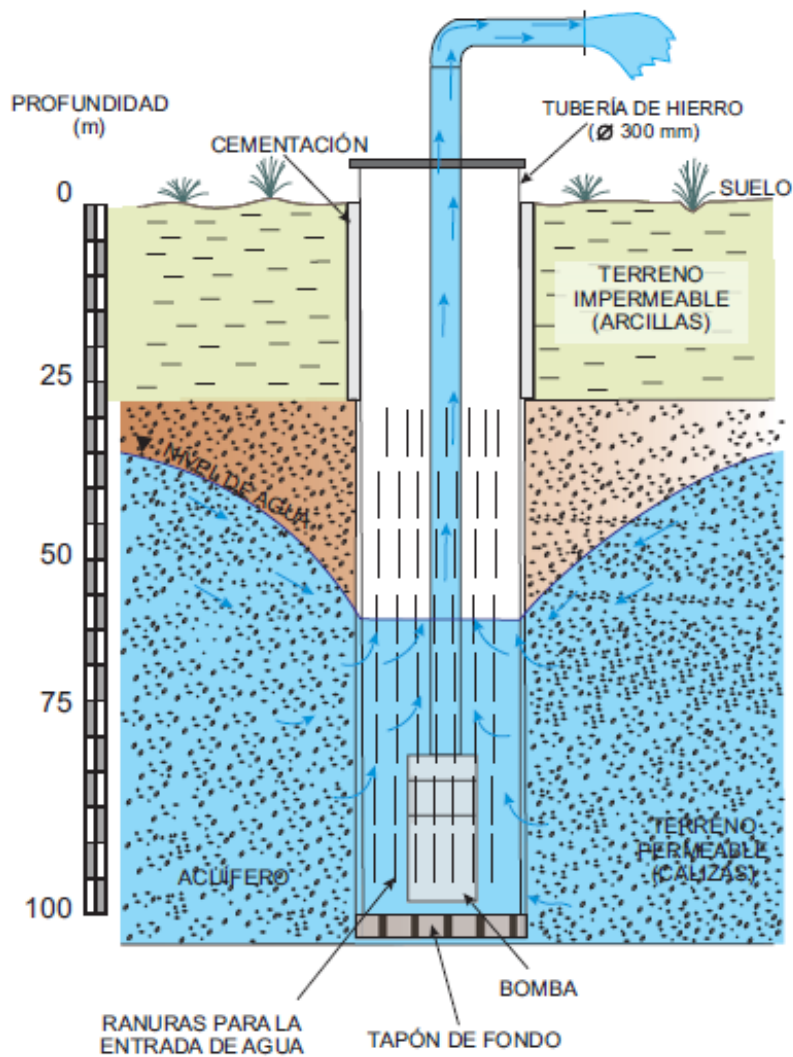


Figura 6: Cono de Extracción de agua (Mateos & González)

En la Figura 3 se puede observar el Cono de Bombeo que se forma cuando se extrae agua del pozo. Si la explotación del pozo es muy intensa, este cono se convierte en una depresión que puede tener repercusiones negativas, como secar otro pozo adyacente y la intrusión de contaminantes marinos o de otro origen.

Según (Mateos & González): "La explotación del acuífero genera un cono de bombeo en el entorno de la captación. Es importante decidir la profundidad más aconsejable a la que se coloca la bomba, especialmente en aquellos acuíferos conectados con el mar, para evitar posibles efectos de intrusión marina en el acuífero".

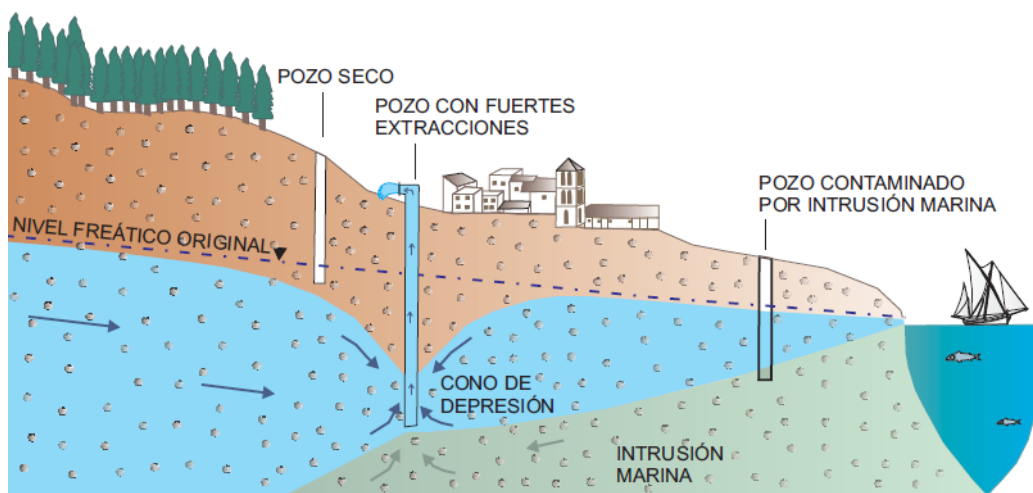


Figura 7: Depresión de Explotación Intensa de Pozos (Mateos & González)

La sedimentación de los pozos es uno de los problemas que presentan los pozos en Gildan, cuando estos se detienen bruscamente, los pozos se llenan de arena y lodos que son bombeados y posteriormente requieren la purga del pozo y por lo tanto el desperdicio de agua. Este fenómeno se produce debido a la gran depresión que se forma y el arrastre de arena que se produce cuando la energía potencial intenta recuperar su nivel estático. En la figura 4 y figura 5 se puede apreciar la depresiones o conos que se forman.



### 3.2.5 CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL AGUA

El agua bruta extraída de los acuíferos por su estado natural, puede contener diferentes sustancias químicas disueltas. Estos diferentes compuestos determinan la calidad de agua que se extraerá y la aplicación que pueda dársele o el tratamiento que deberá de dársele.

- **Conductividad eléctrica:** Es la medida de la facilidad de un agua para conducir la corriente eléctrica y su valor aumenta con el tenor de sales disueltas en forma de iones. En aguas subterráneas los valores de conductividad son del orden de  $10^{-6}$  mhos/cm, o micromho/cm (mhos/cm a 25°C). Este parámetro aumenta con la temperatura.
- **Turbidez:** es la dificultad del agua para transmitir la luz y se debe a la presencia de sólidos en suspensión (limos, arcillas, materia orgánica, etc.) que dificultan el pasaje de la luz.
- **pH:** es la medida de la concentración de hidrogeniones del agua o de la solución, estando controlado por las reacciones químicas y por el equilibrio entre los iones presentes. En agua subterránea varía entre 6,5 y 8,5.
- **ORP:** La gran mayoría de las sustancias disueltas en agua subterránea se encuentran en estado iónico. En el agua subterránea los cationes y los aniones fundamentales y el balance de estos determinan el Potencial de Oxidación Reducción, que será proporcional a la carga eléctrica que determinan estos iones. Este factor esta relacionado con el pH, debido a que cuantos más hidrogeniones tenga el agua, mayor cantidad de cationes poseerá, lo que representa una relación proporcional.

### 3.2.6 DECANTACIÓN

Los decantadores o también llamados desarenadores tienen como objetivo darle un pretratamiento al agua de los pozos. Según (CEPIS, 2005) "Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de

evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm”.

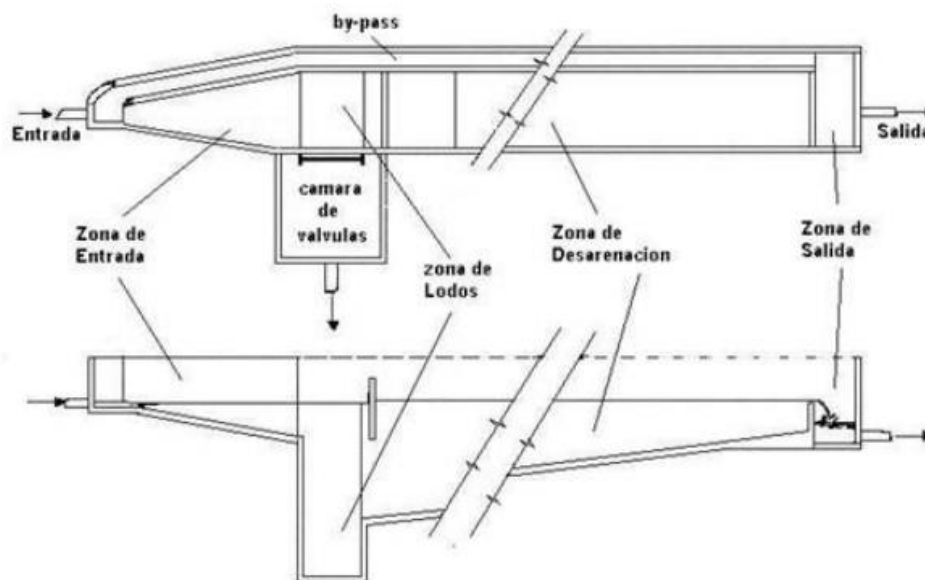


Figura 8: Diseño de un Decantador

En la Figura, se puede apreciar el diseño común de un decantador básico horizontal, el uso de estos decantadores sirve para extraer parte de los lodos e impurezas que se extraen de los pozos, lo que por consecuencia evita o reduce, paros por limpieza de tanques, oxidación en las tuberías y líneas de impulsión, además de, dar un acondicionamiento previo al agua antes de su proceso de suavizado, evitar atascamientos y degradación paulatina de las bombas, ni ingreso de lodos o partículas a las máquinas que se encuentran dentro de la planta.

“La instalación de un sistema de desarenado es ahora una práctica común para las plantas de tratamiento con equipos mecánicos y procesos del manejo de lodos, ya que la retención de las arenas evita que los equipos se deterioren.” (CNA, 2010).

### 3.3. MOTORES ELECTRICOS

Un motor eléctrico es una maquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Algunos motores eléctricos son reversibles ya que pueden transformar energía mecánica en eléctrica funcionando como generadores.

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, este tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

#### 3.3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

“El principio de funcionamiento del motor de asíncrono de inducción se fundamenta en la producción de un campo magnético giratorio. Si consideramos que el imán de la figura 3.2 con sus polos N-S pueda girar sobre el eje X-Y y que un disco de cobre o aluminio, que se halla sometido al campo magnético del imán, también puede girar libremente sobre su mismo eje, entonces tenemos que, si giramos el imán, su campo magnético gira igualmente, barriendo el disco próximo a él” (Martínez, 2001).

