



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS - ESPE  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**AUTORES:**

**CASTILLO ARMIJOS, JHON STALIN  
CHUMA ALVAREZ, MARCO VINICIO**

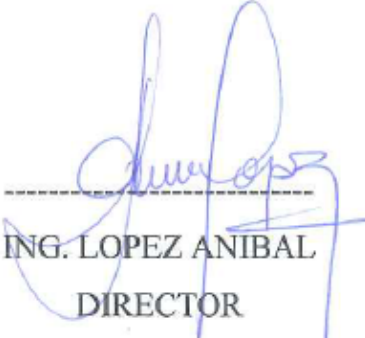
**TEMA: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMÁTICA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXPERIMENTAL EN SUS  
FASES COMPONENTES.**

**DIRECTOR: ING. LOPEZ, ANIBAL  
CODIRECTOR: ING. ESCOBAR, LUIS**

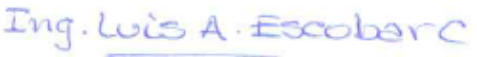
**MAYO 2015  
SANGOLQUÍ – ECUADOR**

## CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de grado denominado "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMÁTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXPERIMENTAL EN SUS FASES COMPONENTES." fue realizado en su totalidad por los señores Castillo Armijos Jhon Stalin y Chuma Álvarez Marco Vinicio, como requerimiento parcial para la obtención del título de ingeniería en mecatrónica.



ING. LOPEZ ANIBAL  
DIRECTOR



ING. ESCOBAR LUIS  
CODIRECTOR


Sangolquí, 21 de Mayo del 2015

## LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO


El proyecto de grado denominado "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMÁTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXPERIMENTAL EN SUS FASES COMPONENTES.", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas que constan al pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía .

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

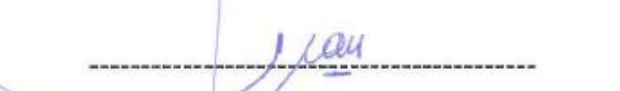


Jhon Stalin Castillo Armijos



Marco Vinicio Chuma Álvarez

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



Director de la carrera de ingeniería mecatrónica.

Ing. Francisco Terneus

Sangolquí, 21 de Mayo del 2015

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**AUTORIZACIÓN**

Nosotros:

Jhon Stalin Castillo Armijos y Marco Vinicio Chuma Álvarez

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución de trabajo “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMÁTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXPERIMENTAL EN SUS FASES COMPONENTES.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



-----  
Jhon Stalin Castillo Armijos



-----  
Marco Vinicio Chuma Álvarez

Sangolquí, 21 de Mayo del 2015.

## **DEDICATORIA**

MIS PADRES.  
MIS HERMANOS.

Jhon Stalin Castillo Armijos

## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES Y HERMANOS.

A LOS PUEBLOS Y NACIONALIDADES INDIGENAS DEL ECUADOR.

Marco Vinicio Chuma Álvarez

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien me llena de bendiciones día a día permitiéndome servir mejor.

A mi padre y a mi madre, Gregorio y Eufemia por todo su apoyo, comprensión y confianza en cada paso que doy para lograr mis metas y mi formación como persona.

A mis hermanos, Antonio, Nancy, Gloria, Omar, Edison, Vanessa, Favio y Estefanía por su apoyo incondicional en todo momento y por ser una fuente de motivación, especialmente a mi hermano Juan por su desinteresada colaboración durante la ejecución de este trabajo de tesis.

A mi cuñada María, por ser un ejemplo de trabajo y por su apoyo durante este tiempo de preparación profesional.

A mis sobrinos con quien he compartido buenos y malos momentos de mi vida estudiantil.

A Nataly quien me ha dado su cariño y comprensión durante la elaboración de este trabajo.

A la universidad de las fuerzas Armadas – ESPE, Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a todos los docentes, quienes colaboraron en mi formación como profesional.

A todos mis amigos y compañeros con los que compartí momentos agradables durante todo el periodo de estudios de mi carrera.

Jhon Stalin Castillo Armijos

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, Rafael Mariano y Luz María con amor, confianza y sabiduría que han inculcar a su hijo, a esforzarse e intentar ser cada día una mejor persona de forma humilde, sin olvidar nuestras raíces culturales.

A mis tíos José y Rosa, gracias por su apoyo incondicional desde el primer día de clases hasta la presente, siempre nos han visto como a uno de sus hijos.

A mi abuela María Catalina, nuestra segunda mamá, nos enseña, nos cuida, no alimenta, nos platica sobre cómo eran nuestros padres de jóvenes, te motiva a salir adelante a echarle ganas, nos comparte su experiencia.

A mi hermanas/os Juana, Martha, Rosalía, Jessica, Ana y Alex, que siempre han sido una motivación a hacer frente todo las dificultades de la vida estudiantil.

A la Unidad Bienestar Estudiantil de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE por permitirme formar parte de los estudiantes becados de la institución y así completar mi formación académica.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas y a los docentes de la carrera de Ingeniería de Mecatrónica, por compartir sus conocimientos y formar nuevos profesionales para el nuevo Ecuador.

A mis amigos, con quienes se ha convivido en cada una de las actividades dentro y fuera de clases, llevo buenos recuerdos amenos y agradables.

Marco Vinicio Chuma Álvarez



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	i
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
GLOSARIO .....	xx
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación e importancia.....	2
1.3 Objetivos .....	2

1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos especificos .....	2
1.4 Alcance del proyecto.....	3
1.5 Descripción general del proyecto.....	3
<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>8</b>
<b>PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 Introducción a plantas de tratamiento de aguas residuales. ....	9
2.1.1 Procesos unitarios.....	10
2.2 Estudio reológico de aguas residuales. ....	15
2.3 Importancia de la automatización de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	15
2.3.1 Sistema mecánico.....	16
2.3.1 Sistemas hidráulicos.....	18
2.3.2 Sistemas electricos .....	23
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>29</b>
<b>DISEÑO DE LA PLANTA AUTOMÁTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>29</b>
3.1 Metodos de tratamiento.....	29
3.1.1 Cantidad de sedimentadores.....	29

3.1.2 Coagulación.....	32
3.1.3 Desinfección.....	33
3.2 Diseño de componentes mecanicos.....	41
3.2.1 Bases de diseño del caudal.....	41
3.2.2 Cálculo de contaminación en agua bruta.....	43
3.2.3 Dimensionamiento del tanque de recepción.....	46
3.2.4 Dimensionamiento de las rejillas.....	54
3.2.5 Dimensionamiento de sedimentadores.....	55
3.2.6 Dimensionamiento de tuberías.....	57
3.2.7 Dimensionamiento y selección de bombas.....	61
3.2.8 Diseño del agitador para el proceso de coagulación.....	73
3.3 Instrumentación del proyecto.....	80
3.3.1 Sensor capacitivo para medición de nivel.....	80
3.3.2 Sensor analógico de pH.....	85
3.3.3 Sensor óptico espectral de DQO.....	87
3.3.4 Placas de hardware libre arduino.....	89
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>91</b>
<b>AUTOMATIZACIÓN Y SIMULACIÓN.....</b>	<b>91</b>
4.1 Definición de las variables a controlar.....	91
4.1.1 Objetivos del sistema de control.....	91

4.1.2 Variables a controlar. ....	93
4.1.3 Especificaciones de las variables. ....	93
4.14 Selección del sistema de control. ....	94
4.2 Secuencia de trabajo de la máquina. ....	95
4.2.1 Configuración del sistema de control.....	96
4.3 Selección del controlador.....	96
4.3.1 Requerimientos .....	96
4.3.2 Controlador plc micrologix 1100.....	97
4.4 Desarrollo del programa de control.....	100
4.4.1 Desarrollo del programa.....	100
4.5 Comunicación del sistema.....	104
4.6 Desarrollo de la interfaz de control.....	110
4.6.1 Diseño de interfaz. ....	110
4.7 Sistema eléctrico de la planta de tratamiento de aguas residuales. ....	115
4.8 Diagrama esquemático. ....	118
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>119</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>119</b>
5.1 Análisis de costos.....	119
5.1.1 Costos directos .....	119
5.1.2 Costos indirectos. ....	122

5.1.3 Costo total.....	123
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>124</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>124</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	124
6.2 RECOMENDACIONES .....	125
BIBLIOGRAFÍA .....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.....	8
Tabla 2. Tipo de contaminantes en aguas residuales .....	10
Tabla 3. Tipos de tratamiento de aguas residual .....	12
Tabla 4. Eficiencia de la soldadura .....	17
Tabla 5. Sistema de unidades en la viscosidad cinemática .....	19
Tabla 6. Selección del tratamiento primario. ....	29
Tabla 7. Agentes potencialmente infecciosos presentes en aguas residuales domesticas no tratadas.....	36
Tabla 8. Comparación de las características ideales y reales de los desinfectantes comúnmente usados.....	41
Tabla 9. Consumo doméstico de agua por persona.....	42
Tabla 10. Caudales de diseño.....	43
Tabla 11. Contaminación per cápita.....	44
Tabla 12. Valores de concentración y carga de contaminantes de la poblacion equivalente de 12 personas.....	45
Tabla 13. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.....	45
Tabla 14. Dimensiones del tanque de recepción .....	47
Tabla 15. Calificación de propiedades del acero ASTM – A36 .....	47
Tabla 16. Calificación de propiedades del acero inoxidable 304.....	48
Tabla 17. Calificación de propiedades del acero Naval ASTM - A131.....	48
Tabla 18. Normas API-Estándar Acero ASTM-A36 .....	52
Tabla 19. Parámetros de diseño del sedimentador .....	56

Tabla 20. Dimensiones del tanque sedimentador.....	57
Tabla 21. Características técnicas bomba macerador WASTE KING 8000.....	61
Tabla 22. Características técnicas de bomba centrífuga de aspiración en el extremo.....	67
Tabla 23. Datos para la selección del clorinador. ....	72
Tabla 24. Resultado de la capacidad del clorinador.....	72
Tabla 25. Características técnicas bomba dosificadora Blackstone.....	73
Tabla 26. Características técnicas del motor a paso Nema 23 .....	77
Tabla 27. Características del sensor CLS100.....	81
Tabla 28. Características de las entradas análogas del PLC MICROLOGIX 1100...	83
Tabla 29. Características del Sensor analógico de pH .....	85
Tabla 30. Características técnicas del sensor óptico de DQO.....	87
Tabla 31. Características técnicas de la placa ARDUINO UNO R3. ....	90
Tabla 32 Tabla de decisión selección sistema de control .....	94
Tabla 33. Características técnicas del Controlador MICROLOGIX. ....	99
Tabla 34. Variables de entrada al PLC (Micrologix 1100).....	101
Tabla 35. Variables de salida del PLC (Micrologix 1100) .....	102
Tabla 36. Variables auxiliares tipo booleanos y timer (Micrologix 1100) .....	103
Tabla 37. Variables de animación interfaz gráfica.....	112
Tabla 38. Dimensionamiento, especificación de protecciones. ....	115
Tabla 39. Dimensionamiento de cables. ....	118
Tabla 40. Costos directos. ....	119
Tabla 41. Costos indirectos.....	122

Tabla 42. Costo total. .... 123



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del funcionamiento de la planta.....	5
Figura 2. Software labview 2010 .....	6
Figura 3. Esquema de un tren de tratamientos de aguas residuales .....	9
Figura 4. Rejilla de limpieza manual .....	11
Figura 5. Desarenador por decantación.....	11
Figura 6. Agitador – floculador de laboratorio. ....	13
Figura 7. Formación de floculo (Unión mecánicamente las partículas en suspensión).....	14
Figura 8. Tanque acumuladores .....	16
Figura 9. Gradiente de velocidad de un fluido en movimiento.....	18
Figura 10. Bomba de aspas .....	20
Figura 11. Macerador M Ovas de Netzsch.....	21
Figura 12. Válvula de seguridad .....	22
Figura 13. Válvula limitadora de presión.....	22
Figura 14. Válvula solenoides Danfos .....	23
Figura 15. Controlador lógico programable Allan Bradley MICROLOGIX.....	24
Figura 16. Sensores de Nivel de agua Vegapuls W161 .....	25
Figura 17. Sensor / transmisor integrado: pH, ORP, oxígeno disuelto.....	25
Figura 18. Interfaz humano máquina .....	26
Figura 19. Contactores Siemens.....	27
Figura 20. Configuración de tanques sedimentadores. ....	30
Figura 21. Layout de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	31

Figura 22. Etapas de Coagulación.....	32
Figura 23. Esquema del potencial Z.....	33
Figura 24. Tanque de tratamiento de aguas residuales. ....	49
Figura 25. Esquema del soporte estructural del tanque.....	53
Figura 26. Configuración del sistema de rejilla .....	55
Figura 27 Características de las bridas planas ANSI 150lb .....	58
Figura 28. Características técnicas de tuberías PVC.....	61
Figura 29. Bomba macerador WASTE KING 8000 .....	62
Figura 30. Diagrama de Moody. ....	64
Figura 31. Bomba centrífuga MODELO CDU*,CDX.....	67
Figura 32. Datos del catalogo y curvas de H vs Q.....	68
Figura 33. Datos del catalogo y curvas de H vs Q.....	70
Figura 34. Bomba dosificadora Blackstone. ....	73
Figura 35.Gráficas de NPo en función de NRe para varios sistemas de agitador-tanque.....	75
Figura 36. Configuración de la paleta plana de la turbina impulsadora.....	78
Figura 37. Modelo de arrastre para distintas formas, relación $CD$ y $NRe$ .....	79
Figura 38. Acción del momento flector sobre los agitadores.....	80
Figura 39. Sensor capacitivo Pointeck CLS100.....	81
Figura 40. Montaje de forma vertical.....	82
Figura 42. Polaridad en forma lazo de corriente .....	83
Figura 43: Acondicionamiento de señal del sensor de nivel.....	84
Figura 44: Característica técnica del sensor de nivel .....	84

Figura 45. Sensor analógico de pH .....	85
Figura 46: Característica estática del sensor de PH .....	86
Figura 47: Sensor óptico de DQO Ciptec. ....	88
Figura 48. Características estática del sensor DQO .....	89
Figura 49. Arduino uno r3.....	90
Figura 50. Diagrama del sistema de control. ....	92
Figura 51. Diagrama del sistema de control de lazo abierto. ....	92
Figura 52: Diagrama del sistema de control de lazo cerrado. ....	93
Figura 53. Secuencia de trabajo de la planta de tratamiento de aguas grises y negras .....	95
Figura 54: Diagrama de bloques de la configuración del sistema. ....	96
Figura 55. Controlador Micrologix 1100 .....	100
Figura 56. Software RS Logix 500 para controlador Micrologix 500 .....	101
Figura 57: Selección procesador del PLC .....	101
Figura 58. Configuración driver del PLC .....	104
Figura 59. Pantalla de conexiones RSLinx Classic.....	105
Figura 60. Comunicación servir-cliente OPC .....	106
Figura 61: Creación del tópico para comunicar RS logix 500 y labview .....	106
Figura 62. Configuración de los botones .....	107
Figura 63. Configuración en el Boolean Properties: ACTIVA.....	108
Figura 64. Selección del RS Linx OPC Server .....	108
Figura 65. Variables Data File .....	109
Figura 66. Visualización del Path .....	110

Figura 67. Pantalla inicial LABVIEW 2010 .....	110
Figura 68. Ventana principal de la interfaz gráfica .....	111
Figura 69. Herramientas del panel frontal de labview .....	113
Figura 70. Herramientas para la programación en Labview .....	114
Figura 71. Guardamotor Allen Bradley 140M-F8E-C45.....	116
Figura 72 Protectores suplementarios 1492-SPM.....	116
Figura 73. Contactor Allen Bradley 100- C09ZJ10 .....	117
Figura 74. Tablero de control eléctrico .....	118

## GLOSARIO

**HMI:** Interfaz hombre máquina.

**PLC:** Controlador lógico programable.

**pH:** Potencial de Hidrogeno.

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.