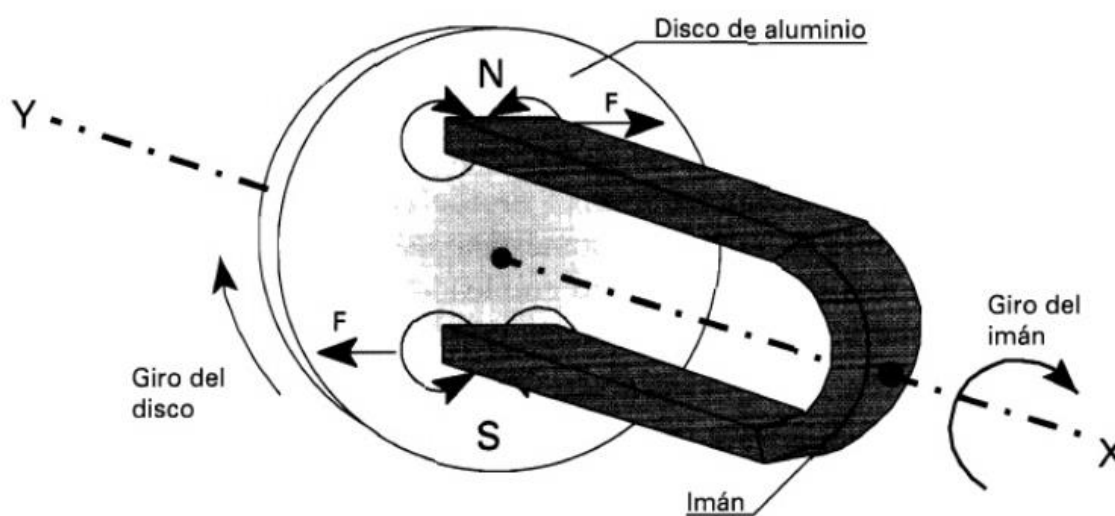


Figura 9: Imán de la figura 3.2 (Martínez, 2001)

### **3.3.2 MOTOR DE INDUCCION**

“Una máquina que sólo tiene un conjunto continuo de devanados de amortiguamiento se llama máquina de inducción. Se les llama así porque el voltaje en el rotor (que produce la corriente y el campo magnético del rotor) se induce en los devanados del rotor en lugar de estar físicamente conectados por cables.” (Chapman, 2012).

Los motores de inducción son los motores más usados en la industria debido a su poca complejidad y sus costos de fabricación. Pueden ser encontrados como motores monofásicos o trifásicos.

En Gildan todas las bombas utilizadas, tanto para los pozos o los arreglos de bombas, son bombas que utilizan un sistema de alimentación trifásico a 480 VCA.

### **3.4. CONTROLADORES DE MOTORES**

Según (Buitrón, 2000) “Originalmente el control de motores se enfocaba a las operaciones de arranque y paro, pero la evolución de los accionamientos, en los que aumentó el número y la variedad de operaciones que habían de realizarse, trajo como consecuencia el desarrollo de nuevas funciones y esquemas de control”.

A medida han ido desarrollandose la tecnología de los motores eléctricos y sus aplicaciones, se han desarrollado paralelamente a estos los controladores de motores. Que se utilizan para gobernar de alguna manera predeterminada la operación del motor, además dependiendo de su complejidad, diferentes funciones de monitoreo, protección, etc.

Los controladores de motores pueden ser dispositivos muy sofisticados o bastante sencillos, en la industria podemos tener arrancadores de estado solido, configuraciones electromecánicas, o incluso, variadores de velocidad que ofrecen un control muy amplio de los motores.

En Gildan se había utilizado paneles de control para las bombas sumergibles en los pozos instalado por BOMOHS, teniendo un control de arranque, paro, monitoreo y protección, sin poder variarse el régimen de las bombas. Debido a las nuevas necesidades en las que van incurriendo las plantas, se optó por eliminar estos sistemas de control e implementar el proyecto diseñado.

### 3.3.3 VARIADORES DE VELOCIDAD

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos de control de motores eléctricos de inducción, estos variadores se pueden utilizar para motores D.C. y motores C.A. con la variación de su la tensión de entrada y frecuencia.

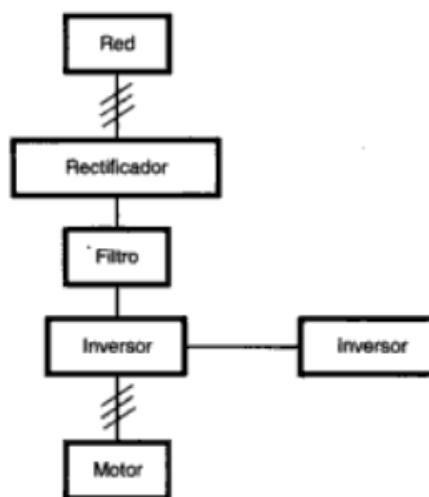


Figura 10: Diagrama de Bloques de un Variador (Alvarez)

### 3.4.1 VARIADORES DE FRECUENCIA

Según (Alvárez, 2000) "Un convertidor de frecuencia es un aparato destinado a modificar la frecuencia, y por tanto, la velocidad de un motor de inducción asíncrono; es decir, que genera una corriente alterna con la frecuencia y tensión necesarias para accionar dicho motor de corriente alterna".

Con el objetivo de obtener un control de los caudales que que circularán por todas las fase del proyecto, se implementó en el desarrollo de la programación un variador para bomba. Estos variadores además de su función principal de

controlar la velocidad del motor y, por lo tanto, el caudal de cada etapa, servirán además para brindar una protección al motor y dar arranque y frenados regulados al motor.

Según (Ventura, 2008) "Un convertidor de frecuencia también podría ser usado para arrancarsuavemente un motor. Sin embargo, los convertidores de frecuencia sólo tienen sentido si además del arranque la velocidad del motor debe ser variada durante la operación; y desde luego esto tiene un costo adicional.". Los variadores de frecuencia cuentan con diversas funciones, además de controlar simplemente su velocidad, razón por la cual tienen una gran demanda en la industria.

### **3.4.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

En un motor C.A se tiene la siguiente relación para su velocidad de giro:

$$N = \frac{60f}{p} \text{ r.p.m}$$

Donde:

$N$  = velocidad de giro del motor.

$f$  = Frecuencia.

$p$  = número de pares de polos.

$r.p.m$  = revoluciones por minuto

Las variables de las que depende la ecuación son la frecuencia y el par de polos, por lo tanto, al cambiar estas variables se obtendría un cambio de velocidad. El cambio de pares de polos es un procedimiento poco práctico y muy complicado, a diferencia de la variación de frecuencia, un procedimiento mas sencillo que se puede realizar gracias a electrónica.

### **3.4.3 VENTAJAS DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA**

- Ahorro energético; consumo sólo lo que necesita en cada momento.
- Se puede instalar en máquinas que estén funcionando sin él y no se tienen que modificar sus partes.
- Puede ser controlado a distancia y con cualquier sistema automático.
- Se pueden conectar varios motores en paralelo.
- No precisan de mantenimiento alguno
- Los motores que se pueden utilizar son los estándar.
- No precisa contactor para su maniobra y si se quiere invertir el sentido de giro tampoco precisa un inversor exterior.
- No precisa relé térmico, ya que protege el motor por control de la intensidad, sobrecarga y sobreintensidad instantánea
- Se puede conseguir una velocidad constante cualquier que sea la carga.
- Se puede programar el tiempo de arranque y de parada, freno.
- Posibilidad de crear lazos de retroalimentación con controles PID
- Protección del motor y prolongación de vida útil.
- Se pueden programar varias velocidades distintas con rampas de arranque y de parada.

### **3.5. AUTOMATIZACION DE SISTEMAS**

La automatización de los sistemas es la transición de los procesos realizados por operadores humanos a un conjunto de tecnologías que se encargan de realizar las tareas de una manera más rápida y con mayor productividad.

Los campos de la automatización incluyen su aplicación en procesos: industriales, agrícolas, domésticos, administrativos, científicos, entre otros.

Según (Daneri, 2008) "La producción a gran escala involucra tareas repetitivas, donde se debe mantener, además, un conjunto de magnitudes dentro de márgenes preestablecidos. La aplicación de dispositivos electromecánicos y electrónicos en el área industrial permitió automatizar las tareas repetitivas, aumentando así los niveles de producción, y controlar las magnitudes físicas en forma más precisa. Automatizar y controlar, las principales funciones que desempeñan los sistemas de control".

El diseño de la automatización que fue implementada en este proyecto, se realizó con el objetivo de reducir las tareas de los cooperadores a la hora de hacer limpiezas de tanques y paros por mantenimiento; también se consideraron los tiempos que se invierten en realizar purgas de pozos después de su sedimentación; encendido y apagado de pozos por rebalse o vaciado de tanques: revisión de caudalímetros para llevar el control de consumo diario, semanal y mensual por pozos.

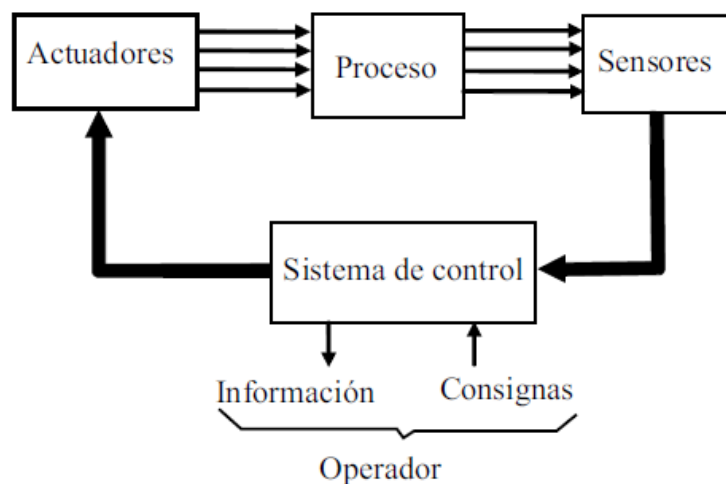


Figura 11: Estructura de un Sistema Automatizado (Sanchis, 2010)



### 3.5.1 REPRESENTACION DE SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control son secuencias de acciones para controlar un proceso cualquiera. Estos sistemas se pueden representar con diferentes esquemas, diagramas o ecuaciones que se basan en modelos matemáticos para representar una secuencia del proceso que se está controlando. Generalmente esto se representa con diagramas de bloques o con funciones de transferencia.

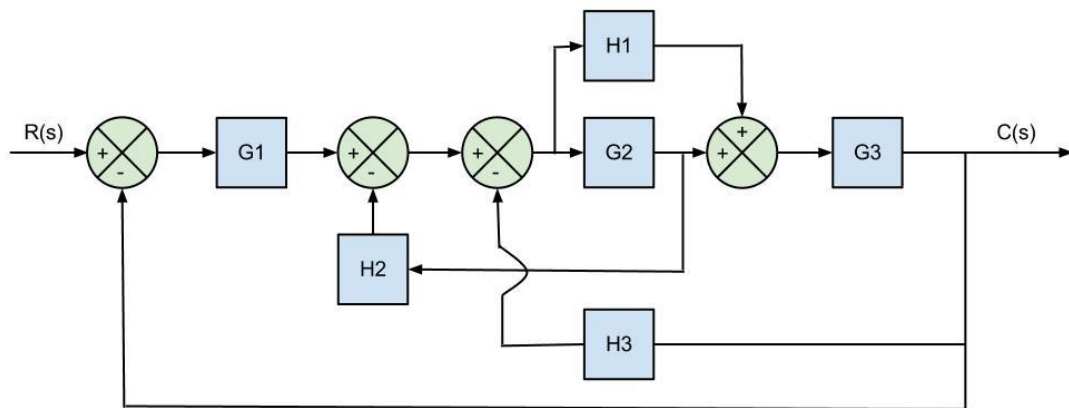


Figura 12: Ejemplo de un Diagrama de Bloques (González)

El diagrama de bloques es una representación gráfica donde podemos ver la relaciones que existen entre un componente y otro. Contiene información del comportamiento dinámico, pero no de la construcción física del sistema. Se utilizan implementando funciones matemáticas.

Para obtener una función de transferencia que representa el cociente de la salida entre la entrada. Esta función de transferencia representa la resolución matemática de todo el proceso esquematizado en el diagrama de bloques.

“Un diagrama de bloques de un sistema es una representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente y el flujo de señales. Tales Diagramas muestran las relaciones existentes entre los diversos componentes. A diferencia de una representación matemática puramente abstracta, un diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar de forma más realista el flujo de señales del sistema real”. (Ogata, 2010)

### 3.5.2 SISTEMAS DE LAZO ABIERTO

Los sistemas de lazo abierto se caracterizan por acciones que se ejecutan en un sistema de control, sin retroalimentación alguna, esto significa por lo tanto que al sistema se le asigna una consigna y el sistema no comprueba que el valor de salida se igual a la consigna, que podría ser afectado por perturbaciones o ruidos que distorsionen el valor de la salida.

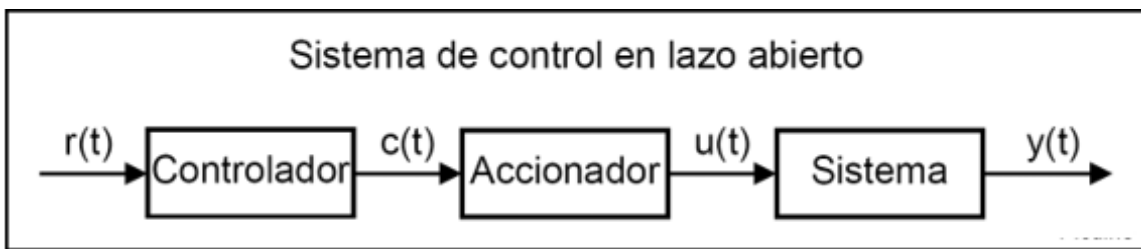


Figura 13: Diagrama de Bloques de Lazo Abierto. (Ogata, 2010)

### 3.5.3 SISTEMAS DE LAZO CERRADO

Los sistemas de lazo cerrado, a diferencia de los de lazo abierto, si tienen retroalimentación, esta retroalimentación se utiliza para comprobar el valor de salida y compararlo con la consigna.

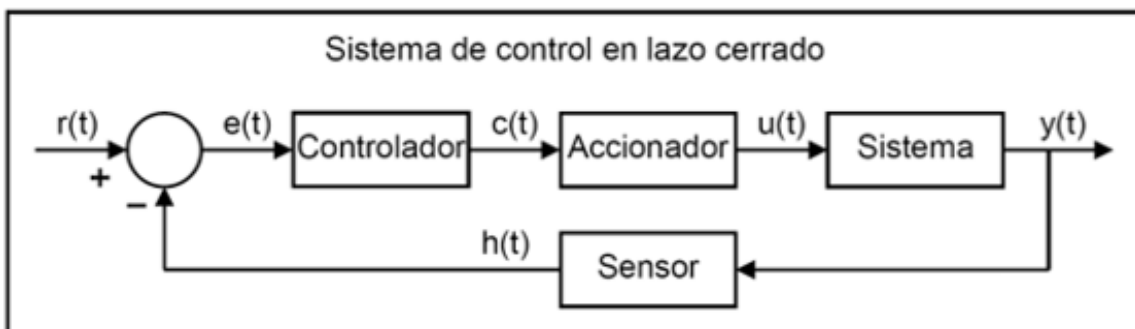


Figura 14: Diagrama de Bloques de un Lazo Cerrado (Ogata)

### 3.5.4 CONTROLADORES AUTOMATICOS

Según (Ogata, 2010) " Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o aun valor pequeño".

Los controladores automáticos, son controladores que utilizan lazos cerrados para hacer la comparación entre una consigna y una señal de error y se disminuye la diferencia entre estos a un valor muy pequeño. Esto sirve para asegurar el valor al cual se espera que trabaje un actuador determinado.

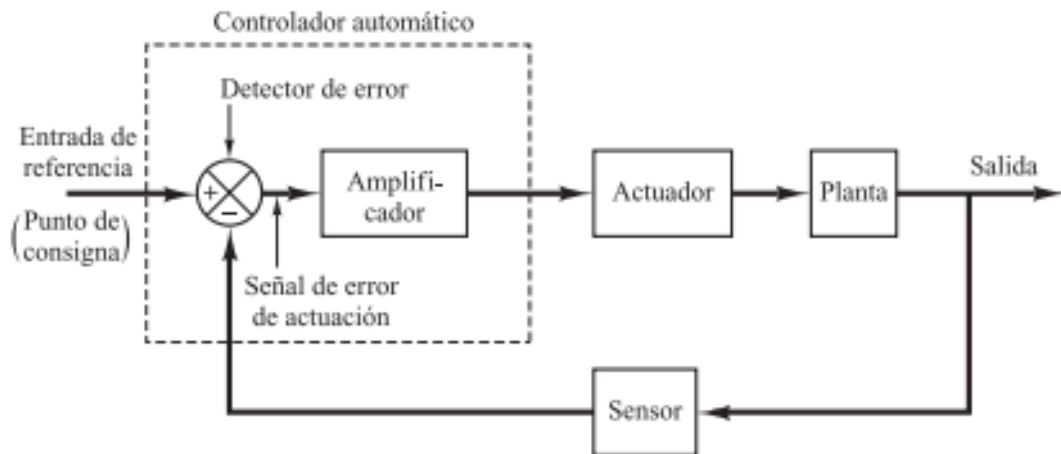


Figura 15: Diagrama de Bloques de Controlador PID (Ogata)

Los controladores automáticos pueden clasificarse de acuerdo a sus acciones de control.

- De dos posiciones o controladores on-off
- Controladores proporcionales
- Controladores integrales
- Controladores proporcionales-integrales
- Controladores proporcionales-derivativos
- Controladores proporcionales-integrales-derivativos

### 3.5.5 CONTROLADORES PID

Los Controladores Proporcionales Integrativos Derivativos o como comunmente se le conoce, Controladores PID, son los controladores automáticos mas utilizados en le industria. Este controlador reúne todas las cualidades de los demas controladores automáticos individuales. Controlan las señales de salidas, dándole estabilidad a la mismas y evitando variaciones de amplitud muy grande en una señal.

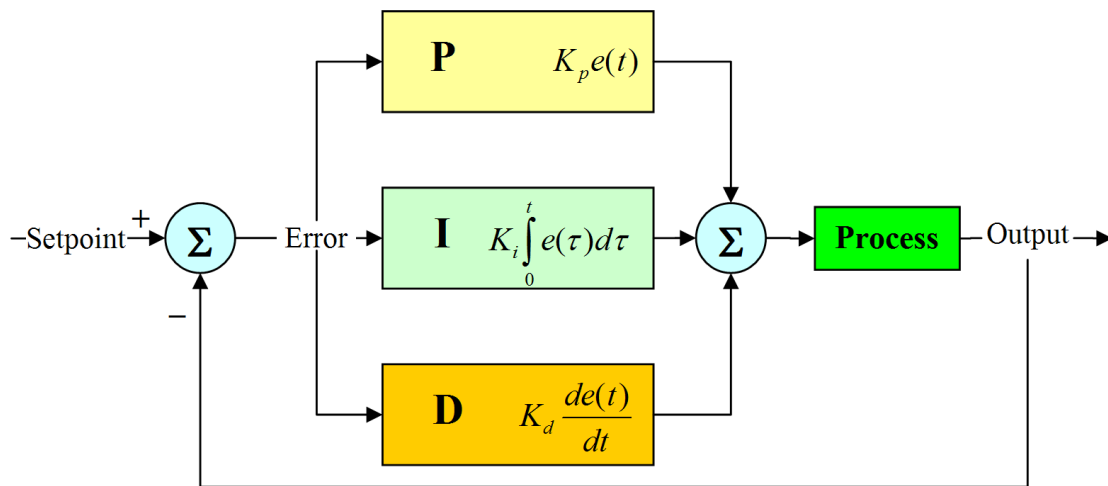


Figura 16: Diagrama de Bloques de Controlador PID (Gútiéz)

El parámetro Proporcional (P) mide la diferencia entre el valor actual y el set-point (en porcentaje) y aplica el cambio. El parámetro Integral (I) se refiere al tiempo que se toma para llevar a cabo acción correctiva. Mientras el valor sea más pequeño, el ajuste es más rápido pero puede causar inestabilidad en el sistema, oscilaciones, vibración de motor y de la bomba. El parámetro Derivativo (D) emite una acción predictiva, es decir, prevé el error e inicia una acción oportuna. Responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

La correcta sintonización o programación de estos parámetros permite obtener un control efectivo de valores de los actuadores en un proceso. Es de suma importancia programar adecuadamente estos parámetros, ya el sistema puede quedar inestable y el motor o actuador que se desee controlar pueden comenzar a vibrar y dañarse.