**OPC:** Ole for Process Control

**SS:** Solidos Suspendidos.

**Solubilidad:** Es la cualidad de soluble (que se puede disolver). Se trata de una medida de la capacidad de una cierta sustancia para disolverse en otra.

**Reología:** Es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

**Coloide:** Cuerpo que se disgrega en un líquido en partículas tan pequeñas que parece que se ha disuelto.

**Adsorción:** Proceso de atracción de las moléculas o iones de una sustancia en la superficie de otra, siendo el tipo más frecuente el de la adhesión de líquidos y gases en la superficie de los sólidos.

**Quistes de protozoarios:** Cuerpo formado por una membrana resistente e impermeable y el pequeño animal o vegetal al que envuelve.

**Mutagénicos:** En biología, un mutágeno es un agente físico, químico o biológico que altera o cambia la información genética (usualmente ADN) de un organismo y ello incrementa la frecuencia de mutaciones por encima del nivel natural.

**Hidrólisis:** Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

**Polimerización:** Proceso químico por el cual mediante el calor, la luz o un catalizador se unen varias moléculas de un compuesto para formar una cadena de múltiples eslabones de estas y obtener una macromolécula.

**Carcinogénicos:** Un carcinógeno o cancerígeno es un agente físico, químico o biológico potencialmente capaz de producir cáncer al exponerse a tejidos vivos. Basándose en lo anterior, un carcinógeno es un agente físico o químico que puede producir una neoplasia.

**Caracterización:** Determinación de los atributos peculiares de una persona o cosa, de modo que se distinga claramente de las demás.

**Oocitos:** Un oocito u ovocito, es un gametocito hembra o célula germinal que participa en la reproducción.

**Absorbancia:** Es la intensidad de la luz con una longitud de onda específica y que es pasada por una muestra es la intensidad de la luz antes de que entre a la muestra

## **RESUMEN**

El siguiente proyecto consta del diseño y simulación de una planta automática de tratamiento de aguas residuales experimental en sus fases componentes, debido a la necesidad de la empresa SANTA BARBARA EP de crear una planta para el tratamiento de aguas residuales (negras y grises) que producen 12 personas, en buques pequeños denominados remolcadores. La importancia de este trabajo radica en la necesidad de cuidar el agua, cumpliendo con los límites máximos de descarga de aguas establecido por la legislación vigente de la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua, de acuerdo con el libro VI, anexo 1 del literal 4.3 página 9 elaborado por el MAE1 en Junio del 2005, y de contribuir con la matriz productiva del país. Para el diseño, se inicia con la cantidad de personas que generan aguas negras y grises, todo esto con el fin de establecer las dimensiones y componentes de la máquina. Se definen los métodos de tratamiento de aguas residuales existentes, luego diseñamos los componentes mecánicos de la planta y se obtiene los planos y simulaciones mediante el software SOLIDWORK. Una vez concluido con el diseño mecánico de la planta, se desarrollara la simulación y una propuesta de automatización de la máquina para que cumpla con las especificaciones establecidas previamente en el diseño.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **TRATAMIENTO DE AGUAS**
- **PTAR**
- **LABVIEW**
- **SOLIDWORK**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **COAGULACIÓN**

## **ABSTRACT**

The following project consists of the design and simulation of an experimental automatic machine on its components phases for processing wastewater, due to the need SANTA BARBARA EP company of creating a machine for the treatment of wastewater (black and gray), produced by 12 people in small boats called tugs. The importance of this work lies in the need of conserving water, accomplishing with the maximum water discharge limits, established by the current legislation of environmental quality requirements and effluents discharge: Appeal water, according to the book VI, annex 1 of section 4.3 page 9 prepared by the MAE1 in June 2005, and to contribute to the productive matrix of the country. The design is based on the quantity of people who produce black and gray water, in order to establish the size and the components of the machine. Existing methods of wastewater treatment are defined, then mechanical components of the machine were designed; and plans and simulations are obtained by Solidwork software. Once completed the mechanical design of the machine, a simulation and an automation proposal of it will be designed, for accomplishing established specifications previously defined in the design.

### **KEYWORDS:**

- **WATER TREATMENT**
- **WWTP**
- **LABVIEW**
- **SOLIDWORK**
- **AUTOMATION**
- **COAGULATION**



## **CAPÍTULO 1**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

La Empresa de Municiones “SANTA BÁRBARA EP”, es una empresa, cuya misión principal es la producción de armas y municiones, como también dar soluciones prontas y eficaces en el sector de la metalmecánica, contribuyendo de esta manera en el fortalecimiento de Fuerzas Armadas, Policía Nacional e Industria Nacional.

En virtud al crecimiento industrial en el Ecuador la demanda de agua se ha incrementado en los procesos de elaboración de productos terminados, de ahí la necesidad del tratamiento de las mismas para disminuir el impacto ambiental y sus consecuencias. (Mott L., 2006)

Los efluentes vertidos por los buques en nuestros mares están obligados a cumplir con la legislación vigente de la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua, de acuerdo con el libro VI, anexo 1 del literal 4.3 página 9 elaborado por el MAE1 en Junio del 2005, por lo que se ven con la necesidad de adquirir plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas pero con un gran efectividad en sus tratamientos, ya que en el país no se cuentan con la elaboración de estos productos las empresas se ven en la necesidad de adquirirlos de otros países, elevando el coste de las mismas.

El tratamiento de aguas residuales tiene una gran importancia, debido a que el agua es el líquido vital para la humanidad, es por eso que la empresa SANTA BARBARA EP en virtud al cambio de la matriz productiva del país busca la elaboración de este tipo de maquinarias dentro del territorio ecuatoriano de manera que las empresas puedan adquirir plantas de tratamiento de aguas residuales para buques, edificios, centros comerciales y pequeños municipios.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Debido a la necesidad de contribuir con el medio ambiente en el Ecuador se ha implementado la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua, de acuerdo con el libro VI, anexo 1 del literal 4.3 página 9 elaborado por el MAE1 en Junio del 2005, para verter aguas residuales en ríos, lagos y mares y evitar la contaminación de los mismos por lo que las embarcaciones están obligadas a tratar las aguas negras y grises para cumplir con los parámetros que dicta la ley, para esto en las embarcaciones deben contar con pequeñas plantas de tratamiento de aguas negras y grises.

El presente proyecto de grado pretende cubrir las necesidades de tratamiento de aguas residuales en buques pequeños para 12 personas, conocidos como remolcadores, mediante el diseño y simulación de una planta automática de tratamiento de aguas residuales experimental en sus fases componentes, la cual nos permita disminuir el coste de estas máquinas ya que se pretende crear una línea de producción.

El proyecto está dirigido para la empresa SANTA BARBARA EP, la planta tendrá una capacidad de tratamiento de aguas para 12 personas, este proyecto será piloto.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y simular una planta automática de tratamiento de aguas residuales experimental en sus fases componentes.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Seleccionar los mejores procesos que realizará la planta para el tratamiento de aguas residuales provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, hacia los sistemas de alcantarillado, o cuerpos receptores. Se observaran las disposiciones en las normas correspondientes.

- Diseñar planos mecánicos y eléctricos de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Seleccionar y programar el controlador el cual nos dará autonomía sobre la planta.
- Simular y verificar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **1.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

El desarrollo del siguiente proyecto aspira dar solución al problema con el tratamiento de las aguas negras y grises que se utilizan dentro de un buque de 12 personas, para la empresa SANTA BARBARA E.P., mediante el diseño y simulación de un prototipo de máquina de tratamiento para aguas que se adapte a todos los requerimientos que dicta la norma, de manera que la máquina pueda disminuir los tiempos de tratamiento de aguas de una forma automática y eficiente.

Para un adecuado tratamiento de las aguas residuales el proyecto contara con el control sobre algunas variables como son: nivel, pH, DQO, y la dosificación de sustancias químicas en la parte de eliminación de organismos y microorganismos patógenos.

Para determinar la mejor solución al problema de tratamientos de aguas, es necesario conocer los diferentes tratamientos existentes en la actualidad, así como los tipos de máquinas que existen en el mercado.

#### **1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

En el proyecto se simulara una planta de tratamiento de aguas residuales experimental en sus fases componentes, la misma que está compuesta de una parte físico - química, una parte electrónica, otra de control y software.

Se pretende diseñar toda la estructura y elementos mecánicos del tratamiento físico de las aguas residuales incluyendo selección de materiales y dimensionamiento

de equipos junto con un detallado proceso de manufactura de los componentes. Se utilizara también sensores de nivel tipo capacitivo, sensores de pH y sensores de DQO que enviarán la señal hacia el sistema de control, donde estas se procesarán y se ejecutará señales hacia los actuadores, que para este caso serán las bombas y dosificadores de cloro.

En la siguiente imagen se observa un diagrama de flujo del funcionamiento de la planta.

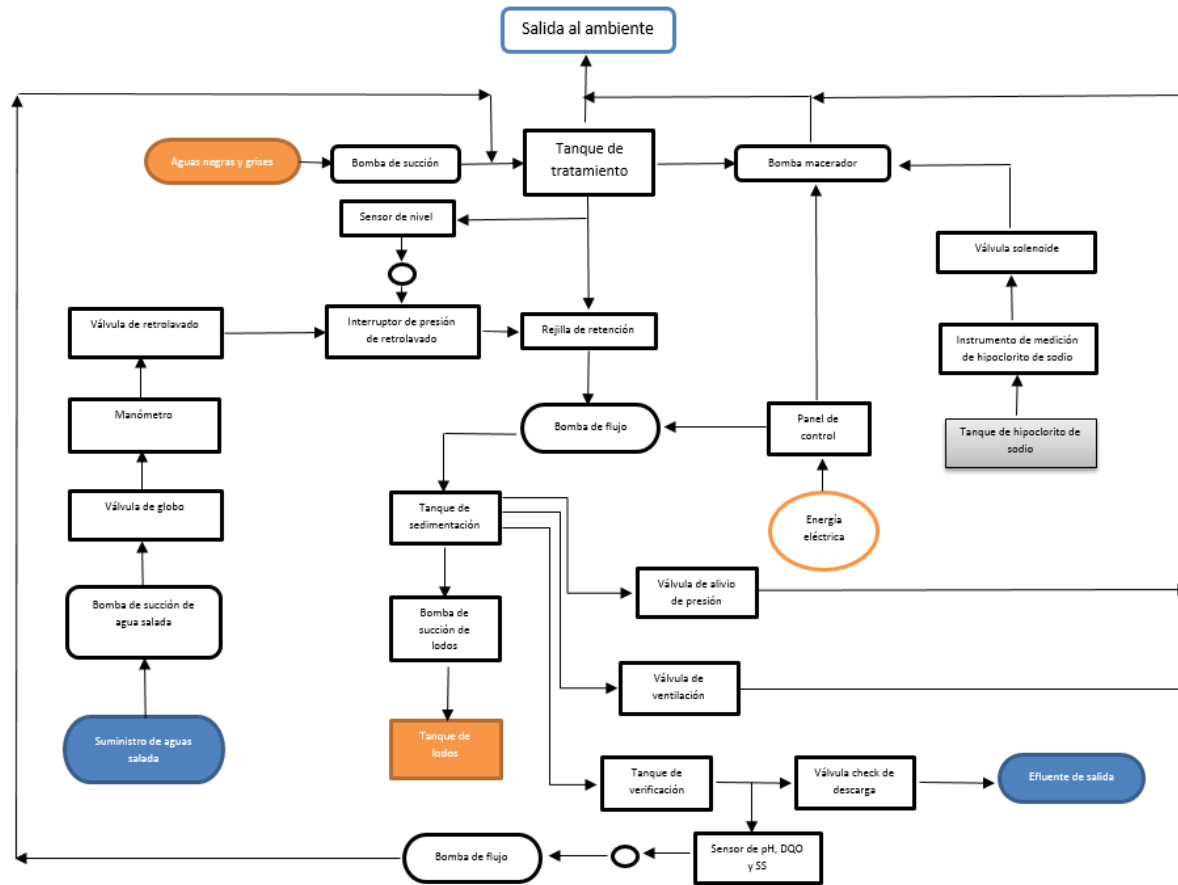


Figura 1. Diagrama de flujo del funcionamiento de la planta

- Sistema mecánico:

El sistema mecánico, es la parte más importante de nuestro proyecto ya que la planta de tratamiento es de tipo físico – químico y consiste en la eliminación de sólidos disueltos mediante sedimentadores en serie para lo cual las partículas deben contar con un tamaño homogéneo desde el tanque de tratamiento el mismo que cuenta con una bomba maceradora para la reducción del tamaño de las partículas.

- Sistema eléctrico /electrónico:

Consta de 5 bombas de corriente alterna para el sistema de movilización de las aguas y una bomba para la dosificación de cloro, permitiendo así que la planta tenga autonomía durante el funcionamiento; la parte electrónica posee controladores para la bomba dosificadora de cloro, un microcontrolador, sensores para medir el nivel en el tanque de tratamiento y sensores de pH y DQO en el segundo sedimentador y un tanque de purificación para verificar la disminución de estas variables durante el proceso y la alimentación será mediante una toma directa de 110V.

Otros dispositivos electrónicos empleados en este proyecto son, una pantalla HMI en la plataforma LABVIEW 2010 de la empresa NATIONAL INSTRUMENTS, que nos permitirá visualizar el proceso de la planta y los parámetros de nivel, pH, y DQO.