### **3.5.6 AUTOMATISMOS PROGRAMABLES**

Los automatismos programables son una de las tecnologías más utilizadas en la industria y que presenta mayores ventajas. A diferencia de los automatismos cableados donde se incluyen los relés, contactores, etc. Se encuentra la tecnología programable que incluye los computadores, microprocesadores y plc.

Según (García, 2001) "Se trata de una tecnología desarrollada a partir de la aparición del microprocesador, y de los sistemas programables basados en éste, computadores, controladores lógicos y autómatas programables. Constantemente, debido a los altos niveles de integración alcanzados en la microelectrónica, el umbral de rentabilidad de esta tecnología decrece".

Los automatismos programables siguen desarrollándose constantemente, presentando mejoras, velocidades de procesamiento más altas e integración de funciones más complejas. Entre las ventajas que presenta la lógica programable sobre la lógica cableada, se encuentran:

- Gran flexibilidad
- Posibilidad de cálculo científico
- Implementación de algoritmos complejos de control de procesos
- Arquitecturas de control distribuido
- Comunicaciones y gestión

### 3.5.7 PLC

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) o también conocidos como Automata Programable Industrial (API) . Son los automatismos programables más utilizados en la industria, debido a su robustez y cantidad de funciones adaptadas para el ambiente industrial. Se pueden encontrar en muchas gamas como media, baja y alta, dependiendo de la aplicación que se le dará.

Los PLC cuentan con diferentes funciones, lógicas, matemáticas, comunicación, temporizadores, contadores, etc. Además de espacios de memoria permanente y remanente. Pueden ser conectados con módulos que permiten al PLC comunicarse a través de estos para controlar los diferentes procesos para el cual es programado.

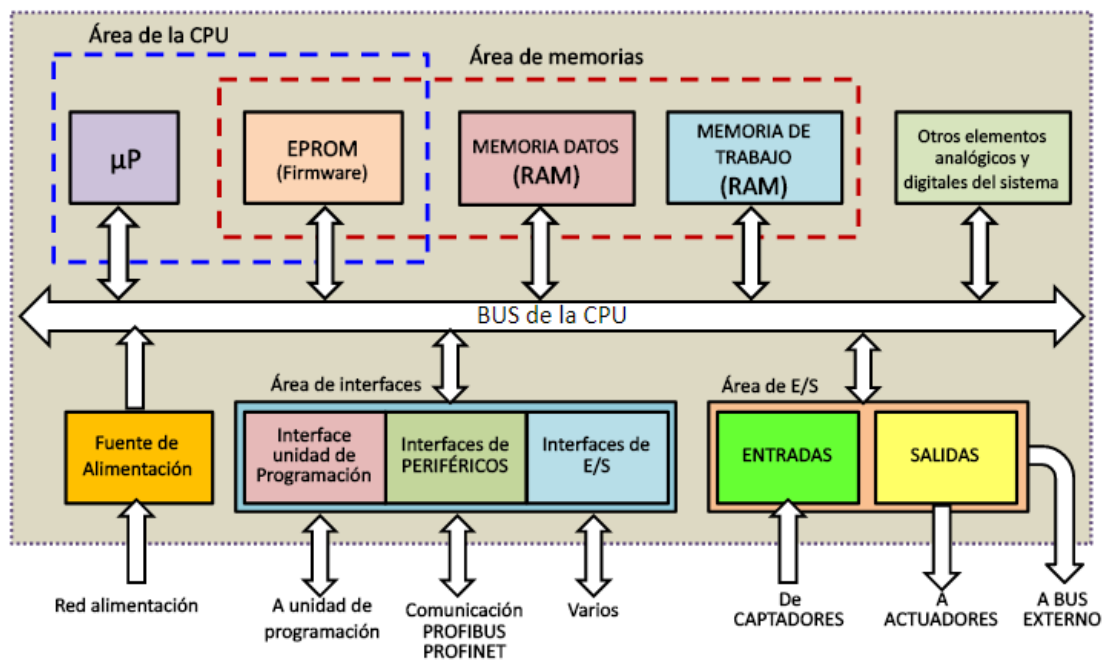


Figura 17: Arquitectura de un PLC (Hurtado)

### 3.5.8 INSTRUMENTACION

La instrumentación de las aplicaciones de control industrial, son las partes de nuestro sistema que brindarán información del estado de las variables involucradas en un proceso. Los sensores que se utilizan en los sistemas de control hacen más completo el monitoreo del mismo y son fundamentales en los sistemas de lazo cerrado.

Según (Creus, 2010) "Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida y de control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados".

Los sensores tienen distintas características, que pueden ser dinámicas, que describen el comportamiento transitorio del sensor o transductor o pueden ser estáticas, que describen el comportamiento permanente del sensor.

Características Dinámicas:

- Velocidad de respuesta
- Respuesta en frecuencia
- Estabilidad

Características Estáticas:

- Rango de medida
- Resolución
- Precisión
- Repetibilidad
- Linealidad

### **3.6. DIAGRAMA DE GAANT**

El plan o programa de ejecución de un proyecto puede representarse con un gráfico de Gantt, esta herramienta permite visualizar la duración de diferentes Hitos y tareas que involucra el proyecto, además permite observar las tareas que dependen de la finalización de otras tareas o que se pueden ejecutar paralelamente a otras tareas.

“El programa muestra que el contratista puede terminar el proyecto dentro del marco de tiempo establecido en la solicitud de propuesta; éste programa de las tareas puede entregarse en uno de varios formatos: una lista de las tareas con sus fechas de inicio y terminación estimadas; una gráfica de barras, a menudo llamada gráfica de Gantt, con la duración estimada de cada tarea representada por una barra a lo largo de una línea de tiempo horizontal, o un diagrama de red en el cual las tareas se representan de manera gráfica, mostrando la secuencia y la interdependencia entre ellas.” (Gido & Clements, 2012).



## **IV. METODOLOGIA**

### **4.1. VARIABLES DEPENDIENTES**

Las variables dependientes son: la frecuencia de trabajo de los motores en los pozos, tanto en el arreglo de bombas del decantador como de los pozos. Este nivel de frecuencia el cual se maneja entre 15-60 Hz está supeditado por el nivel y flujo.

### **4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

Las variables independientes son:

- El Caudal del Tanque: esta es la demanda de agua que depende de las máquinas y calderas de la planta
- El Nivel del Tanque y Decantador: el nivel de estos elementos varía en función de del caudal que se extrae de los mismos.

Otras variables independientes que no son determinantes en el control de otras variables, sino más apropiadamente, parte del monitoreo de la calidad de agua son:

- Presión
- Conductividad
- ORP
- PH
- Turbidez

### 4.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 1: Cronograma

ACTIVIDADES	SEMANAS																
	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10							
	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	L	M	J	V	
Inducción de seguridad																	
Recorrido por fases																	
Selección de plataforma y equipos																	
Recopilación de datos																	
Programación																	
Presupuesto y Alcances																	
Análisis de Riesgos																	
Plan de mantenimiento																	
Plan de ejecución																	
Presentación de diseño																	

## **V. ANALISIS Y RESULTADOS**

El diseño se realizó tomando los datos que eran necesarios, incluyendo datos técnicos, lista de materiales requeridos, distancias entre fase, cantidades y capacidades de equipos necesarios. Después de realizar la respectiva toma de datos se realizó una lista de requerimientos de la programación, configuración de equipos y desarrollo del informe para que el proyecto pueda llevarse a licitación una vez que todas las fases estén terminadas.

Para realizar el diseño se elaboraron los siguientes entregables:

- Resumen del Proyecto
- Selección de Plataforma y Equipo
- Presupuesto y Alcances
- Modelo de Programación para FASE I
- Análisis de Riesgos para el Proyecto
- Plan de Mantenimiento
- Plan de Ejecución

Estos fueron presentados en un informe y entregados a la Gerencia de Proyectos Mecánicos del departamento de Proyectos.

### **5.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

En este apartado se planteo el panorama general del proyecto y profundizado para cada fase. Se mostro un resumen general del proyecto, ficha de apertura de proyecto de GILDAN, requerimientos del sistema, datos técnicos de cada fase y tabla de direcciones IP.

### 5.1.1 RESUMEN DEL PROYECTO

Se desarrolló un diseño de automatización que controla las bombas de los pozos y decantadores de cada etapa, a través de un control PID de los variadores y decantadores de los pozos, en base al caudal de la etapa siguiente.

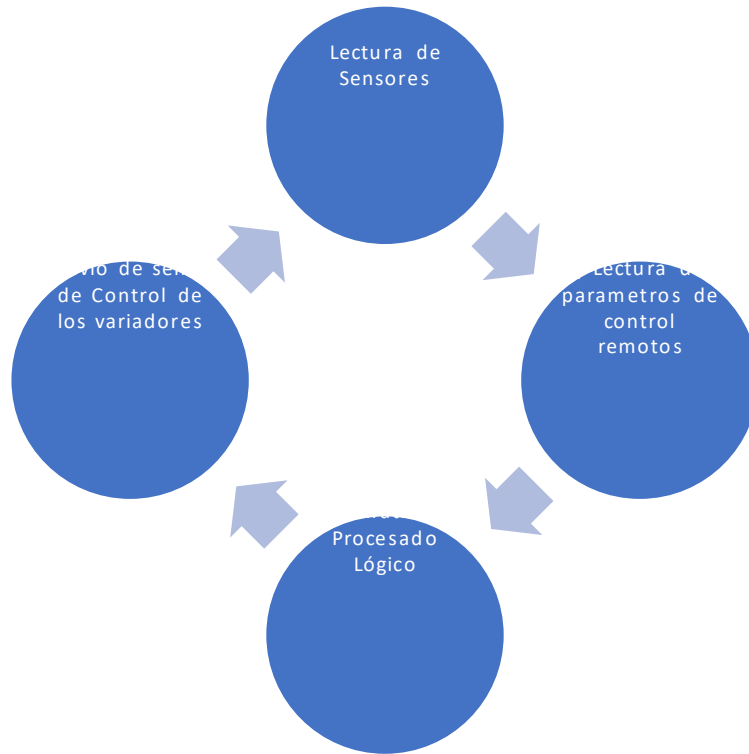


Figura 18: Algoritmo general de sistema (Fuente propia)

Las diferentes etapas del sistemas se comunicarán a través de antenas de radiofrecuencia donde el tanque establecerá una comunicación con el decantador y el decantador con los pozos.

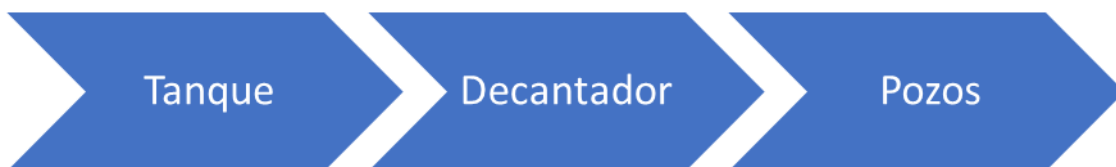


Figura 19: Esquema de Dirección de Flujo de Datos (Fuente Propia)

El sistema se desarrolló con un modo manual y un modo automático. El cual siempre permitirá la comunicación de las etapas, pero omitirá el procesado lógico y cálculos matemáticos que efectuará el sistema para controlar las bombas.

### 5.1.2 RESUMEN DE FASES

Se realizó un resumen para identificar que obras civiles y mecánicas que forman pertenecen o pertenecerán a las diferentes fases del proyecto, este pequeño resumen determina la cantidad de pozos y los ubica junto con los decantadores y tanque al que pertenecerán, desde una perspectiva a futuro, ya que los pozos y decantadores de la FASE IV, agregándole el decantador de la FASE III están proyectados.

Tabla 2: Resumen de Fases

FASE	Cantidad de Pozos	Ubicación de Pozos	Ubicación de Decantador	Ubicación de Tanque
FASE I	6	Shing-Sung	Shing-Sung	Choltex
FASE II	2	Sulatex	Sulatex	Sulatex
FASE III	4	Lagunas de Tratamiento	Hosiery Río Nance	Sulatex
FASE IV	4	Hosiery Factory	Hosiery Factory	Mayan

### 5.1.3 DATOS TECNICOS POR FASE

Se recopilaron diferentes datos técnicos para poder realizar el diseño, tomando en cuenta las diferencias de cada fase. Se tomaron datos de interés para el diseño, con el objetivo de reunir los datos correctos para la configuración y programación de equipo, además, poder brindar un resumen de datos para poder llevar el proyecto a licitación y ejecutar el mismo.

Los datos técnicos se recopilaron tomando diferentes recorridos por las fases correspondientes y tomando medidas y analizando datos de placas de bombas junto con las personas que conforman el área mecánica y el área de dibujo que facilitó algunos planos de las etapas de cada fase.

## INFRAESTRUCTURA

	Ubicación	Capacidad (gal)	Altura (m)
DECANTADOR	Shing-Sung	36,060	-
TANQUE	Choltex (RN2)	200,000	7.3

## BOMBAS POZOS DE ALIMENTACION

POZO	Ubicación	Planta Destino	Caudal (GPM)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Fases	Potencia (hp)
1	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	89.2	460	60	3	5
2	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	210	460	60	3	10
3	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	293	460	60	3	20
4	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	220	460	60	3	15
5	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	258.57	460	60	3	15
6	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	250	460	60	3	15

## ARREGLO DE BOMBAS DEL DECANTADOR

Bombas	Ubicación	Planta Destino	Caudal (GPM)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Fases	Potencia (hp)	Descripción
1	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	650	460	60	3	15	Alimentación
2	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	650	460	60	3	15	Alimentación
3	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	650	460	60	3	15	Alimentación
4	SHING SUNG	CHOLTEX (RN2)	650	460	60	3	15	Back-up

Tabla 3: Datos Técnicos para Fase I

#### 5.1.4 REQUERIMIENTOS DE LA PROGRAMACION DEL SISTEMA

Se elaboró un resumen de los requerimientos de la programación del sistema que posteriormente fueron plasmados en la programación.

##### Lectura de Sensores

Tabla 4: Tabla de señales por etapa

POZOS	DECANTADOR	TANQUE
-Presión -PH -ORP -Conductividad -Caudal	-Turbidez -Nivel -Caudal	-Nivel -Caudal

##### Control de Nivel de los Decantadores y Tanque

El rango del Decantador se programó para mantenerse entre 20%-80% y el Tanque mantiene un rango entre 50%-80%. Esto se desarrolló con el criterio de poder permitir siempre un nivel disponible de agua en estas etapas, en caso de un error o paro no previsto.

##### Control de Caudales Equivalentes

Los caudales entre cada etapa deberán ser equivalentes con el caudal de la siguiente etapa. Esto se desarrolló con el objetivo de poder mantener un nivel estable en los decantadores y tanques y mantener los pozos trabajando a un nivel constante.

$$Q_{PZO1} + Q_{PZO2} + Q_{PZO3...} = Q_{DEC} = Q_{TNQ}$$

Cada planta tiene una cantidad de pozos asignados y una demanda promedio determinada, por lo cual, a cada pozo se le asignará un porcentaje de agua que aportará al tanque en base a su capacidad. En base a este porcentaje se calculará

en la programación la demanda de agua proporcional correspondiente a cada pozo que deberá entregar la bomba.

Tabla 5: Tabla de caudales equivalentes

FASE	DEMANDA (GPM)	POZOS	CAUDAL (GPM)	PORCENTAJE
<b>FASE I</b>	1320.8	Pozo #1	89.20	6.75
		Pozo #2	210.00	15.90
		Pozo #3	293.00	22.20
		Pozo #4	220.00	16.65
		Pozo #5	258.57	19.58
		Pozo #6	250.00	18.92
<b>FASE II</b>	726.73	Pozo #5	400.00	55.04
		Pozo #6	326.73	44.96
<b>FASE III</b>	1745	Pozo #1	515	29.51
		Pozo #2	510	29.22
		Pozo #3	500	28.65
		Pozo #4	215	12.32
<b>FASE IV</b>	1600	Pozo #1	-	-
		Pozo #2	-	-
		Pozo #3	-	-
		Pozo #4	-	-

Tabla 6: Resumen de Caudales Correspondientes por Fase

### Implementación de HMI en el decantador y el Pozo

Con el objetivo de implementar un control manual de los pozos, se plasmó el control de los pozos a en el decantador de cada fase, para centralizar el control de los pozos en un solo lugar.



Tabla 7: Tabla requerimientos para Pozos

HMI para Pozos
Aviso en caso de fallo para cada uno de los sensores correspondientes
Aviso en caso de fallo de la comunicación con el decantador
Aviso en caso de fallo o problema generado por el variador
Pantalla de Monitoreo para el despliegue de valores de sensores, capacidad a la que trabaja la bomba y nivel del decantador
Control Manual de la bomba

Tabla 8: Tabla de Requerimientos para Decantadores

HMI para Decantadores
Aviso en caso de fallo para cada uno de los sensores correspondientes
Aviso en caso de fallo de la comunicación con el decantador
Aviso en caso de fallo o problema generado por el variador
Pantalla de Monitoreo para el despliegue de valores de sensores, capacidad a la que trabajan las bombas y nivel del decantador y tanque
Control Manual del Juego de Bombas del Decantador y de los pozos
Activación de Bomba de Respaldo que puede sustituir cualquiera de las otras bombas del decantador

### **Comunicación entre Etapas y Transferencia de Datos de Control**

En el modelo de programación se utilizó funciones de comunicación para obtener los datos de la etapa correspondiente, con una comunicación previamente configurada.

### **Control PID con variador de bombas de Pozos y Decantadores**

Para cada bomba debe realizarse un control PID que será retroalimentado con la señal de caudal de cada pozo o decantador. Cada bomba será controlada a través de un variador de frecuencia, la frecuencia de trabajo NO DEBERÁ SER MENOR A 15 Hz que equivale al 20% de la Frecuencia nominal y se utilizó un valor máximo de la bomba de 75 Hz que equivale al 120%.

- Para las Bombas de los Pozos: Las bombas deberán mantenerse trabajando todo el tiempo, esto con el fin de que no se sedimente el pozo cuando la bomba se pare.
- Para las Bombas de los Decantadores: Deberá mantenerse un control secuencial, a diferencia de los pozos, el paro de una o varias bombas del juego no representa un problema.

### **Control Manual y Paro de Emergencia**

El modo automático incluye: el control de nivel y control de caudales equivalentes.

El control manual deberá poder ser activado tanto para el decantador o los pozos por separado.

#### **Para los Pozos:**

- Desde el decantador, deberá poderse entrar al modo manual de todos los pozos (esto con el objetivo de poder controlar todos los pozos desde un solo lugar). IMPORTANTE: Esto requiere de transferencia de datos remotos de una señal modo manual para pozos desde Decantador.
- Colocar un control manual individual para cada pozo (así se controlarán fallos aislados de cada pozo y se podrá utilizar el variador desde en caso de un fallo de comunicación con el decantador).

#### **Para los Decantadores:**

Control Manual para los Decantadores

### **Integración al SCADA**

Se deberá interconectar el sistema con el SCADA, conectando a la red industrial de cada planta y Biomasa. Para poder transferir datos; realizar monitoreo de

niveles de agua, consumos de agua, consumos de energía eléctrica; monitorear parte del sistema y realizar el control de algunas partes del sistema.