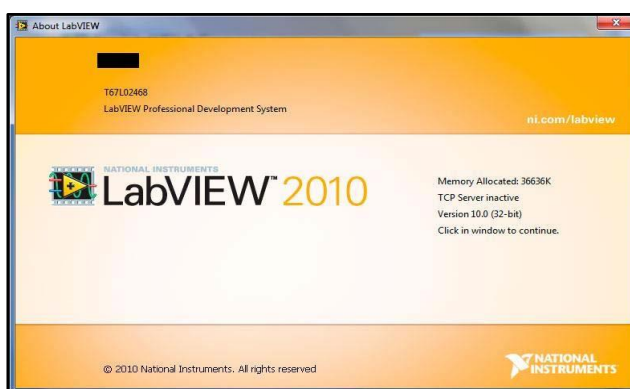


Figura 2. Software labview 2010

- Sistema de control:

La planta será controlada por un PLC ALLAN BRADLEY MICROLOGIX – 1100, el mismo que recibirá señales de los sensores y las procesará para luego ejecutar acciones correspondientes en los actuadores de la planta respecto a las bombas y los

dosificadores de cloro para el cumplimiento de los parámetros que dicta la legislación vigente de la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua, de acuerdo con el libro VI, anexo 1 del literal 4.3 página 9 elaborado por el MAE1 en Junio del 2005.

**CAPITULO 2**  
**PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**  
**MARCO TEÓRICO**

Las plantas automáticas para tratamiento de aguas residuales en barco o buques, es un aporte de gran magnitud al medio ambiente debido a que la descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua marina debe cumplir con los límites permisibles y disposiciones establecidos por el ministerio del ambiente, de acuerdo con el libro VI, anexo 1 de la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, factores como el DBO<sub>5</sub>, pH y DQO que serán controlados a través del funcionamiento en conjunto del sistema electrónico, eléctrico y mecánico que constituye la planta.

Tabla 1.

Límites de descarga a un cuerpo de agua marina

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Temperatura	°C		< 35
Potencial Hidrógeno	pH	-	6 - 9
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles en hexano	mg/l	30
Coliformes Fecales	nmp / 100 ml		<sup>1</sup> Remoción > al 99,9 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (cinco días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	250
Sólidos Suspendedos Totales	-	mg/l	100
Tensoactivos	Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/l	0,5

El tratamiento mínimo obligatorio a aplicarse antes de la cámara de carga del emisario submarino o subfluvial será del tipo preliminar con los siguientes componentes: (a) cribas finas para remoción de flotantes; (b) remoción de arenas; y, (c) facilidades para medición de la descarga y muestreo.



## 2.1 INTRODUCCIÓN A PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El proceso convencional y el nivel de tratamiento de las aguas residuales dependen básicamente de los límites permisibles de vertido para el efluente y criterios de calidad para su uso, establecidas en cada región o país.

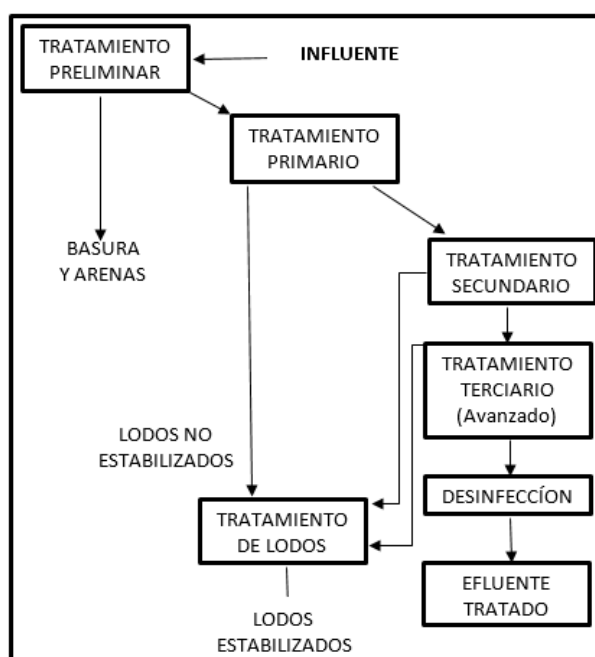


Figura 3. Esquema de un tren de tratamientos de aguas residuales

FUENTE: (Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

Los contaminantes puede estar presentes como:

Tabla 2.

Tipo de contaminantes en aguas residuales

Sólidos: En suspensión flotantes o grandes		
1	Agua natural	Hojas, ramas, etc.
	Agua residual	Papel, trapos, arenas, etc.
Sólidos suspendidos pequeños y coloidales		
2	Agua natural	Partículas de arcilla y limo, microorganismos.
	Agua residual	Moléculas orgánicas grandes, partículas de suelo, microorganismos.
Sólidos disueltos:		
3	Agua natural	Alcalinidad, dureza, ácidos orgánicos.
	Agua residual	Compuestos orgánicos, sales inorgánicas.
Gases disueltos		
4	Agua natural	Bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno
	Agua residual	Sulfuro de hidrógeno
5	Líquidos no mezclables	
	Grasas y aceites.	

FUENTE: (Tebutt, 2003)

## 2.1.1 PROCESOS UNITARIOS

**2.1.1.1 Tratamiento preliminar.-** Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares (Rodrigo & Gonzales M., 2001).

- **Rejas:** Se encarga de cernir con el propósito de remover el material grueso, flotante, que puede dañar u obstruir bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento.



Figura 4. Rejilla de limpieza manual  
(Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

- **Desarenador:** Se emplea para retirar arenas, cenizas, gravillas y otros materiales inorgánicos presentes en las aguas residuales que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos.

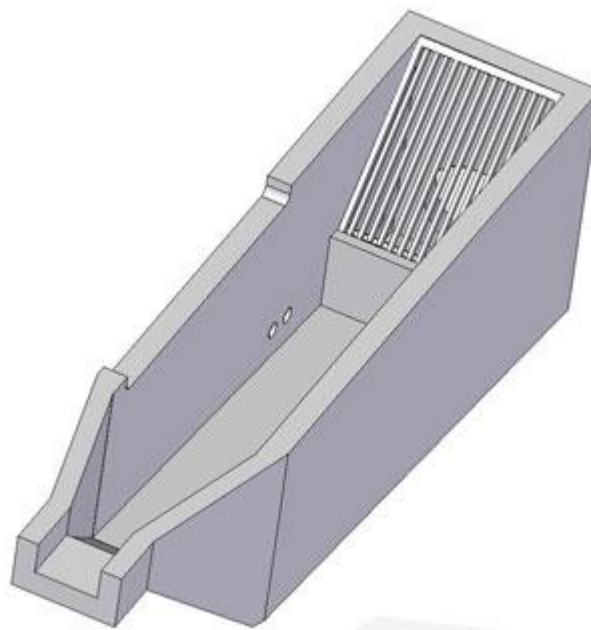


Figura 5. Desarenador por decantación.

### 2.1.1.2 Tratamiento primario

La sedimentación se utiliza como tratamiento primario de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas.

La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las tuberías de las materias en suspensión.

### 2.1.1.2.1 Tipos de sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión.

Tabla 3.

Tipos de tratamiento de aguas residual

CONCEPTO	TIPO DE TRATAMIENTO		
	SEDIMENTACIÓN SIMPLE	SEDIMENTACIÓN SUSTANCIAS QUÍMICAS	FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO (DAF)
<b>Sustancias añadidas</b>	Ninguna	Coagulantes y floculantes -Sulfato de amonio -Cloruro férrico -Polímeros catiónicos	Aire a alta presión Coagulantes y floculantes
<b>Remoción de contaminaciones</b>			
-Sólidos suspendidos	40 - 60%	70 - 90%	70 - 90%
-Grasas y aceites	60 - 80%	> 90%	> 90%
-Materia orgánica (DBO <sub>5</sub> )	20 - 40%	50 - 60%	50 - 60%
-Fosforo	Despreciable	> 90%	no hay datos
<b>Costos</b>			
Costos de inversión	Medios	Medios	Altos
Costos de operación	Bajos	Altos	Altos
Requerimiento de superficie	Altos	Altos	Bajos
Tiempo de retención (V/Qmed)	2 - 3 h	2 - 3 h	< 30 min
<b>Usos principales</b>	Plantas medias y grandes	Plantas que no incluyen tratamiento secundario	Plantas con limitación de espacio Presencia de material flotante

FUENTE: (Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

- **Sedimentación discreta.-** Hace referencia a las partículas que mantienen su individualidad, mientras se depositan en el fondo de un sedimentador, sin la posibilidad de dos o más partículas se unan en un único cuerpo. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (Tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso. (Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

- **Sedimentación con floculación.-** Es aquella en donde las partículas se van agrupando, y paralelamente existe cambios en la densidad y su velocidad de sedimentación.

### 2.1.1.2 Tratamiento secundario

Este término comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, los cuales en su proceso de alimentación, degradan la materia orgánica, convirtiéndola en material celular, productos inorgánicos o material inerte (Molina, 2006).

### 2.1.1.3 Coagulación y floculación

Se puede mejorar la colisión entre partículas por medio de un agitado suave, el proceso de floculación, que puede ser suficiente para producir sólidos sedimentales a partir de una alta concentración de partículas coloidales.

- Floculación

El agitado del agua por mezclado hidráulico o mecánico causa gradientes de velocidad cuya intensidad controla el grado de floculación producida. El número de colisiones entre partículas está relacionado directamente con el gradiente de velocidad y es posible determinar la potencia que se requiere para dar un grado particular de floculación como se especifica por el gradiente de velocidad.

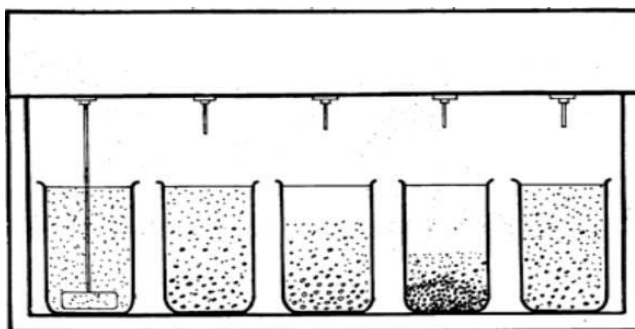


Figura 6. Agitador – floculador de laboratorio.

(Hopkins, 2000)

- Coagulación

Antes de la floculación pueda efectuarse, es esencial dispersar el coagulante, cuya dosis normal es de 30 a 100 mg/l en todo el cuerpo de agua. Esto se lleva a cabo en una cámara de mezclado rápido o agregando el coagulante en un punto de turbulencia hidráulica, por ejemplo en un salto de agua en canal aforador (Rodrigo & Gonzales M., 2001).

El floculante es una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un floculo insoluble de hidróxido del metal que incorpore a las partículas coloidales, el más utilizado es el sulfato de aluminio (Alumbre).



Figura 7. Formación de floculo (Unión mecánicamente las partículas en suspensión)

(Formación de flóculos con Bentonit, 2015)

#### 2.1.1.4 Desinfección

- **Cloro**

Se lo usa ampliamente para la desinfección del agua porque:

- Se obtiene fácilmente como gas, líquido o polvo.
- Es barato.
- Es fácil de aplicar debido a una solubilidad relativamente alta (7000 mg/l).

- Deja un residuo en solución que no es dañino para el hombre y protege el sistema de distribución.
- Es muy tóxico para la mayoría de los microorganismos, ya que detiene las actividades metabólicas.

## 2.2 ESTUDIO REOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES.

La densidad de una agua residual se define como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Es una característica física importante del agua residual, dado que de ella depende la formación de fangos de sedimentación.

$$\delta = \frac{m}{V}$$

La densidad de las aguas residuales que no poseen grandes cantidades de residuos industriales se pueden considerar la misma que la del agua a la misma temperatura.

Por lo tanto dentro de la reología, que hace referencia al estudio de la deformación y las características del flujo de las sustancias, considerando lo anteriormente mencionado el agua residual se la considera como un fluido newtoniano.

**Fluidos Newtonianos.-** Son todos aquellos cuya relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad es una medida de su viscosidad aparente por lo tanto es constante.

## 2.3 IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

En la actualidad debido al crecimiento de la población mundial, la contaminación del medio ambiente ha crecido en forma paralela, enfocándonos así en la contaminación de aguas. Un ejemplo a analizar es una situación que ha llevado a municipios, estados y naciones a implementar plantas de tratamiento de aguas residuales, además con la incursión de tecnología en la misma, con el propósito de que el tratamiento sea de mayor calidad y de bajo costo.

No solo en las ciudades se aprecia la contaminación del agua, también se lo realiza en el mar, esto debido a la presencia de gran cantidad de embarcaciones sea de comercio, militar o turismo, tienen la necesidad de tratar las aguas. Estas embarcaciones poseen plantas de tratamiento de aguas artesanales, es decir, que necesitan la presencia de trabajadores que ejecuten el trabajo. Pero la automatización de estas plantas, es un punto muy importante ya que influye en la calidad de servicio de las embarcaciones, además aporta al medio ambiente al desechar las aguas con un promedio de contaminantes por debajo de los estándares, gracias a la utilización de los diferentes sensores, actuadores y un sistema de monitoreo, que brinda al tripulante (capitán), estar al tanto de cómo está el funcionamiento de su embarcación o buque.

Por ello es necesario analizar los siguientes sistemas mecánicos, hidráulicos y electrónicos que se detallan a continuación para llevar a cabo la automatización:

### **2.3.1 SISTEMA MECÁNICO**

#### **2.3.1.1 Tanques o recipientes**

Los tanques o recipientes a presión que existen se clasifican de la siguiente manera de acuerdo a su uso tenemos los de almacenamiento y de procesos; y de acuerdo a su forma los cilíndricos dentro de ello está los verticales y los horizontales y por último los esféricos.

Los tanques para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc., en nuestra planta se va a utilizar los tanques acumuladores, debido a que la única presión a soportar es el peso del líquido.



Figura 8. Tanque acumuladores



## Procedimientos de Soldadura

El más utilizado actualmente en la fabricación de recipientes a presión es el de soldadura, el cual elimina el sistema de remachado. Se lo realiza mediante un proceso de arco eléctrico, el cual deberá tener una penetración completa y se deberá eliminar la escoria dejada por un cordón de soldadura, antes de aplicar el siguiente:

Tabla 4.

Eficiencia de la soldadura

	EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"	NORMAS		
		FIGURA No. 1		
		EFICIENCIA DE LA UNIÓN CUANDO LA JUNTA ESTÁ RADIOGRAFIADA		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERÁ QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNIÓN SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNIÓN TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNIÓN TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNIÓN TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

FUENTE: (LEÓN E, 2001)

El material de aporte, de la soldadura, deberá ser compatible con el material base a soldar. Los electrodos más comúnmente utilizados para soldar recipientes a presión de acero al carbón, son el 6010 y el 7018.

### 2.3.1 SISTEMAS HIDRÁULICOS

#### Conceptos de mecánica de fluidos

Detallaremos algunos conceptos importantes:

- **Viscosidad Dinámica.**- Es decir el hecho de que el esfuerzo cortante en el fluido sea directamente proporcional al gradiente de velocidad se enuncia en forma matemática, donde la constante de proporcionalidad es ( $n$ ).

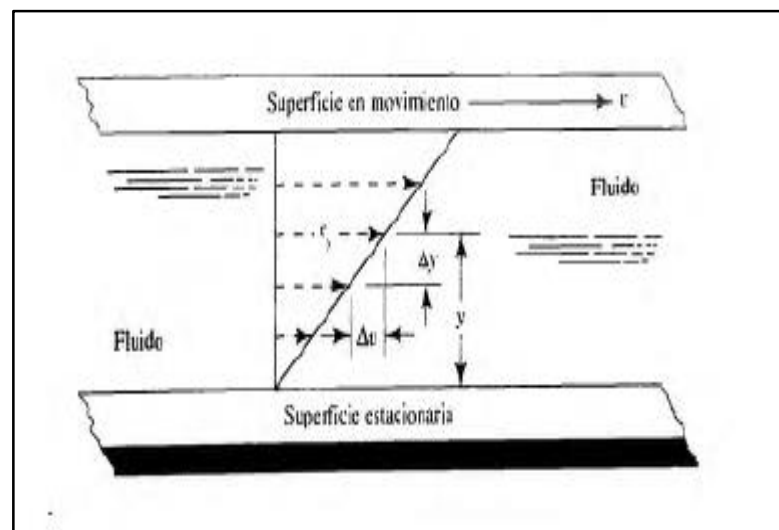


Figura 9. Gradiente de velocidad de un fluido en movimiento

FUENTE: (Mott L., 2006)

En el sistema internacional la unidades viene dado en  $n = [\text{Pa} \cdot \text{s}]$

$$\tau = n \frac{\Delta v}{\Delta y} \quad \text{Ec. (2. 1)}$$

Por lo tanto la definición de viscosidad dinámica se obtiene al despejar la ( $n$ ) de la ecuación (2.1):

$$n = \frac{\tau}{\frac{\Delta v}{\Delta y}} \quad \text{Ec. (2. 2)}$$

- **Viscosidad Cinemática.**- Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que generan su movimiento. Se obtiene mediante el cociente entre la viscosidad dinámica o absoluta ( $\mu$ ) y la densidad ( $\rho$ ) del fluido:

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. (2. 3)}$$

Tabla 5.

Sistema de unidades en la viscosidad cinemática

Sistema de unidades	Unidades de la viscosidad cinemática
Sistema Internacional (SI)	m <sup>2</sup> /s
Sistema Tradicional de Estados Unidos	pie <sup>2</sup> /s
Sistema cgs (obsoleto)	stoke = cm <sup>2</sup> /s = 1x10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s centistoke = stoke/10 = 1x10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s = 1mm <sup>2</sup> /s

FUENTE: (Mott L., 2006)

- **Número de Reynolds.**- Es un número adimensional con el cual es posible pronosticar el flujo laminar y turbulento, en función de cuatro variables como: la densidad del fluido ( $\rho$ ), su viscosidad ( $n$ ), el diámetro de la tubería ( $D$ ) y la velocidad promedio de flujo ( $\vartheta$ ).

$$N_R = \frac{\vartheta * D * \rho}{n} = \frac{\vartheta * D}{\nu} \quad \text{Ec. (2. 4)}$$

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, encontramos que si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, este será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento. En el rango de números de Reynolds entre 2000 y 4000 es imposible predecir que flujo existe; por tanto, le denominaremos región crítica. Las aplicaciones prácticas involucran flujos que se encuentran bien dentro del rango laminar o bien dentro del turbulento, por lo que la existencia de dicha región de incertidumbre no ocasiona demasiadas dificultades.

### 2.3.1.2 Bombas

Las bombas se utilizan para impulsar a través de sistemas de tuberías, donde al despejar ha de la ecuación general de energía se llega:

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_f \quad \text{Ec. (2. 5)}$$

A este valor ( $h_a$ ) se le llama carga total sobre la bomba, o algunos fabricantes de bombas se refieren a él como carga dinámica total (TDH).

- **Potencia que requiere las bombas**

La potencia se define como la rapidez con que se transfiere la energía,

$$P_A = h_a * \gamma * Q \quad \text{Ec. (2. 6)}$$

Hay pérdidas inevitables de energía debido a la fricción mecánica y a la turbulencia que se crea en el fluido cuando pasa a través de ella, por lo tanto se requiere más potencia para impulsar el fluido, es decir que sería la potencia de entrada.

$$P_I = \frac{P_A}{E_M} \quad \text{Ec. (2. 7)}$$

- **Bombas de aspas.-** Se lo utiliza para potencia de fluido, consiste en un rotor excéntrico que contiene un conjunto de aspas deslizantes que corren dentro de una carcasa. Un anillo de levas en las carcassas controla la posición radial de las aspas. Las capacidades comunes de presión van de 13.8 a 27.6 MPa.

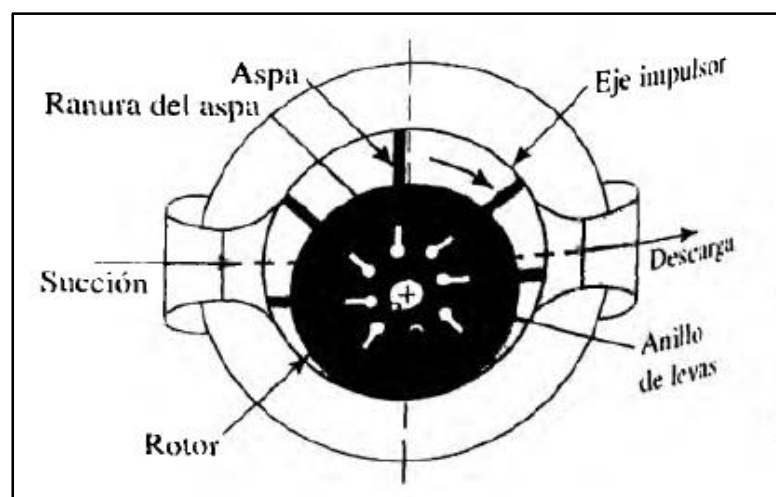


Figura 10. Bomba de aspas

FUENTE: (KENNETH, 2002)

**2.3.1.3 Macerador.-** Son sistemas desintegradores que pueden emplearse sobre todo allí donde deben desintegrarse de forma fiable las impurezas en fluidos. Es la única manera de prevenir la obstrucción de tuberías y evitar daños en los equipos conectados a continuación de manera segura y fiable.

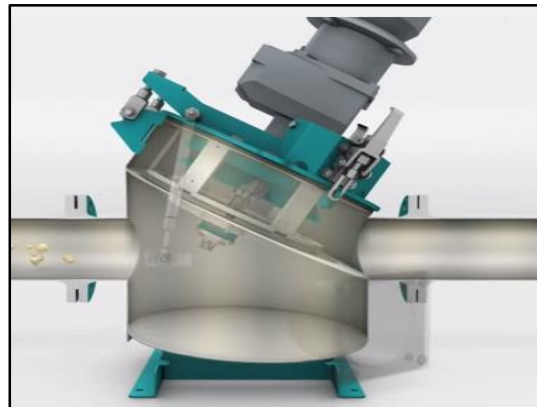


Figura 11. Macerador M Ovas de Netzsch

FUENTE: (CATALOGO NETZSCH, 2014)

#### **2.3.1.4 Válvulas.**

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

- **Válvula de seguridad.-** Las válvulas de seguridad han sido diseñadas para proteger contra excesos de presión a un amplio espectro de procesos industriales. Adecuada para usar con vapor de gases y líquido, proporcionando así una solución completa y competitiva para la mayoría de aplicaciones, incluyendo protección de calderas, líneas y recipientes a presión, compresores y receptores.



Figura 12. Válvula de seguridad

FUENTE: (CATÁLOGO SOTERMIC, 2013)

- **Válvula limitadora de presión.-** Las válvulas limitadoras de presión son válvulas de mando remoto con diseño de asiento y sirven para la limitación de la presión de un sistema.



Figura 13. Válvula limitadora de presión

FUENTE: (CATÁLOGO HAVE HIDRAULIK, 2013)

- **Válvulas solenoides.-** Existe una gama excepcionalmente variada de válvulas solenoides, disponibles en la versión de accionamiento directo, servo accionada y con elevación asistida. Se trata de una manera económica y sencilla de controlar y regular los líquidos y los gases. Se montan rápidamente y sin necesidad de utilizar herramientas y proporcionan una flexibilidad y disponibilidad óptimas para el producto. Si es necesario sustituir una bobina, puede hacerlo sin necesidad de detener o drenar el sistema.



Figura 14. Válvula solenoides Danfos  
FUENTE: (CATÁLOGO DANFOS, 2013)

**2.3.1.5 Tuberías.-** Hace referencia a las varias clases de líneas conductoras que llevan el fluido entre los componentes; más los ajustes y conectores usados entre los conductores. Las roscas en las tuberías son usadas del lado contrario del tubo y también en algunos de los ajustes de manguera que tienen rosca derecha.

En nuestra tesis se van a utilizar tuberías de PVC, debido a su resistencia a la presión, y su bajo costo.

### 2.3.2 SISTEMAS ELECTRICOS

**PLC.-** Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógicas, secuenciación, registro y control de tiempo, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas y salidas digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.



Figura 15. Controlador lógico programable Allan Bradley MICROLOGIX 1100(PLC)

FUENTE: (Allen Bradley, 2015)

**2.3.2.1 Sensores.-** Son dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

**Sensor de radar para la medición continua de nivel de agua y agua residual.\_**

Es un sensor ideal para todas las aplicaciones en el campo del agua y aguas residuales. Es especialmente adecuado para la medición de nivel en el tratamiento de agua, en estaciones de bombas así como depósitos rebosadero de lluvia, para la medición de flujo en canales abiertos y el control de nivel. VEGAPULS WL61 representa una solución económica debido a las posibilidades de montaje universales y fáciles. La carcasa segura contra inundación IP 68 garantiza un régimen continuo sin mantenimiento.





Figura 16. Sensores de Nivel de agua Vegapuls W161

FUENTE: (CATÁLOGO VEGAPULS WL61, 2013).

**Sensores de PH.-** Los sensores de ORP y pH diferencial diseñado para aplicaciones industriales ofrecen una larga y confiable vida útil. La técnica de medición diferencial usa dos electrodos, uno para la medición del proceso y otro para la medición de la referencia.

Puente de sal reemplazable para larga vida útil. Diseño diferencial probado en campo, transmisión de señal hasta 3.000 pies (915 metros), los modelos preamplificados Walchem son compatibles con los controladores Walchem. Los modelos preamplificados convencionales son compatibles con los controladores GLI y Aquametrix (Lisle Metrix). Resistencia a problemas de conexiones a tierra.



Figura 17. Sensor / transmisor integrado: pH, ORP, oxígeno disuelto

FUENTE: (CATALOGO WALCHEM, 2014)

**2.3.2.2 HMI.-** Es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente son paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

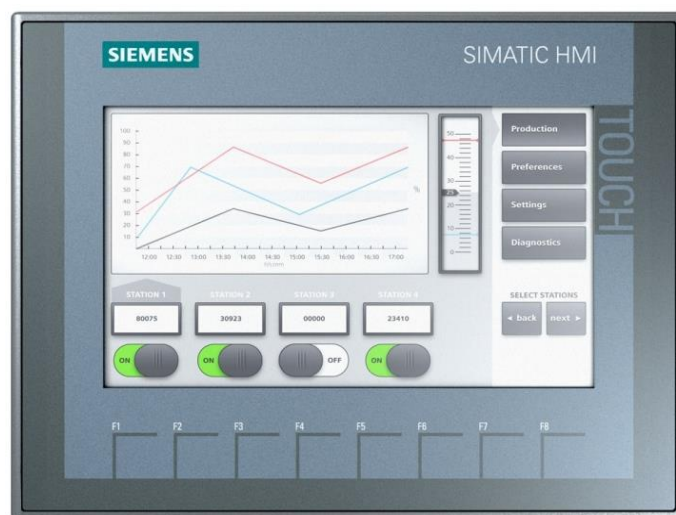


Figura 18. Interfaz humano máquina

FUENTE: (CATALOGO SIEMENS SIMATIC, 2014)

- **Comunicación.-** La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante recepción de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PCs.

Actualmente para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (Ole for Process Control), por lo que contamos entonces con Servidores y Clientes OPC, sin embargo aún quedan algunas instalaciones donde se usaba DDE para este propósito, como también muchos

softwares de aplicación sólo son clientes DDE por lo que lo usual es que los servidores sean OPC y DDE.

**2.3.2.3 Pulsadores.-** Los pulsadores son los elementos de mando más utilizados en la operación de contactores y fundamentalmente, en el mando de motores eléctricos o bombas.

**2.3.2.4 Contactores.-** Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia.

Tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada".



Figura 19. Contactores Siemens

FUENTE: (CATALOGO SIEMENS SIMATIC, 2014)

**2.3.2.5 Interruptores.-** Son aparatos electrónicos con los que se abre o se cierran.

Los interruptores son accionados manualmente y cuando se los accionan por medio de un electroimán se llaman relés o contactores.

**2.3.2.6 Arranque de electrobombas.-** El mando de un grupo moto-bomba para el llenado de un pozo o depósito de agua, de forma automática, de la puede dividir en dos partes bien definidas, como son:

- **Circuito de potencia por el que se alimenta el motor, este circuito consta de los siguientes elementos:**
  - Fusibles, que protegen al circuito de los efectos de cortocircuito.
  - Interruptor de accionamiento manual.
  - Contactor, mandado por el electroimán.
  - Relé térmico de protección contra sobre intensidades.
  - Motor trifásico/ monofásicos.

### CAPITULO 3

## DISEÑO DE LA PLANTA AUTOMÁTICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 3.1 METODOS DE TRATAMIENTO.

#### 3.1.1 CANTIDAD DE SEDIMENTADORES.

##### Tratamiento primario.

El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales, después de las precedentes fases preliminares, es generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40% al 65% de los sólidos finamente divididos, se depositen en el fondo del tanque del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos. (Jalisco, 2006)

Tabla 6.

Selección del tratamiento primario.

CONCEPTO	TIPO DE TRATAMIENTO		
	SEDIMENTACIÓN SIMPLE	SEDIMENTACIÓN CON SUSTANCIAS QUÍMICAS	FLOTACIÓN CON AIRE DISUELTO (DAF)
<b>Sustancias añadidas</b>	Ninguna	Coagulantes y flocculantes -Sulfato de amonio -Cloruro férrico -Polímeros catiónicos	Aire a alta presión Coagulantes y flocculantes
<b>Remoción de contaminaciones</b>			
-Sólidos suspendidos	40 - 60%	70 - 90%	70 - 90%
-Grasas y aceites	60 - 80%	> 90%	> 90%
-Materia orgánica (DBO <sub>5</sub> )	20 - 40%	50 - 60%	50 - 60%
-Fosforo	Despreciable	> 90%	no hay datos
<b>Costos</b>			
Costos de inversión	Medios	Medios	Altos
Costos de operación	Bajos	Altos	Altos
Requerimiento de superficie	Altos	Altos	Bajos
Tiempo de retención (V/Qmed)	2 - 3 h	2 - 3 h	< 30 min
<b>Usos principales</b>	Plantas medias y grandes	Plantas que no incluyen tratamiento secundario	Plantas con limitación de espacio Presencia de material flotante

(Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

La sedimentación con sustancias químicas obtenemos costos bajos y una remoción de contaminantes entre el 50% y 60% de ahí la necesidad de usar 6 tanques sedimentadores para reducir el tiempo de retención y aumentar la remoción de contaminantes a un rango de 70% y 90%.