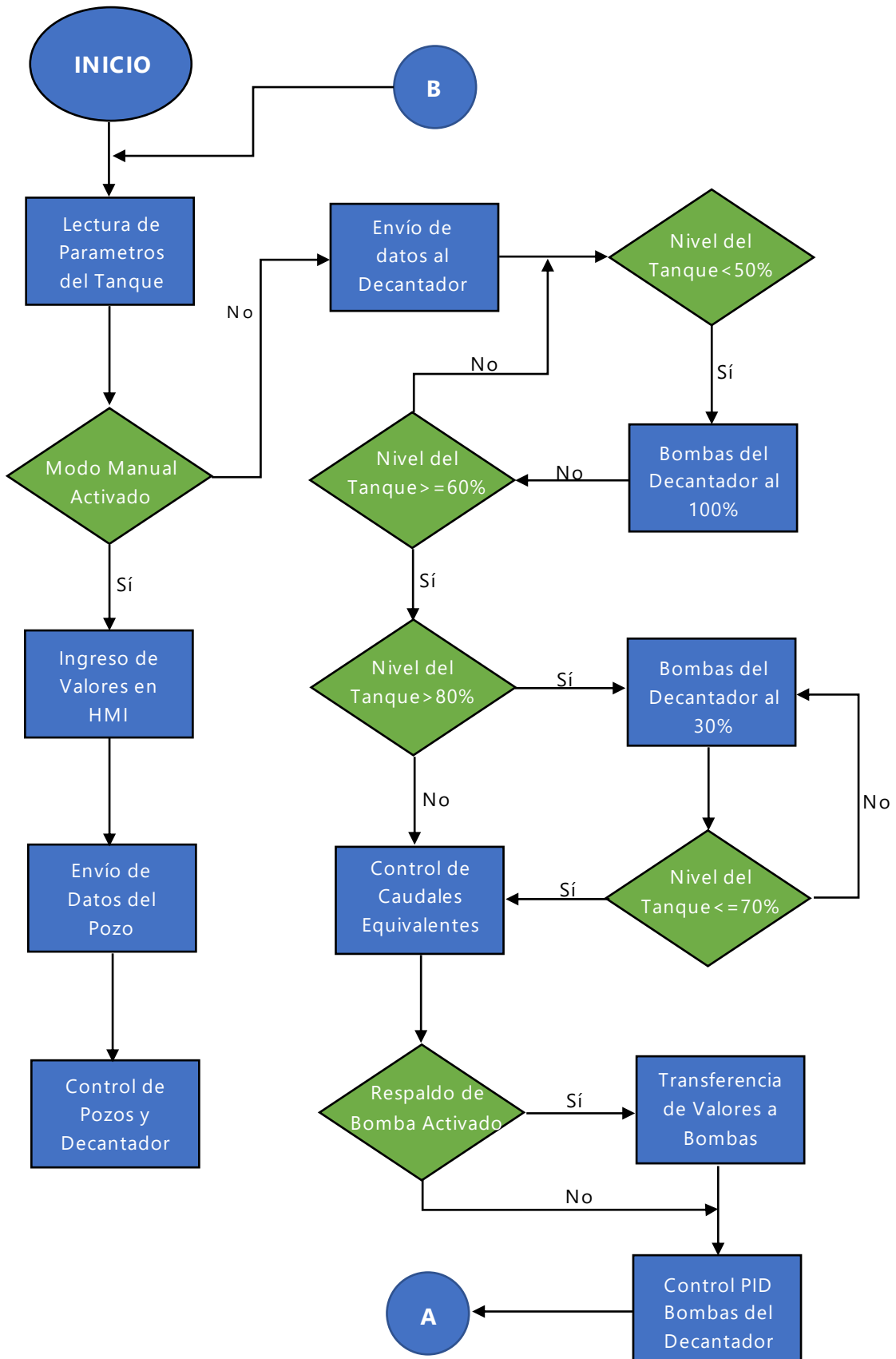
Este requisito es complementario a la comunicación y transferencia de datos remotos.

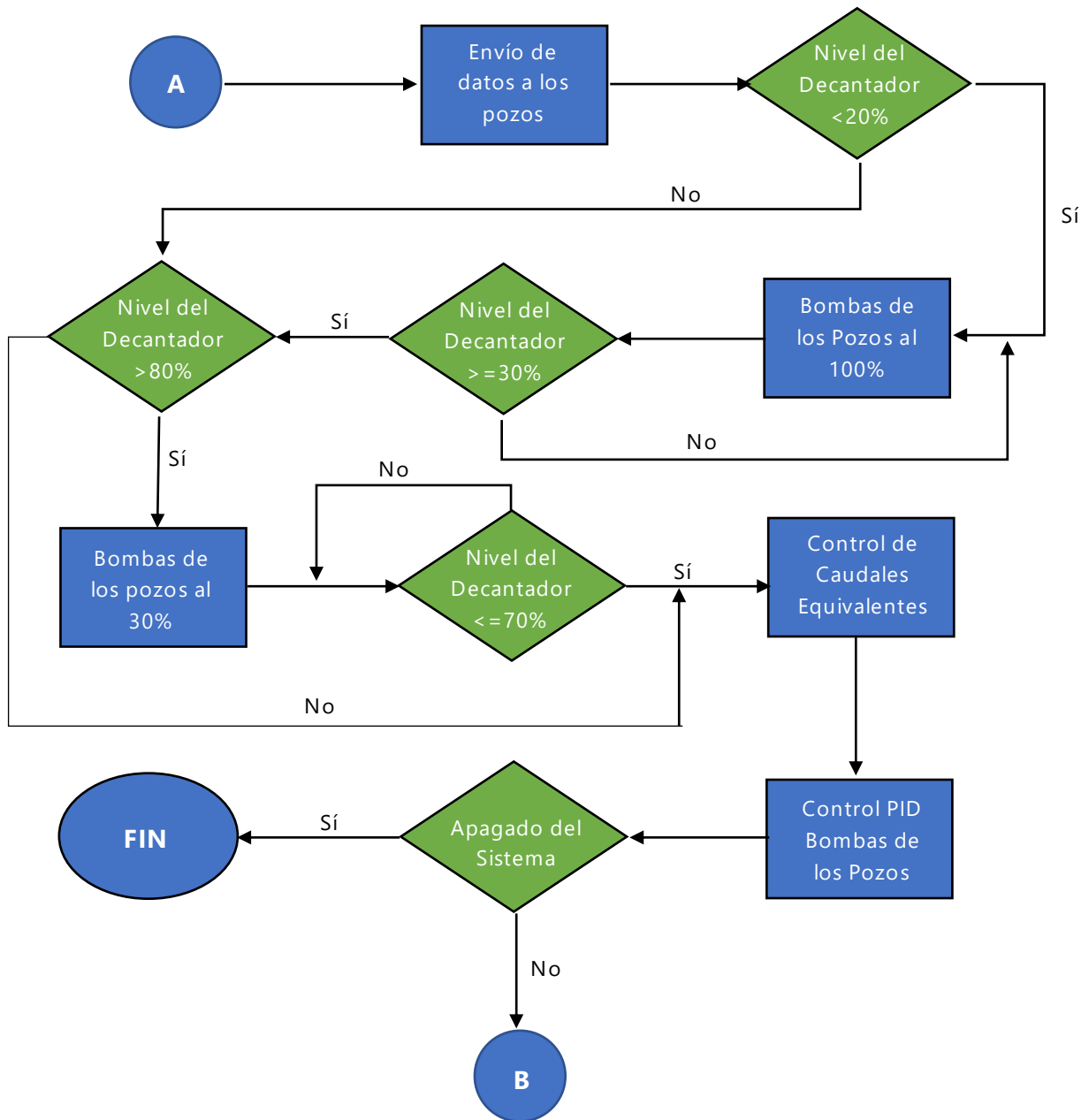
### **Preparación gradual para el Paro de Pozos.**

El objetivo del sistema es poder evitar el paro de pozos y garantizar que estos se mantengan trabajando constantemente. Para evitar sedimentaciones del pozo deberá incluir una opción para preparar las bombas de los pozos para ser apagadas, disminuyendo su frecuencia a una velocidad de 2 Hz/min.

Esto puede realizar también mediante el variador con una función rampa descendente, que podrá ser configurada previamente y accionada a través de un comando con el PLC.

### 5.1.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE CONTROL DE BOMBAS DEL SISTEMA





## 5.2. SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para el diseño de este proyecto, se escogió el uso de un PLC Siemens y se elaboró el modelo de programación en el TIA PORTAL V13. Se seleccionó esta plataforma para mantener el estandar de equipos con los que actualmente cuenta Gildan para el monitoreo de algunos pozos que se automatizaron antes de realizar este proyecto.

La gerencia de proyectos mecánicos requirió que todos los sensores utilizados, como calidad de agua, nivel y caudal fueran de la marca Endress+Hauser, distribuidos por INTEC a nivel nacional.

### 5.2.1 PLC S7-1214C

Este será el controlador que estará en cada pozo y en cada decantador. Este se encargará de tomar las señales de cada sensor, facilitar los datos de cada HMI, comunicarse con los otros PLC y controlar las bombas en cada etapa del proceso.

Se escogió este equipo por su costo no tan elevado y por el hecho que cumple con los requisitos necesarios para poder trabajar con la aplicación en la que será implementado.



Figura 20: CPU S7-1214C (Siemens)

### 5.2.2 HMI KP600 BASIC PANEL

Se utilizará un HMI para cada pozo y decantador, con el objetivo de poder monitorear los valores obtenidos por el PLC de cada sensor, además de poder ejecutar a través de estos modos de control manual para decantadores y pozos.



Figura 21: HMI KP600 Basic Panel (Siemens)

### 5.2.3 SENTRON PAC 3200

Este módulo se encargará de tomar la medición de todos los datos energéticos, como voltaje de fase, corriente, potencias reales y reactivas. Este módulo se conecta directamente y almacenará los datos configurados en una base de datos que será incluida en el SCADA de monitoreo energético del parque. (se incluyó en el diseño con el objetivo de implementarlo en conjunto con el departamento de energía para el monitoreo energético de cada bomba).



Figura 22: Sentron PAC 3200 (Siemens)

#### 5.2.4 ANTENA NANO STATION M2 (UNIDIRECCIONAL)

Estas son las antenas unidireccionales que se encargarán de comunicarse con los decantadores, estas solo pueden comunicarse en un solo sentido.



Figura 23: Antena UBIQUITI Nano Station M2 (Ubiquiti)

#### 5.2.5 ANTENA UBIQUITI ROCKET M2

Esta antena cumple con la función únicamente en los decantadores y el tanque de la FASE II. Esta antena puede recibir y enviar datos en varias direcciones, razón por la cual se utiliza para la etapa de los decantadores.





*Figura 24: Antena UBIQUITI Rocket M2 (Ubiquiti)*

### **5.3. PRESUPUESTO Y HOJAS DE ALCANCE**

Se elaboró un presupuesto para tener un estimado de los en los que se incurrirá para ejecutar el proyecto, sin embargo, cabe destacar que este no es un presupuesto oficial, el cual más adelante una vez licitado el proyecto se podrá entregar a finanzas un informe oficial del precio completo del proyecto, brindado por los contratistas ganadores de la licitación.

Se elaborará paralelo al presupuesto, hojas de alcance técnico, donde se detalla específicamente los requerimientos para las empresas contratistas que participaran en la licitación y que les permita realizar una oferta en base a estos requisitos.

Tabla 9: Presupuesto Total de Proyecto

FASE	COSTO
FASE I	\$ 85,952.50
FASE II	\$ 38,104.00
FASE III	\$ 49,065.00
FASE IV	\$ 59,934.50
<b>Total</b>	<b>\$ 233,056.00</b>

Tabla 10: Tabla de Presupuesto para Fase I

ITEM	UNIDAD	CANT	Descripción	Marca	Precio Unit	Total
1	UND	8	Gabinete Eléctrico de PVC	Square D	\$ 100.00	\$ 800.00
2	UND	8	Fuente de Poder 24 Vdc, 5A	Phoenix Contact	\$ 243.00	\$ 1,944.00
3	UND	8	PLC Siemens S7-1214 AC/DC/RLY	SIEMENS	\$ 462.00	\$ 3,696.00
4	UND	7	Multimedidor SENTRON PAC 3200	SIEMENS	\$ 500.00	\$ 3,500.00
5	UND	7	HMI Basic KTP 600 6"	SIEMENS	\$ 800.00	\$ 5,600.00
6	UND	1	Promag W 400, 5W4C1H, DN100 12	Endress+Hauser	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
7	UND	1	Promag W 400, 5W4C1H, DN100 2	Endress+Hauser	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
8	UND	5	Promag W 400, 5W4C1H, DN100 4	Endress+Hauser	\$ 3,500.00	\$ 17,500.00
9	UND	6	Prosonic S FDU91	Endress+Hauser	\$ 1,250.00	\$ 7,500.00
10	UND	6	Cerabar M PMP51	Endress+Hauser	\$ 1,500.00	\$ 9,000.00
11	UND	6	Condumax CLS15D	Endress+Hauser	\$ 1,000.00	\$ 6,000.00
12	UND	6	Orbipac CPF81D Memosens	Endress+Hauser	\$ 1,100.00	\$ 6,600.00
13	UND	1	Turbimax CUS71D	Endress+Hauser	\$ 1,600.00	\$ 1,600.00
14	UND	8	Switch Scalance XB-005 de 5 puertos	SIEMENS	\$ 140.00	\$ 1,120.00
15	UND	1	Antena Rocket M5(omnidireccional)	UBIQUITI	\$ 90.00	\$ 90.00
16	UND	7	Antena Nano Station M2 (unidireccional)	UBIQUITI	\$ 49.50	\$ 346.50
17	ML	10	Suministro e instalacion de alimentaci3n electrica para Panel de PLC con conductor 3x#12THHN y canalizado en tuberia EMT/RMC 3/4". Incluye: soporteria con riel strut de 1"x5/8", abrazaderas, accesorios de compresion, Cajas de registro.	**Depende del Contratista**	\$ 15.00	\$ 150.00
18	ML	24	Cable UTP Categoría 5e con conectores RJ45	**Depende del Contratista**	\$ 1.50	\$ 36.00
19	GLB	8	Accesorios generales de panel como ser: cable, canaletas, terminales para cable,	**Depende del Contratista**	\$ 500.00	\$ 4,000.00
20	ML	89	Suministro e instalaci3n de canalizaci3n en tuberia EMT/RMC 1-1/2" y cableado de se1al (cable Shield 2x18) y alimentaci3n para 2 sensores de nivel, 7 Sensores de Flujo, 6 Sensores de Presi3n, 6 Sensores de	**Depende del Contratista**	\$ 30.00	\$ 2,670.00
21	GLB	8	Instalaci3n, montaje y conexi3n de sensores, m3dulos, CPU y antenas y gabinetes de control, etc.	**Depende del Contratista**	\$ 100.00	\$ 800.00
22	GLB	1	Desarrollo de Ingenieria PLC/HMI y Puesta en Marcha	**Depende del Contratista**	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 85,952.50</b>

Tabla 11: Alcance Técnico de Fase I

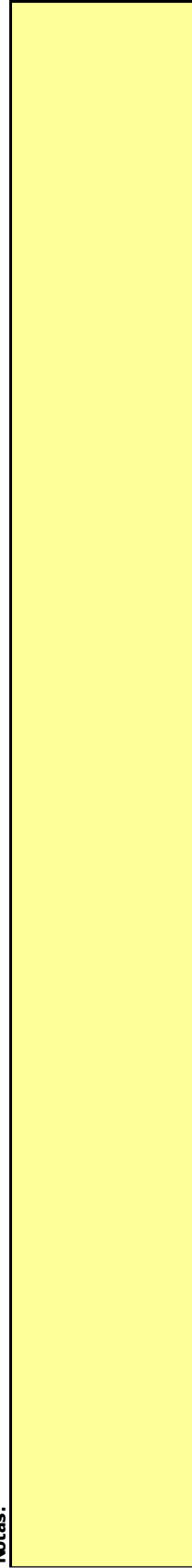
<b>Atención:</b>	0
<b># de Cotización:</b>	0
<b>Proyecto:</b>	<b>SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA DECANTADORES Y SISTEMAS DE BOMBEO - FASE I</b>
<b>Propietario:</b>	Gildan Choloma Textiles, S. de R. L.
<b>Dirección:</b>	Río Nance, Choloma, Cortés.
<b>Fecha: (d-m-a)</b>	23/3/2018
<b>Tiempo de ejecución:</b>	0
<b>Términos de pago:</b>	0

Presupuesto de Obra						
No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total	Materiales
<b>1.00</b>	<b>Instalación de control para Pozos.</b>					
1.01	Suministro de Gabinete de Control IP 67 en los pozos y en el decantador que incluye: montaje en la pared, accesorios, etc.	GLB	6.00	\$0.00	\$0.00	
1.02	Suministro e instalación de antenas unidireccionales de radiofrecuencia. Incluye: Configuración de las antenas, soporte, montaje, conexión de las antenas, etc.	GLB	6.00	\$0.00	\$0.00	
1.03	Suministro e instalación de canalización de cableado de señal y alimentación de 6 Sensores de Flujo, 6 Sensores de Presión, 6 Sensores de Conductividad, 6 Sensores de PH/ORP.	ML	51.00	\$0.00	\$0.00	
1.04	Suministro e instalación de equipo de control y accesorios. Incluye: Fuente de alimentación 24 VDC, PLC, Multimetro de consumos y parámetros energéticos ,switch, HMI, antena unidireccional, módulos de entradas y salidas analógicas, borneras, breakers, riel DIN, fajas plásticas, etc.	GLB	6.00	\$0.00	\$0.00	
1.05	Programación del PLC, HMI, módulos e integración al SCADA y red industrial.	GLB	6.00	\$0.00	\$0.00	
1.06	Puesta en marcha del sistema, entrega de planos As Build, manuales de usuario, manuales de mantenimiento y cambio de equipo, etc.	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	
<b>Subtotal</b>					<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>

<b>2.00 Instalación de Control para el Decantador</b>						
2.01	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Gabinete de Control IP 67 para el decantador que incluye: montaje en la pared, etc.					
2.02	ML	5.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Suministro e instalación de salida eléctrica para Gabinete de control desde Panel Eléctrico. Incluye: soportería con riel strut de 1"x5/8", abrazaderas, accesorios de compresión, Cajas de registro, Breaker QO de 1P/20A 125 vac, Conexión, Cinta aislante S33, fajillas plásticas, etc.					
2.03	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Suministro e instalación de Antena Omnidireccional de Radiofrecuencia Incluye: Configuración, soporte, montaje, etc.					
2.04	ML	15.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Suministro e instalación de Canalización para 1 Sensor de Nivel, 1 Sensor de Flujo y 1 Sensor de Turbidez en tubería RMC 1-1/2" hasta el gabinete de control de bombas. Incluye: soportería con riel strut de 1"x5/8", abrazaderas, accesorios de compresión, Conectores bx c/f 3/4", Cajas de registro PVC 4"x4"x2", etc.					
2.05	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Suministro e instalación de equipo de control y accesorios. Incluye: Fuente de alimentación 24 VDC, PLC, Multimedidor de consumos y parámetros energéticos, HMI, Sensores, módulos de entradas y salidas analógicas, borneras, breakers, riel DIN, fajillas plásticas, etc.					
2.06	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Programación del PLC, HMI, módulos, configuración de antenas, integración al SCADA.					
2.07	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
	Puesta en marcha del sistema, entrega de planos As Build, manuales de usuario, manuales de mantenimiento y cambio de equipo, etc.					
<b>Subtotal</b>			<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>

<b>3.00 Instalación de Control para el Tanque</b>						
3.01	Gabinete de Control JP 67 para el tanque en el cuarto de bombas que incluye: montaje en la pared, etc.	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3.02	Suministro e instalación de salida eléctrica para Gabinete de control desde Panel Eléctrico. Incluye: soportería con riel strut de 1"x5/8", abrazaderas, accesorios de compresión, Cajas de registro, Breaker QO de 1P/20A 125 vac, Conexión, Cinta aislante S33, fajillas plásticas, etc.	ML	15.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3.03	Suministro e instalación de Antenas Unidireccionales de Radiofrecuencia. Incluye: Configuración, soporte, montaje, etc. Suministro e instalación de Canalización para 1 Sensor de Nivel en tubería RMC 1-1/2" hasta el gabinete de control de bombas. Incluye: soportería con riel strut de 1"x5/8", abrazaderas, accesorios de compresión, Conectores bx c/f 3/4", Cajas de registro PVC 4"x4"x2", etc.	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3.04	Suministro e instalación de equipo de control y accesorios. Incluye: Fuente de alimentación 24 VDC, PLC, HMI, módulos de entradas y salidas analógicas, borneras, breakers, riel DIN, fajillas plásticas, etc.	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3.05	Programación del PLC, HMI, módulos, configuración de antenas, integración al SCADA.	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
3.06	Puesta en marcha del sistema, entrega de planos As Build, manuales de usuario, manuales de mantenimiento y cambio de equipo, etc.	GLB	1.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
	<b>Subtotal</b>				<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>
	<b>TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>
	<b>ISV</b>					<b>\$0.00</b>
	<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$0.00</b>	<b>\$0.00</b>