Tanque de sedimentación.

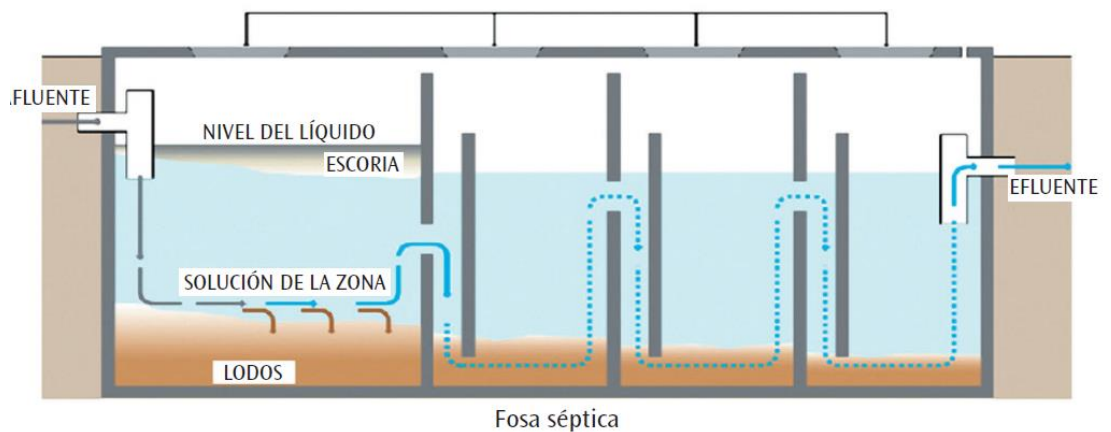


Figura 20. Configuración de tanques sedimentadores.

(Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

En la figura 21 se observa la ubicación del módulo de sedimentación, tanque de recepción, cloro, verificación, suministro de agua salina, dosificador de coagulante y las diferentes líneas o tuberías que conecta cada etapa de la planta.

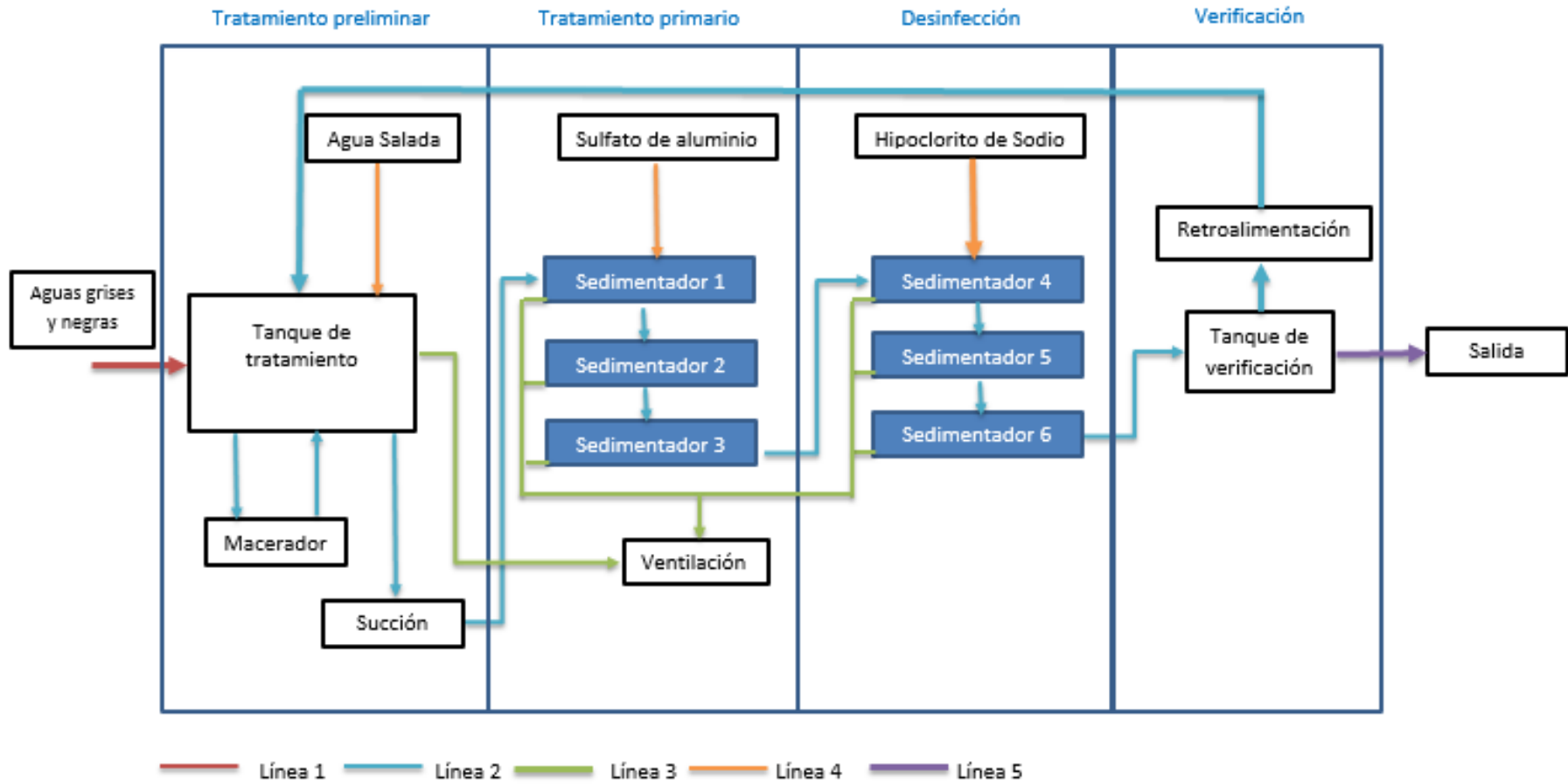


Figura 21. Layout de la planta de tratamiento de aguas residuales.

### 3.1.2 COAGUALCIÓN

La coagulación es un proceso químico con sales de aluminio o hierro de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan la fuerza de repulsión existente entre las de las partículas coloidales dispersas en el agua, con la finalidad de aumentar el porcentaje de sedimentación.

#### Etapas del proceso de coagulación

- **Primera Fase:** Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.
- **Segunda Fase:** Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.
- **Tercera Fase:** Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.
- **Cuarta Fase:** adsorción mutua entre los coloides.
- **Quinta Fase:** Acción de barrido

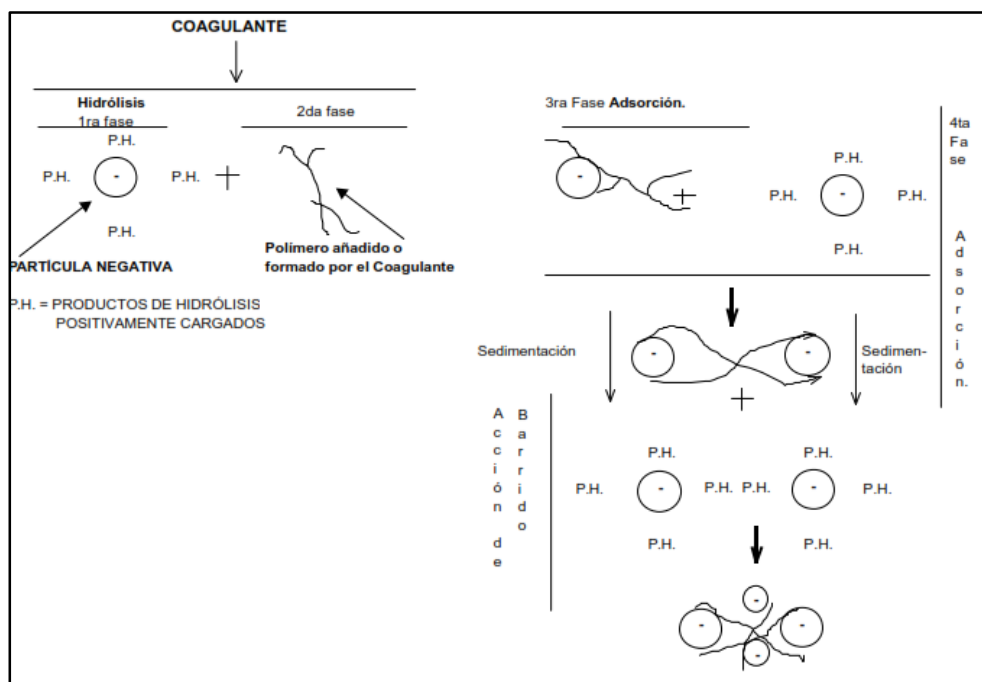


Figura 22. Etapas de Coagulación.

(Cardenas, 2000)



### Potencial Zeta

La partícula coloidal tiene una carga negativa en sus superficie, por lo cual tiende a atraer cargas positivas de agua, estos iones se adhieren fuertemente a la partícula, constituye lo que se denomina capa comprimida, mientras que los iones que se adhieren de forma débil constituye la capa difusa, formado una doble capa de iones, por lo cual hay un potencial electrostático o potencial zeta entre la partícula y la solución, que genera la repulsión y atracción entre las partículas coloides, evita de esta manera su aglomeración y la sedimentación de la misma, por ello la importancia en el uso de un coagulante , seleccionado en el proyecto el Sulfato de Aluminio.

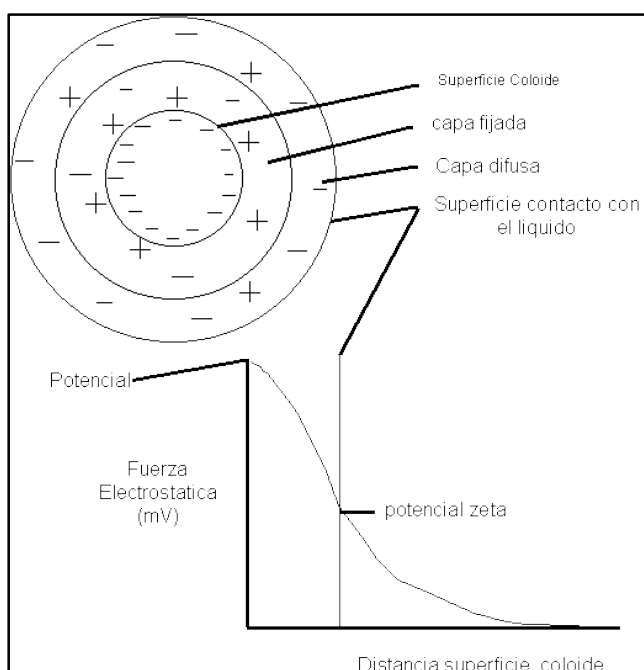


Figura 23. Esquema del potencial Z

(Hopkins, 2000)

### 3.1.3 DESINFECCIÓN

El impacto de las aguas residuales no tratadas en las fuentes de agua comunitarias a puesto presente diversas problemáticas de salud y seguridad. Los organismos potencialmente problemáticos en el agua residual domestica incluyen bacterias entéricas, los virus y los quistes de protozoarios; los microorganismos más comunes que se encuentren en el agua residual doméstica y los tipos de enfermedades humanas asociados con los mismos.

Como respuesta a estas preocupaciones, la desinfección se ha convertido en uno de los mecanismos principales para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos. Para que la desinfección sea efectiva, el agua residual debe ser tratada adecuadamente.

### **Cloración.**

La cloración es un procedimiento adecuado y económico para la eliminación de microorganismos presentes al final del proceso de tratamiento. El producto más utilizado en plantas de tratamiento es el cloro gas, ya que por los grandes consumos resulta ser el más conveniente por su bajo costo. (Jalisco, 2006)

### **Parámetros básicos de un sistema de desinfección por cloro**

- Unidad de contacto: tiempo de retención ( $tr = \frac{V}{Q}$ ), a flujo medio > 30min, a flujo pico > 15 min.
- Donde  $t_r$  es tiempo de retención,  $V$  es volumen total del contenido de cloro, y  $Q$  el caudal.
- Relación Largo/Ancho de tanque de almacenamiento de cloro (L/A):  $\frac{L}{A} > 10$  o preferentemente  $\frac{L}{A} > 40$ .
- Velocidad de los canales (v):  $v > 2 \frac{m}{min}$
- Cloro en el efluente: 0.5 – 1.

### **Aplicabilidad**

El cloro puede ser suministrado en muchas formas, que incluyen, el gas cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma solida y liquida.

La selección de una desinfección adecuada para una instalación de tratamiento depende de los siguientes criterios.

- La capacidad de penetrar los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación.
- La facilidad y seguridad en el manejo, el almacenamiento y el transporte.
- La ausencia de residuos tóxicos y de compuestos mutagénicos o carcinógenos.

- Costos razonables de inversión de capital, y de operación y mantenimiento (O/M).

### **Ventajas**

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aun después del tratamiento inicial, y puede ser medio para evaluar su efectividad.
- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.
- EL cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

### **Desventajas**

- El cloro residual, aun en bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descoloración.
- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y toxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo, presentan riesgos cuya prevención requiere las normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual, generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalógenos [MTH]).
- El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.
- Le cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr un desinfección adecuada.

- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia Lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.

### Rayos Ultravioleta

Algunos de los microorganismos encontrados comúnmente en aguas residuales domésticas y las enfermedades asociadas a ellos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Agentes potencialmente infecciosos presentes en aguas residuales domesticas no tratadas.

ORGANISMO	ENFERMADA CAUSADA
<b>Bacterias</b>	
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<i>Lptospira (spp.)</i>	Leptospirosis
<i>Salmonella Typha</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella (2100 serotipos)</i>	Salmonelosis
<i>Shigella (4 spp.)</i>	Shigelosis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<b>Protozoos</b>	
<i>Balantidium coli</i>	Balandiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amoebica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<b>Helmintos</b>	
<i>Ascris lumbricoides</i>	Acariasis
<i>T. solium</i>	Teniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
Virus entéricos (72 tipos, por ejemplo, los virus echo y coxsackie del polio )	Gastroenteritis, anomalías del Corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

(Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, este destruye la habilidad de reproducción de la célula. La radiación UV, generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción.

La eficiencia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación y la configuración del reactor.

### **Ventajas**

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- La desinfección con luz UV es más bien un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- La desinfección con luz UV tiene un periodo de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).
- La desinfección con luz UV es de uso fácil para los operarios.
- El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

### **Desventajas**

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.
- Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un "mecanismo de reparación", también conocido como foto reactivación o, en ausencia de radiación, como "reparación en curso".
- Un programa de mantenimiento preventivo es necesario para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz o en su caso tener sistemas autolimpiables.
- LA turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual, hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. EL uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30mg/l.
- La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere descloración y para eliminar la peligrosidad en el manejo del gas cloro.