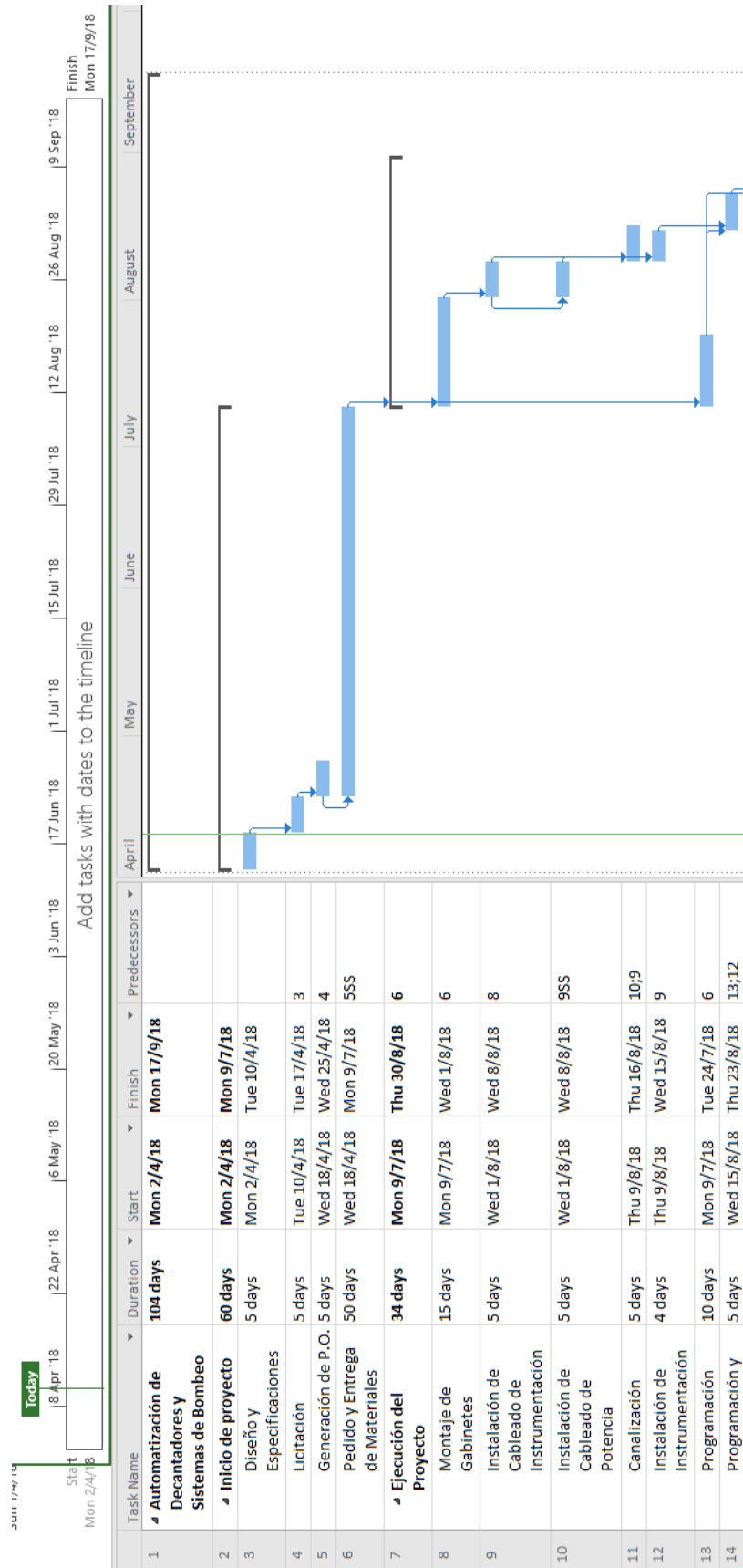
**Notas:**

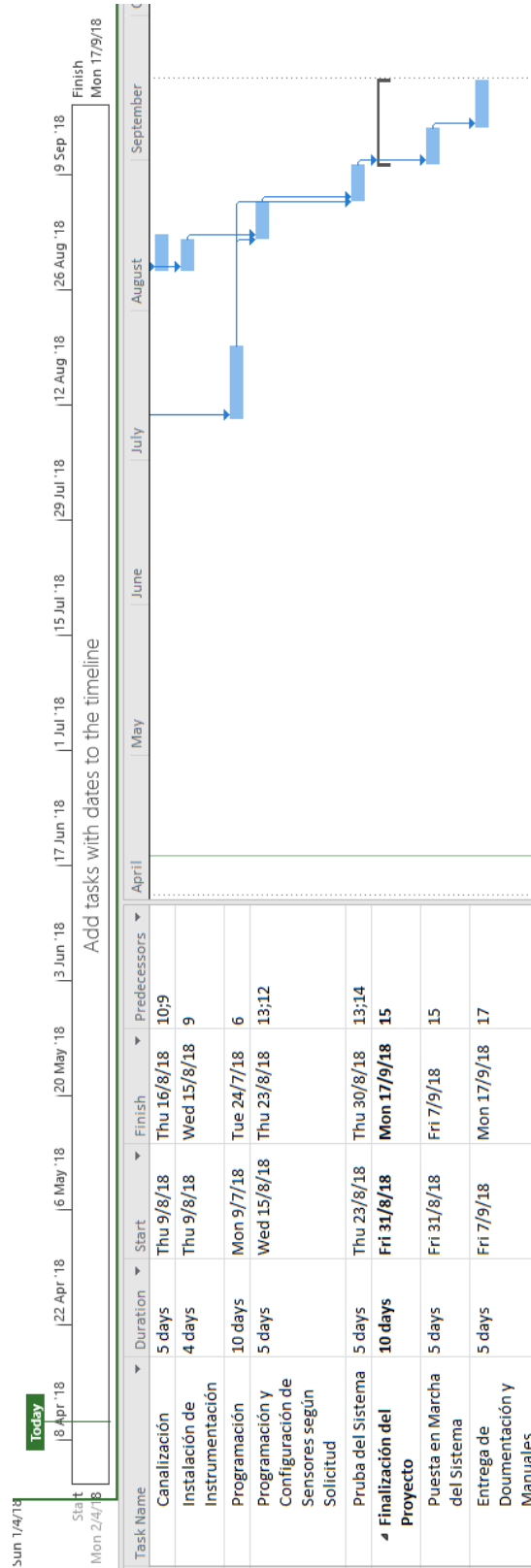


Contratista

## 5.4. PLAN DE EJECUCION

Tabla 12: Diagrama de Gantt para Proyecto





## **VI. CONCLUSIONES**

“La investigación científica implicará en general, no solo un trabajo intelectual y de reflexión destinado a elaborar una conjetura posible, si no también un trabajo empírico, un trabajo de recolección de datos, destinado a obtener información que apoye o refute a nuestras suposiciones, lo cual necesitará del desarrollo de capacidades para sacar conclusiones coherentes y apropiadas, a partir de la información obtenida.” (Gómez, 2005)

1. Se determinó la causa por la cual se producía la sedimentación de pozos, se presento el problema y propuso un sistema de frenado para bombas sumergibles que mitigue la sedimentación.
2. Se elaboró el diseño completo de automatización para el proyecto, donde se presentaron todos los entregables estipulados a la Gerencia de Proyecto Mecánicos de Gildan.
3. Se establecieron los requerimientos y necesidades para ejecutar el proyecto en conjunto con el departamento de Energía y se desarrolló una programación base para los contratistas que participaran en la licitación.



## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1. PARA LA EMPRESA**

- Realizar estudios y análisis más profundos para la construcción de próximos pozos. Tomando en cuenta las condiciones del subsuelo y realizando ensayos de bombeo previos instalación del mismo.
- Fortalecer con un personal mas amplio el área de automatización del departamento de Proyectos, ya aunque muchos procesos ya están automatizados es necesario mejorar continuamente estos sistemas y trabajar en las áreas del parque que aún no están automatizadas.

### **7.2. PARA LA UNIVERSIDAD**

- Mejorar las clases de Dibujo Técnico, dividiendola en dos partes, ya que no se profundiza lo suficientemente en el programa de AutoCAD y a pesar que Solidworks es un programa bastante completo, no tiene la misma popularidad en la industria del país como AutoCAD.
- Ampliar el contenido para la parte mecánica de la carrera. Esta recomendación es dada por el ing. Denis Rivera, jefe de Mantenimiento del parque, para que los estudiantes puedan tener una idea más clara de diferentes sistemas mecánicos en los que se involucra la el control automático normalmente en la industria, tanto en la parte técnica como teórica.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Sanchis R., Romero J., & Ariño C. (2010). *Automatización Industrial*. Primera Edición. Editorial: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.

CNA, Comisión Nacional del Agua de Mexico (Diciembre, 2008). *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Zamora B. & Viedma A. (2016). *Máquinas Hidráulicas: Teoría y Problemas*. Primera Edición. Editorial: Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación de la Universidad Politécnica de Cartagena.

White F.M. (2008). *Mecánica de Fluidos*. Sexta Edición. Editorial: McGraw Hill.

De las Heras S. (Diciembre, 2011) *Fluidos, Bombas e Instalaciones Hidráulicas*. Primera Edición. Editorial: Iniciativa Dígital Politécnica de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Chapman S. (2012) *Máquinas Eléctricas*. Quinta Edición. Editorial: McGrawHill

Collazo M.P. & Montañó J. (Agosto, 2012) *Manual de Aguas Subterráneas*, Primera Edición. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay. Impreso en Denad Internacional S.A.

Mateos R.M. & González C. (2009). *Caminos del Agua de las Islas Baleares, Acuíferos y Manantiales*. Instituto Geológico y Minero de España y Consellería de Medi Ambiente del Govern de les Illes Balears.

Martínez F. (Marzo, 2001). *Reparación y Bobinado de Motores Eléctricos*. Editorial: Paraninfo S.A.

Alvárez M. (2000). *Convertidores de Motores, Controladores de Frecuencia y SSR*. Editorial: Marcombo S.A.

Ventura I. (Enero, 2008). *Sistemas de Control de Motores Eléctricos Industriales*. Veracruz.

Gido J. & Clements J. (2012). *Administración Exitosa de Proyectos*. Quinta Edición. Editorial: Cenage Learning Editores S.A. de C.V.

CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2005). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores*. UNATSABAR. Lima, Perú.

Mott R. (2006) *Mecánica de Fluidos*. Sexta Edición. Editorial: Pearson Educación de México S.A de C.V.

Shames I. (2002) *Mecánica de Fluidos*. Cuarta Edición. Editorial: McGrawHill.

Daneri P. (2006) *PLC Automatización y Control Industrial*. Primer Edición. Editorial: Hispano Americana S.A., Buenos Aires, Argentina.

Ogata K. (2010) *Ingeniería de Control Moderna*. Quinta Edición. Editorial: Pearson Educación S.A., Madrid.

Creus A. (2010) *Instrumentación Industrial*. Octava Edición. Editorial: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., México.

Gómez M. (2005) *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. Primera Edición. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.

## IX. ANEXOS



**Anexo 1: Sistema de control cableado para pozos**





**Anexo 2: Tren de descarga viejo en hierro negro**



**Anexo 3: Tren de descarga nuevo en acero inoxidable**





**Anexo 4: Carrete para sensores en tren de descarga viejo**



**Anexo 5: Carrete para sensores nuevo en tren de descarga de acero inoxidable**



Anexo 6: Panel de Control para pozos nuevos de Sulatex





**Anexo 7: Decantador de Fase II**



**Anexo 7: Vista Superior de decantador de Fase I**





**Anexo 9: Tanque de Agua de Fase II y III**