### **Ozono**

El ozono, dado que es el mayor oxidante conocido después del flúor, es más rápido en su actuación, siendo inodoro e insípido, y no se le conocen derivados que puedan ser perjudiciales para la salud. El ozono es el oxidante más potente que puede producirse industrialmente de forma económica. Las razones para que se haya divulgado y generalizado el uso del cloro al ozono han sido el precio; era más barato en principio.

De forma general, podríamos decir que las ventajas del ozono son:

- Eliminación del color, olor y sabor del agua.

- Reducción de la turbiedad, contenida en sólidos en suspensión y las demandas químicas y biológicas del oxígeno.
- El ozono es producto desinfectante; no solo elimina las bacterias patógenas, sino que, además, inactiva los virus y otros microorganismos que no son sensibles a la desinfección con cloro.

### **Ventajas**

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos).
- No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización porque el ozono se descompone rápidamente.
- Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.
- El ozono es generado dentro de la planta, existiendo así muy pocos problemas de seguridad industrial asociados con el envío y transporte.
- El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente. El incremento OD puede eliminar la necesidad de reparación y también puede incrementar el nivel de OD en la corriente de agua receptora.

### **Desventajas**

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- EL proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección ultravioleta, por lo cual se requiere equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión, tales como el acero inoxidable.

- EL proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de: sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, o carbón orgánico total.
- El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.
- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica.

### **Hipoclorito de Sodio.**

El hipoclorito de sodio se puede preparar en forma anhidro, con una pureza superior al 90%, pero se descompone con facilidad al cabo de pocos días, en ocasiones con fuerza explosiva. También forma un monohidrato que es difícil de obtener puro. Otro de sus hidratos tiene fórmula molecular  $\text{NaOCl} \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ , y se trata de un compuesto cristalino tetragonal, que tiene poca estabilidad para uso comercial. EL hipoclorito de sodio pentahidratado,  $\text{NaOCl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , tiene un punto de fusión de  $27^\circ\text{C}$ , por lo cual se debe mantener refrigerado para que conserve su estado sólido.

En vista de la inestabilidad del hipoclorito de sodio sólido, se encuentra más comúnmente en solución acuosa. Las concentraciones de hipoclorito de sodio encontradas en el comercio se pueden clasificar en dos grandes grupos: soluciones acuosas con concentración de cloro activo inferior al 10% y soluciones acuosas con concentración de cloro activo superior al 10%.



Tabla 8.  
Comparación de las características ideales y reales de los desinfectantes comúnmente usados.

CARACTERISTICAS	CLORO	HIPO-CLORITO DE SODIO	DIÓXIDO DE CRBONO	OZONO	RADIA-CIÓN UV
Disponibilidad/Costos	Bajo costo	Moderadamente bajo costo	Moderadamente bajo costo	Moderadamente costo alto	Moderadamente costo alto
Capacidad de desodorización	Alto	Moderado	Alto	Alto	n.a
<b>Homogeneidad</b>	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	n.a
Interacción con materiales extraños	Oxidante de materia orgánica	Oxidantes activos	Alto	Oxidantes de materia orgánica	Absorbencia de la radiación UV
No corrosivo y no mancha	Muy corrosivo	Corrosivo	Muy corrosivo	Muy corrosivo	n.a
No tóxico para la vida	Altamente tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Penetración	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderado
Seguridad	Alta	Moderada	Alta	Moderada	Baja
Solubilidad	Moderada	Alta	Alta	Alta	n.a
Estabilidad	Estable	Ligeramente inestable	Inestable, se genera como se usa	inestable, se genera como se usa	n.a
Toxicidad de microorganismos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Toxicidad de temperatura ambiental	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

(Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

### Propiedades químicas.

En general, los hipocloritos son agentes oxidantes fuertes, con mayor fuerza que el Peróxido de hidrogeno o el Dióxido de Cloro. Su carácter de oxidante fuerte le permite actuar como agente de blanqueo y desinfección; estas propiedades se aprovechan para el tratamiento de fibras y la eliminación de microorganismos en el agua.

## 3.2 DISEÑO DE COMPONENTES MECANICOS

### 3.2.1 BASES DE DISEÑO DEL CAUDAL

- **Dotación de caudal.**- La dotación del caudal depende del consumo de agua en la tripulación, se trabajará con 12 personas lo que constituye nuestra población equivalente [h.e], por lo tanto se va a calcular el consumo de agua por día para esta dotación.

Tabla 9.

Consumo doméstico de agua por persona

<b>Consumo de agua</b>	
Número de personas [h.e]	12
Aguas negras [L]	110
Lavados [L]	70
Lavandería [L]	50
Cocina [L]	35
<b>Total[L/ he*día]</b>	<b>265</b>

FUENTE: (Melgar L, 2011)

Por lo tanto se consume  $265 \left[ \frac{\text{L}}{\text{h.e} \cdot \text{día}} \right]$ .

- **Caudales de diseño.-** Esto hace referencia al volumen de agua que llega al tanque de recepción por unidad de tiempo, además es importante conocer su variación a lo largo del día, es decir sus valores máximos y mínimos.
- **Caudal medio ( $Q_{\text{med}}$ )** .- Es el caudal diario, consumido por la población equivalente durante las 24 horas del día.

$$Q_{\text{med}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Población(h.e)} * \text{dotación} \left( \frac{\text{L}}{\text{h.e} * \text{día}} \right)}{1000 \left( \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right)} \quad \text{Ec.( 3. 1)}$$

$$Q_{\text{med}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) = \frac{12 * 265}{1000} = 3.18$$

Calculando por horas tenemos  $0.133 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$

- **Caudal máximo ( $Q_{\text{máx}}$ ):** Es valor máximo del caudal que se recibe en la planta determinadas horas del día.

$$Q_{\text{máx}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = Q_{\text{med}} * \left( 1.15 + \frac{2.575}{(Q_{\text{med}})^{\frac{1}{4}}} \right) \quad \text{Ec.( 3. 2)}$$

$$Q_{\text{máx}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 0.133 * \left( 1.15 + \frac{2.575}{(0.133)^{\frac{1}{4}}} \right) = 0.718$$

Por lo tanto el caudal máximo es  $0.718 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$ .

- **Caudal mínimo ( $Q_{\min}$ )** .- Son importantes para las estaciones de bombeo, por lo tanto se suele emplear un 30 % y 50 % para comunidades pequeñas y grandes respectivamente, en este caso se empleará el 40% del caudal medio diario. Es decir  $0.053 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ .

Tabla 10.

Caudales de diseño

<b>Cálculo de caudales</b>	
Caudal	$\frac{m^3}{h}$
Medio ( $Q_{\text{med}}$ )	0.133
Máximo ( $Q_{\text{máx}}$ )	0.718
Mínimo ( $Q_{\text{min}}$ )	0.053

### 3.2.2 CÁLCULO DE CONTAMINACIÓN EN AGUA BRUTA

Los contaminantes se expresan en mg/l (ppm) y se deben considerar como mínimo los siguientes parámetros:

- DBO<sub>5</sub>
- DQO
- SST
- pH

Para obtener datos más fiables de estos parámetros es necesario realizar la caracterización de las aguas residuales, en ausencia de datos, puede emplearse la tabla 11.

Partiendo de estos datos se pueden obtener las concentraciones y cargas de entrada para 12 personas, por lo tanto:

$$\text{Concentración} \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{\text{Valores Típicos } C \left( \frac{g}{h.e * d} \right) * 1000 \left( \frac{mg}{g} \right)}{\text{Dotación} \left( \frac{l}{h.e * día} \right)} \quad \text{Ec.( 3. 3)}$$

$$\text{Carga} \left( \frac{kg}{día} \right) = \frac{\text{Valores Típicos } C \left( \frac{g}{h.e * día} \right) * \text{Población (h.e)}}{1000 \left( \frac{g}{kg} \right)} \quad \text{Ec.( 3. 4)}$$

Ejemplo: Cálculo de la carga de DBO

$$\text{carga} \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = \frac{75 \left( \frac{\text{g}}{\text{h. e} * \text{día}} \right) * 12(\text{h. e})}{1000 \left( \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)}$$

$$\text{carga} \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = 0.9$$

Tabla 11.

Contaminación per cápita

FACTORES DE APORTACIÓN PER CÁPITA A LA CONTAMINACIÓN		
FACTOR	VALOR (g/h.e.d)	
	INTERVALO	VALOR TÍPICO
DBO <sub>5</sub>	55-100	75
DQO	150 - 180	165
SS	65-110	90
pH		7,5
NUTRIENTES:		
Nitrógeno amoniacal	2-4	3,5
Nitrógeno orgánico	6,5 - 13,5	10
Nitrógeno total Kjeldahl NTK	10-15	14
Fósforo orgánico	1-2	1,5
Fósforo inorgánico	2-3,5	3
Fósforo total	3,5-5,5	4

FUENTE: (Gonzales, 2012)

Tomando los valores típicos de tabla y tras aplicar las fórmulas para el cálculo de la concentración y de la carga, se obtienen los valores de los diferentes parámetros, expresados a continuación.

Tabla 12.

Valores de concentración y carga de contaminantes de la población equivalente de 12 personas.

<b>Contaminantes de la población equivalente (h.e)</b>			
	<b>Valores típicos</b> $\frac{\text{g}}{\text{h.e} \cdot \text{día}}$	<b>Concentración por h.e</b> $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	<b>Carga por h.e</b> $\frac{\text{kg}}{\text{día}}$
<b>DBO</b>	75	283,0	0,9
<b>DQO</b>	165	622,6	1,98
<b>SST</b>	90	339,6	1,08
<b>pH</b>	7,5	-----	-----

- **Resultados previstos a obtener:**

Las características de la calidad de vertido vienen reguladas en todo momento por la legislación vigente de la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua, de acuerdo con el libro VI, anexo 1 del literal 4.3 página 9 elaborado por el MAE1 en Junio del 2005.

De manera ilustrativa, se presentan los valores requeridos en la citada legislación:

Tabla 13.

Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	250
Sólidos Suspendidos totales	SST	mg/l	100
Potencial de hidrógeno	pH		6-9.

Los valores de DBO y SST no se medirán en el proyecto, la DBO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO<sub>2</sub>/l). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como D.B.O<sub>5</sub>. Pero los estudios realizados en Jalisco nos muestran que en el tratamiento tendremos una reducción de SST (50 - 60) % y DBO<sub>5</sub> (70-90) %. (Marin Ocampo & Osés Pérez, 2013)

### 3.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE RECEPCIÓN

Para el diseño del tanque de recepción, se lo realiza con el valor del caudal medio ( $Q_{med}$ ) por lo tanto:

$$Q_{med}: 0.133 \frac{m^3}{h} \text{ de:}$$

$$T_r = 0.5 \text{ h}$$

$$V_{tanque} (m^3) = Q_{med} \left( \frac{m^3}{h} \right) * T_r (h) \quad \text{Ec.( 3. 5)}$$

Nuestra planta, tendrá un tiempo de retención en el tanque de recepción  $V_{tanque} (m^3) = 0.133 \left( \frac{m^3}{h} \right) * 0.5 (h) = 0.0665$

El volumen en litros es de 66.5 litros de fluido, se aumenta un factor de seguridad del 10 % para un caudal de rebose teniendo en cuenta el criterio que nos dan las normas técnicas de ANDA (N.T.A) en el capítulo 1, numeral 15 quedando el volumen final del tanque de 73.15 L  $\approx$  73 L.

La altura de este depósito será de 0.4 m, por lo tanto su superficie:

$$S(m^2) = \frac{V_{tanque} (m^3)}{h(m)} \quad \text{Ec.( 3. 6)}$$

$$S(m^2) = \frac{0.075 (m^3)}{0.4 (m)} = 0.1875$$

El valor del ancho asumimos 0.35 m, será un tanque receptor de sección rectangular por lo tanto concluimos con las siguientes dimensiones:

Tabla 14.

## Dimensiones del tanque de recepción

<b>Tanque de recepción</b>	
ancho [m]	0,35
profundidad [m]	0,515
altura [m]	0,4
V. tanque [m <sup>3</sup> ]	0,072
V. tanque [L]	72

- **Selección de material:**

Para la selección de los materiales, se realizó una toma de decisión ponderando los materiales existentes en el mercado y con similares características para satisfacer los criterios de diseño de la planta y así compararlos y decidir con cuál de estos trabajar y fabricar la mayor parte de los elementos constitutivos del sistema mecánico.

Tabla 15.

## Calificación de propiedades del acero ASTM – A36

<b>Material</b>	<b>Acero ASTM - A36</b>			
<b>Ítem</b>	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
<b>1</b>	Resistencia Mecánica	8	10	80
<b>2</b>	Soldabilidad	9	10	90
<b>3</b>	Duro	10	5	50
<b>4</b>	Económico	10	8	80
<b>5</b>	Corrosión	8	10	80
<b>6</b>	Oxidación	8	9	72
<b>7</b>	Disponibilidad	10	10	100
<b>8</b>	Aspecto Estético	5	5	25
<b>9</b>	Ligero	6	6	36
			<b>Total</b>	<b>613</b>
	Promedio factor PRI		8.4	
	Puntuación máxima		730	
	Puntaje porcentual		83.97	

Tabla 16.

## Calificación de propiedades del acero inoxidable 304

Material	Acero inoxidable 304			
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	9	10	90
2	Soldabilidad	6	10	60
3	Duro	10	5	50
4	Económico	4	8	32
5	Corrosión	8	10	80
6	Oxidación	10	9	90
7	Disponibilidad	9	10	90
8	Aspecto Estético	10	4	40
9	Ligero	6	6	36
			<b>Total</b>	<b>568</b>
	Promedio factor PRI		8.4	
	Puntuación máxima		730	
	Puntaje porcentual		77.81	

Tabla 17.

## Calificación de propiedades del acero Naval ASTM - A131

Material	Acero Naval ASTM - A131			
Ítem	Parámetros	Calificación (1-10)	Prioridad (1-10)	Total
1	Resistencia Mecánica	7	10	70
2	Soldabilidad	8	10	80
3	Duro	10	5	50
4	Económico	5	8	40
5	Corrosión	9	10	90
6	Oxidación	9	9	81
7	Disponibilidad	5	10	50
8	Aspecto Estético	5	4	20
9	Ligero	6	6	36
			<b>Total</b>	<b>517</b>
	Promedio factor PRI		8.4	
	Puntuación máxima		730	
	Puntaje porcentual		70.82	

Como se observa en las tablas comparativas de estos materiales, el mejor material ponderado es el acero ASTM – A36, por ser un material con buena resistencia mecánica y fácil de soldar, disponible en el mercado y relativamente más económico para evitar la corrosión tendrá un tratamiento con pintura.



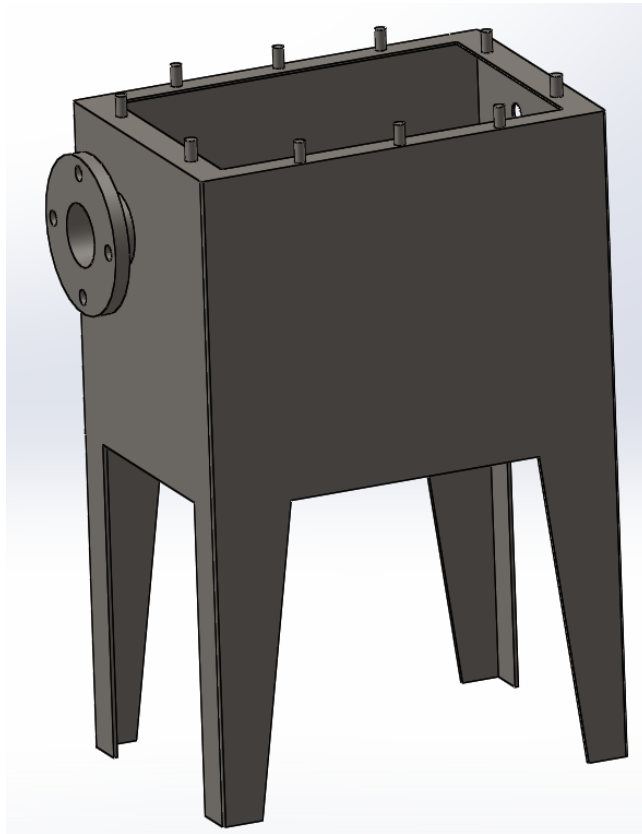


Figura 24. Tanque de tratamiento de aguas residuales.

### **Pinturas para Superficies Metálicas**

Una de las formas usuales de protección de las superficies metálicas, es la pintura.

### **Evitar Corrosión.**

Por lo general las pinturas actúan formando una barrera protectora contra la acción del oxígeno y otros elementos agresivos que provocan reacciones sobre el hierro formando óxido.

### **Tratamiento y Empleo de la Pintura**

#### **Preparación Previa de la Superficie**

Cualquiera sea la protección superficial contra la corrosión, no cumplirá su cometido si la preparación superficial no se hace correctamente y de acuerdo al sistema empleado.

Antes de pintar, debe darse sobre las superficies un chorro de arena al grado 2 y 1/2, este grado corresponde a especificaciones de la Norma Internacional ISO 8501.

### **Elección de la Pintura Correcta**

Según sea el fabricante, puede haber diferencias entre calidades y precios sobre un mismo producto; por ello es conveniente adquirir productos de empresas de calidad reconocida, que además, asesoran al comitente sobre las mejores soluciones en casos particulares.

### **Procedimiento por Capas**

La protección usualmente empleada, con un espesor total entre 150 y 200 micras, es la que se realiza en tres capas:

- Primera capa de imprimación.
- Segunda capa intermedia.
- Tercera capa de acabado.

### **Sistemas de Pintura**

Los sistemas de pintura deben ser homogéneos o por lo menos compatibles entre sí. Conviene que todas las capas de pintura provengan del mismo fabricante para garantizar perfecta adherencia y compatibilidad entre capas.

Se recomienda que el aplicador que dé el tratamiento superficial inicial sea el mismo que aplique las capas posteriores, ya que la falta de adherencia entre capas puede atribuirse a una ejecución deficiente o incorrecta de cada fase.

Las pinturas más empleadas sobre estructuras metálicas son:

- Sistemas a base de Clorocauchos: con imprimación de clorocaucho-fosfato de zinc, la capa intermedia de clorocaucho y el acabado con esmalte de clorocaucho.
- Sistemas Epoxi: con imprimación de epoxi-zinc, epoxi poliamida ó epoxi de aluminio laminar; una capa intermedia y el acabado con esmalte epoxi.
- Sistemas Monocapa: estos sistemas bajan los costes de mano de obra. Los sistemas monocapa se hacen en base a productos de poliuretano y alquitranes epoxi; la ventaja es que en una sola aplicación se logran espesores

entre 1 y 3 mm, estableciendo una gran diferencia con las 300 micras ( 0,3 mm ) de los sistemas de pinturas tradicionales. (Construmática, 2015)

- **Dimensionamiento del espesor:**

Se procede a calcular la presión media, esto servirá para asumir una presión uniformemente distribuida en toda la placa, por lo tanto:

$$w = P_{\text{media}} = \rho_w * g * h_1 \quad \text{Ec.( 3. 7)}$$

Donde:

$P_{\text{media}} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$  : Presión media en el punto medio de la placa y es el valor a calcular.

$\rho_w \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ : Es la densidad del agua residual.

$g$ : Es la aceleración de la gravedad,  $9.81 \text{m/s}^2$ .

$h_1$ : Es la altura media de la placa a ser analizada, su valor corresponde a 0.4 m.

$$w = 1000 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * 0.4(\text{m}) = 3.92 \text{ Kpa}$$

Una vez determinada la carga distribuida en la pared de la placa se diseñará el espesor de la placa, por lo tanto se incurrirá a la teoría de placas con bordes simplemente apoyados del texto Resistencia de materiales por Fred b. Seely, el cual sugiere un espesor promedio.

De la cual el esfuerzo máximo en la placa se halla en sus ejes diagonales (área crítica), se lo determina por la fórmula:

$$s = \frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * w * \frac{b^2}{t^2} \quad \text{Ec.( 3. 8)}$$

Donde:

(s): Es el esfuerzo de trabajo realizado en la placa, debe ser menor que el esfuerzo de diseño sugerido. Por lo tanto el material de fondo de las paredes se ha especificado como ASTM A-36, de acuerdo a las normas API-Standar (American Petroleum Institute) se especifica como datos de diseño para el acero ASTM-A36:

Tabla 18. Normas API-Estándar Acero ASTM-A36

<b>Normas API-Estándar Acero ASTM-A36</b>		
Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Esfuerzo de último (Mpa)	Esfuerzo de diseño (Mpa)
250	400	160

$$t(m) = \sqrt{\frac{1}{2} * \frac{[0.5(m)]^2}{[0.5(m)]^2 + [0.37(m)]^2} * 3.92 \text{ (Kpa)} * \frac{[0.37(m)]^2}{160 * 10^3 \text{ (Kpa)}}} = 0.0014$$

t(m): Es el espesor de la placa, se procederá a calcular el espesor mínimo con el esfuerzo de diseño.

w(Kpa): Es la carga distribuida por unida de área.

a(m): El lado mayor de la placa.

b(m): El lado menor de la placa

Por lo tanto el espesor mínimo, es de 1 mm, según la norma INEN 115-JIS G 3141 SPCC SD - EN 10030 nacional para planchas delgadas laminadas al frio en el mercado encontramos planchas de 3 mm estándar, para facilidad de adquisición se toma este espesor para la elaboración del tanque. (IPAC, 2015)

$$t(m) = 3\text{mm}$$

- **Análisis estático de la estructura**

Según el criterio de estados límite de falla, las estructuras deben dimensionarse de manera que la resistencia de diseño de toda sección, con respecto a cada fuerza o momento interno que en ella actúe (fuerza axial, fuerza cortante, momento flexionante, momento de torsión) o a la combinación de dos o más de ellos, sea igual o mayor que el o los valores de diseño de dicha fuerza o momentos internos. Las resistencias de diseño deben incluir el factor de reducción (FR) correspondiente. Las fuerzas y momentos internos de diseño se obtienen, en general, multiplicando por el factor de carga (FC) correspondiente los valores de las fuerzas y momentos internos calculados bajo acciones nominales.

Se va a calcular la fuerza que soporta la estructura del tanque de recepción más el peso del tanque,

Presión media = 3.9 KPa.

Área = 0.185 m<sup>2</sup>.

La Fuerza en el fondo del tanque:

$$F = P_{\text{media}} * A_{\text{tanque\_recepcción}} \quad \text{Ec. ( 3. 9)}$$

$$F = 3928 \text{ (Pa)} * 0.185 \text{ (m}^2\text{)} = 725.2 \text{ N}$$

El peso del tanque, donde la masa es 25.8 kg, por la gravedad, tenemos:

$$P_{\text{peso\_tanque}} = m * g = 25.8 \text{ (Kg)} * 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$P_{\text{peso\_tanque}} = 279.5 \text{ N}$$

Hacemos  $\sum F_y = 0$  :

$$4 * F_{\text{soporte}} - P_{\text{peso\_tanque}} - F = 0$$

Reemplazando tenemos:

$$F_{\text{soporte}} = 251.2 \text{ N}$$

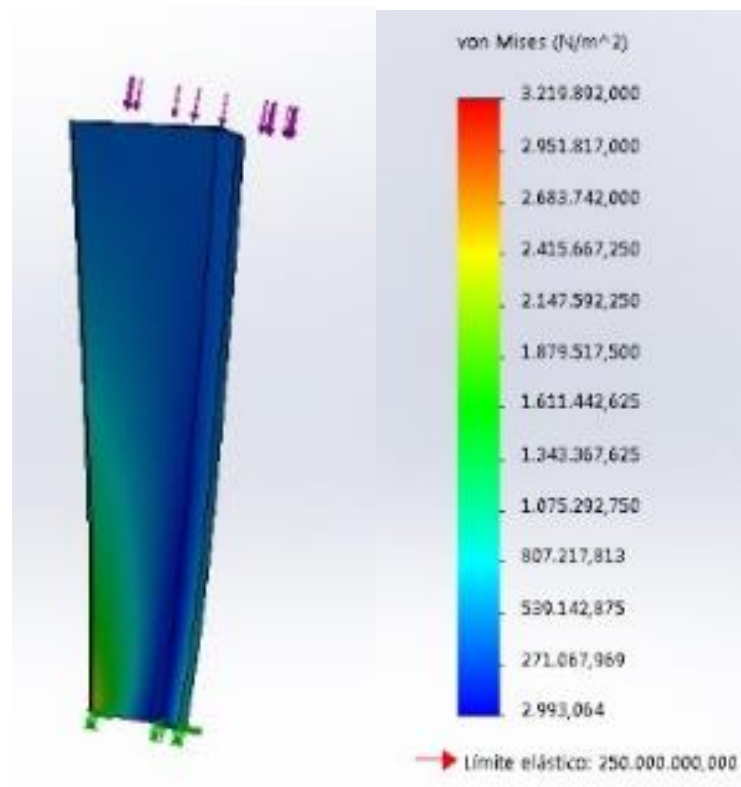


Figura 25. Esquema del soporte estructural del tanque.

Calculamos el esfuerzo máximo en el soporte vertical que presenta las condiciones de esfuerzo más desfavorables.

$$\sigma_{\max} = \frac{S_x}{A} + M_x + M_y \leq \sigma_{\text{ADM}}$$

Esfuerzo admisible:

$$\sigma_{\text{ADM}} = \frac{\sigma_E}{\gamma_{se}}$$

Donde:

$\sigma_E$  = esfuerzo máximo de fluencia

$\gamma_{se}$  = factor de seguridad

$$\sigma_{\text{ADM}} = \frac{2549.25 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1.5}$$

$$\sigma_{\text{ADM}} = 1699.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{ADM}} = 166.67 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{251.2 \text{ N}}{725 \text{ mm}^2} + 1.502 \text{MPa} + 21.5 \text{MPa} \leq \sigma_{\text{ADM}}$$

$$\sigma_{\max} = 23.348 \text{MPa} \leq 166.67 \text{MPa}$$

### 3.2.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS REJILLAS

Las rejillas consisten básicamente en una matriz de agujeros en una sección rectangular separadas uniformemente entre ellas, de tal forma que el agua residual pase a través de ella, quedando retenidos todos los sólidos presentes, con un tamaño superior a los agujeros de la rejilla.

El ángulo de inclinación es establecido en función de las condiciones locales, generalmente forman un ángulo de 60 a 90 grados con la horizontal (más frecuentemente 75 °) con el objeto de realizar el trabajo de limpieza adecuada desde la plataforma.

Según el “El manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” emitida por la Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales de Coyoacán, México D.F se considera: Para retener partículas más finas (desde 1.6 a 3 mm), se usan mallas.

Según las especificaciones del tamaño de partículas a sedimentar es decir menores a 3 mm se procede a diseñar una malla en un material ASTM-A36 con tratamiento superficial.

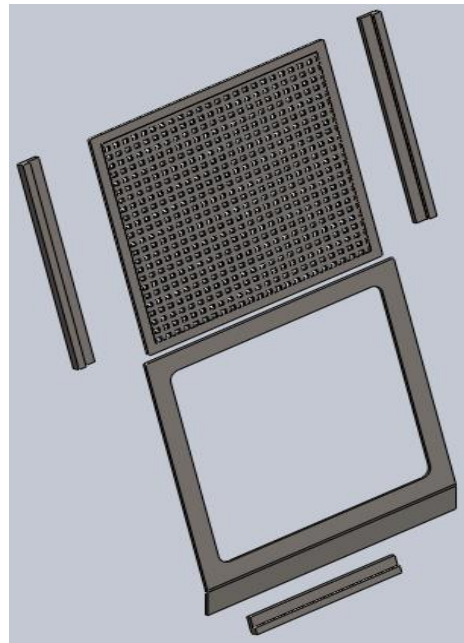


Figura 26. Configuración del sistema de rejilla

### 3.2.5 DIMENSIONAMIENTO DE SEDIMENTADORES

En el diseño del sedimentador se basa en la diferencia de densidad entre la partícula sólida a separar y el agua, lo que permite que la materia sedimentable se deposite en el fondo del equipo. La velocidad de caída se calcula a partir de la ley de Stokes, aunque se debe tener en cuenta:

- El peso específico de todas las partículas no es el mismo al tratarse de sólidos de diferente composición.
- El tamaño y forma geométrica de las partículas es diferente de unas a otras.
- Establecernos un valor de velocidad de caída y proceder al dimensionamiento del tanque, por lo tanto se decantará toda partícula que posea una velocidad de decantación superior a la velocidad ascensional.

Los factores a tener en cuenta en el diseño son los siguientes:

- Caudal máximo y medio de alimentación a la unidad
- Carga hidráulica  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * \text{h}\right)$

- Tiempo de retención del agua a tratar (h).
- Carga sobre el vertedero  $\left(\frac{m^3}{m} * h\right)$ .

Cada uno de estos parámetros hay que determinarlos experimentalmente, mediante ensayos o bien recurrir a datos bibliográficos.

Tabla 19.

Parámetros de diseño del sedimentador

PARÁMETROS	VALORES	
	$Q_{m\acute{a}x}$	$Q_{med}$
Tiempo de retención $T_r$ (h)	1,5	2
Carga hidráulica $CH \left(\frac{m}{h}\right)$	2,5	1,5

Con el propósito de obtener un mayor porcentaje de sedimentación de partículas, se va a diseñar, 6 tanques en serie, lo que permite disminuir el tiempo de retención a un tercio de los valores establecidos es decir se dimensionará con  $T_r$  de 0.5 de hora. Además se va a establecer el caudal medio ( $Q_{med}$ ) como valor de caudal máximo ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) del sistema, para disminuir el número de Reynolds ( $Re$ ). Cuando  $Re < 2000$ , cualquier turbulencia que se origine decae, y lo hace tanto más rápido cuando menor sea  $Re$ . Por el contrario, cuando  $Re > 2000$ , cualquier turbulencia que se produzca ya no decae y las partículas no sedimentan.

$$V(m^3) = Q_{m\acute{a}x} \left(\frac{m^3}{h}\right) * T_r (h) \quad Ec.( 3.10)$$

$$V(m^3) = 0.133 \left(\frac{m^3}{h}\right) * 0.5(h) = 0.0665$$

Debido que existen 3 tanques sedimentadores dividimos el volumen para 3, por lo tanto tenemos en litros 22.16, posterior se va a añadir un 20% más de volumen, es decir 26.59 litros redondeando a 27 litros.

Cálculo del área del sedimentador en función de la carga hidráulica.

$$S_k(m^2) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h}\right)}{CH \left(\frac{m}{h}\right)} \quad Ec.( 3.11)$$



$$s_k(\text{m}^2) = \frac{0.133 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{1.5 \left(\frac{\text{m}}{\text{h}}\right)} = 0.088$$

Dividimos para el número de sedimentadores, por lo tanto  $s_k(\text{mm}^2)$  de 295 es área mínima de diseño que debe poseer los sedimentadores. Entonces para una altura de 500 mm, se ha dimensionado un sedimentador rectangular con las siguientes dimensiones.

Tabla 20.

Dimensiones del tanque sedimentador

<b>Tanque de decantación</b>	
ancho [m]	0,235
profundidad [m]	0,235
altura [m]	0,5
V. tanque [m3]	0,028
V. tanque [L]	27,6

- **Selección de material y dimensionamiento del espesor :**

Los tanques sedimentadores se realizarán con el mismo material acero ASTM-A36, y tendrán el mismo espesor, de 3mm.

### 3.2.6 DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS

Para llevar a cabo el diseño de las tuberías que componen las distintas líneas de proceso se dividirán estas en tramos, cada uno de los cuales estará formado por la porción de línea comprendida entre dos equipos consecutivos. De esta forma los diferentes aspectos a calcular (diámetro óptimo de la conducción, pérdidas de carga, etc.)

- **Línea 1:** Sistema de entrada de las aguas residuales al tanque de recepción, se utilizará una brida de desagüe de 3'' de diámetro para movilizar un  $Q_{med} = 0.133 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$ .

La selección de la brida se realizara según el siguiente catalogo:

Características										
Bridas ANSI 150 lb. RF-SO										
Pulgadas	D	b	g	m	J	h	k	Taladros	l	kg
1/2"	88,9	11,1	34,9	30,2	22,3	15,9	60,3	4	15,9	0,400
3/4"	98,4	12,7	42,9	38,1	27,7	15,9	69,8	4	15,9	0,700
1"	107,9	14,3	50,8	49,2	34,5	17,5	79,4	4	15,9	0,800
1 1/4"	117,5	15,9	63,5	58,8	43,2	20,6	88,9	4	15,9	1,100
1 1/2"	127,0	17,5	73,0	65,1	49,5	22,2	98,4	4	15,9	1,400
2"	152,4	19,0	92,1	77,8	62,0	25,4	120,6	4	19,0	2,200
2 1/2"	177,8	22,2	104,8	90,5	74,7	28,6	139,7	4	19,0	3,600
3"	190,5	23,8	127,0	107,9	90,7	30,2	152,4	4	19,0	4,100
3 1/2"	215,9	23,8	139,7	122,2	103,4	31,7	177,8	8	19,0	5,200
4"	228,6	23,8	157,2	134,9	116,1	33,3	190,5	8	19,0	5,600
5"	254,0	23,8	185,7	163,5	143,8	36,5	215,9	8	22,2	6,300
6"	279,4	25,4	215,9	192,1	170,7	39,7	241,3	8	22,2	7,500
8"	342,9	28,6	269,9	246,1	221,5	44,4	298,4	8	22,2	12,600
10"	406,4	30,2	323,8	304,8	276,3	49,2	361,9	12	25,4	18,500
12"	482,6	31,7	381,0	365,1	327,1	55,6	431,8	12	25,5	28,000
14"	533,4	34,9	412,7	400,0	359,1	57,1	476,2	12	28,6	36,000
16"	596,9	36,5	469,9	457,2	410,5	63,5	539,7	16	28,6	46,000
18"	635,0	39,7	533,4	504,8	461,8	68,3	577,8	16	31,7	50,000
20"	698,5	42,9	584,2	558,8	513,1	73,0	635,0	20	31,7	64,000
22"	749,3	46,0	641,2	609,6	564,4	79,4	692,1	20	34,9	72,000
24"	812,8	47,6	692,1	663,6	615,9	82,5	749,3	20	34,9	89,000

Figura 27 Características de las bridas planas ANSI 150lb

(Cortina, 2010)

• **Línea 2:** Sistema de succión y descarga del tanque de recepción a los sedimentadores, se utilizará una tubería PVC de desagüe de 1 1/2" de diámetro.

Para calcular la velocidad del fluido a través de la línea 2, a caudal  $Q = 0.00004 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$ , en una tubería de 1 1/2" de diámetro.

$$Q = V * A \quad \text{Ec. ( 3. 12)}$$

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{40.00 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)}{\pi * \frac{3.81^2}{4} (\text{cm}^2)} = 0.035 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obtenemos la presión mediante la fórmula de la norma ISO expresada a continuación:

$$\frac{25}{P} = \frac{D}{t} - 1$$

D= Diámetro exterior

t= Espesor de la pared del tubo.

P= Presión hidrostática permitida

$$P = 2.06 \frac{kg}{cm^2}$$

• **Línea 3:** Sistema de ventilación de salida de gases, se utilizará una tubería PVC de desagüe de  $\frac{3''}{4}$  de diámetro.

Para calcular la velocidad del fluido a través de la línea 2, a caudal  $Q = 0.00004 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$ , en una tubería de  $\frac{3''}{4}$  de diámetro.

$$Q = V * A \quad \text{Ec.( 3. 13)}$$

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{40.00 \left( \frac{cm^3}{s} \right)}{\pi * \frac{1.905^2}{4} (cm^2)} = 0.14 \frac{m}{s}$$

Obtenemos la presión mediante la fórmula de la norma ISO expresada a continuación:

$$\frac{25}{P} = \frac{D}{t} - 1$$

D= Diámetro exterior

t= Espesor de la pared del tubo.

P= Presión hidrostática permitida

$$P = 3.01 \frac{kg}{cm^2}$$

• **Línea 4:** Sistema de retrolavado con agua salada, se utilizará una tubería PVC de desagüe de  $\frac{1}{2}''$  de diámetro.

Para calcular la velocidad del fluido a través de la línea 2, a caudal  $Q = 0.00004 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$ , en una tubería de  $\frac{1''}{2}$  de diámetro.

$$Q = V * A \quad \text{Ec.( 3. 14)}$$

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{40.00 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)}{\pi * \frac{1.27^2}{4} (\text{cm}^2)} = 0.3157 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obtenemos la presión mediante la fórmula de la norma ISO expresada a continuación:

$$\frac{25}{P} = \frac{D}{t} - 1$$

D= Diámetro exterior

T= Espesor de la pared del tubo.

P= Presión hidrostática permitida

$$P = 3.73 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

• **Línea 5:** Sistema de desagüe del efluente tratado, se utilizará una tubería PVC de desagüe de 3/4" de diámetro.

Para calcular la velocidad del fluido a través de la línea 2, a caudal  $Q = 0.00004 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$ , en una tubería de  $1 \frac{1}{2}$ " de diámetro.

$$Q = V * A \quad \text{Ec.(3. 15)}$$

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{40.00 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)}{\pi * \frac{1.9^2}{4} (\text{cm}^2)} = 0.141 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Obtenemos la presión mediante la fórmula de la norma ISO expresada a continuación:

$$\frac{25}{P} = \frac{D}{t} - 1$$

D= Diámetro exterior

t= Espesor de la pared del tubo.

P= Presión hidrostática permitida

$$P = 3.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

En el siguiente catalogo tenemos las tuberías que cumplen con las características previamente determinadas.

PVC CEDULA 40 (BLANCO)		EXTREMOS LISOS		PVC 1120	ASTM D 1785	
PARTE NO.	MEDIDA NOMINAL	UPC # 611942-	DIAMETRO EXTERIOR PROM. (PULG.-MM)	PARED MIN. (PULG.-MM)	PRESIÓN MAX. DE TRABAJO A 73°F-23°C	PESO POR 100 PIES (30.48 MTS) -LIBRAS (K.G.S)
PVC 4005	1/2" x 10' 13mm x 3.05mt	06658	0.840 21.340	0.109 2.770	600 PSI 42 Kg/cm <sup>2</sup>	15.9 7.2
PVC 4005	1/2" x 20' 13mm x 6.10mt	03922	0.840 21.340	0.109 2.770	600 PSI 42 Kg/cm <sup>2</sup>	15.9 7.2
PVC 4007	3/4" x 10' 19mm x 3.05mt	06661	1.050 26.670	0.113 2.870	480 PSI 34 Kg/cm <sup>2</sup>	21.1 9.6
PVC 4007	3/4" x 20' 19mm x 6.10mt	03925	1.050 26.670	0.113 2.870	480 PSI 34 Kg/cm <sup>2</sup>	21.1 9.6
PVC 4010	1" x 10' 25mm x 3.05mt	06664	1.315 33.400	0.133 3.380	450 PSI 32 Kg/cm <sup>2</sup>	31.3 14.2
PVC 4010	1" x 20' 25mm x 6.10mt	03928	1.315 33.400	0.133 3.380	450 PSI 32 Kg/cm <sup>2</sup>	31.3 14.2
PVC 7100*	1 1/4" x 10' 32mm x 3.05mt	03945	1.660 42.160	0.140 3.560	370 PSI 26 Kg/cm <sup>2</sup>	42.4 19.2
PVC 7100*	1 1/4" x 20' 32mm x 6.10mt	03946	1.660 42.160	0.140 3.560	370 PSI 26 Kg/cm <sup>2</sup>	42.4 19.2
PVC 7112*	1 1/2" x 10' 38mm x 3.05mt	03947	1.900 48.260	0.145 3.680	330 PSI 23 Kg/cm <sup>2</sup>	50.7 23.0
PVC 7112*	1 1/2" x 20' 38mm x 6.10mt	03948	1.900 48.260	0.145 3.680	330 PSI 23 Kg/cm <sup>2</sup>	50.7 23.0
PVC 7200*	2" x 10' 50mm x 3.05mt	03949	2.375 60.330	0.154 3.910	280 PSI 20 Kg/cm <sup>2</sup>	68.1 30.9
PVC 7200*	2" x 20' 50mm x 6.10mt	03950	2.375 60.330	0.154 3.910	280 PSI 20 Kg/cm <sup>2</sup>	68.1 30.9
PVC 4025‡	2 1/2" x 20' 64mm x 6.10mt	04205	2.875 73.030	0.203 5.160	300 PSI 21 Kg/cm <sup>2</sup>	108.0 49.0
PVC 7300*	3" x 10' 75mm x 3.05mt	03951	3.500 88.900	0.216 5.490	260 PSI 18 Kg/cm <sup>2</sup>	141.2 64.1

Figura 28. Características técnicas de tuberías PVC  
(CHARLOTTE, PIPE AND FOUNDRY COMPANY, 2015)

### 3.2.7 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE BOMBAS

- **Bomba Maceradora.**

Tabla 21. Características técnicas bomba macerador WASTE KING 8000

WASTE KING 8000	
Potencia del motor	1 HP
Velocidad del motor	2800 rpm
Voltaje	115V ,60 HZ
Corriente	7.0 A



Figura 29. Bomba macerador WASTE KING 8000  
(KING, 2015)

- **Bomba de Succión:** Para el dimensionamiento de la bomba se considera las pérdidas en los accesorios (2 válvulas globo), 6 codos de 90°, y la tubería de la línea de succión y descarga.

**Ejemplo de cálculo:**

Se utiliza la superficie de los depósitos como puntos de referencia y se tiene:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec.( 3.16)}$$

Como  $p_1 = p_2 = 0$ ,  $v_1$  y  $v_2$  son aproximadamente igual a cero la ecuación se simplifica y queda así:

$$z_1 + h_A - h_L = z_2$$

Debido a que el objetivo es calcular la potencia que se suministra a la bomba ahora se resuelve para la carga total  $h_A$ . Hay 6 componentes de la pérdida total de energía, las cuales se denota con el subíndice (s) en la línea de succión y (d) indica la línea de descarga:

Para calcular la velocidad del fluido a través de la línea (1), a caudal  $Q = 1200 \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right]$ , en una tubería de  $1 \frac{1}{2}$ " de diámetro.

$$Q = V * A \quad \text{Ec.( 3. 17)}$$

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{1200 \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)}{\pi * \frac{3.81^2}{4} (\text{cm}^2)} = 0.1053 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Pérdida en la entrada:**

Para una entrada de bordes cuadrados,  $K=0.5$

$$h_1 = K * \left( \frac{v_s^2}{2g} \right) \quad \text{Ec.( 3. 18)}$$

$$h_1 = 0.5 * \left[ \frac{0.1053^2 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}{2 * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right] = 2.82 * 10^{-4} (\text{m})$$

- **Pérdida por fricción en la línea de succión:**

Para el factor de fricción en tuberías se debe determinar si el flujo es laminar o turbulento, por ello es necesario determinar el número de Reynolds “ $N_R$ ”.

- $\vartheta$ , Velocidad del fluido :  $105.26 \left[ \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$ .
- $D$ , Diámetro de la tubería :  $1 \frac{1}{2} (3.81) [\text{pulg (m)}]$ .
- $\rho$ , Densidad del fluido :  $1000 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$
- $n$ , Viscosidad dinámica:  $1 * 10^{-3} [\text{Pa. s}]$ .

$$N_R = \vartheta * D * \frac{\rho}{n} \quad \text{Ec.( 3. 19)}$$

$$N_R = 0.1053 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * 0.0381 (\text{m}) * \frac{1000 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{1 * 10^{-3} (\text{Pa. s})} = 4 * 10^3$$

Del diagrama de Moody, para números menores de 2000 muestra la relación  $f = \frac{64}{N_R}$  para flujo laminar, para  $2000 < N_R < 4000$  no hay curvas, debido a que esta es la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir cuál de ellos ocurrirá. Más allá de  $N_R = 4000$ , se grafica la familia de curvas para distintos valores de  $\frac{D}{\epsilon}$  (Mott L., 2006).

Por lo tanto:

$$D = \frac{3}{2} \text{''}, \text{ diámetro de la tubería de succión [pulg]}$$

$e: 1 * 10^{-6}$ , rugosidad de las paredes de la tubería PVC

$$\frac{D}{e} = \frac{\frac{3}{2} * 0.0254 (m)}{1 * 10^{-6}} = 3.81 * 10^4$$

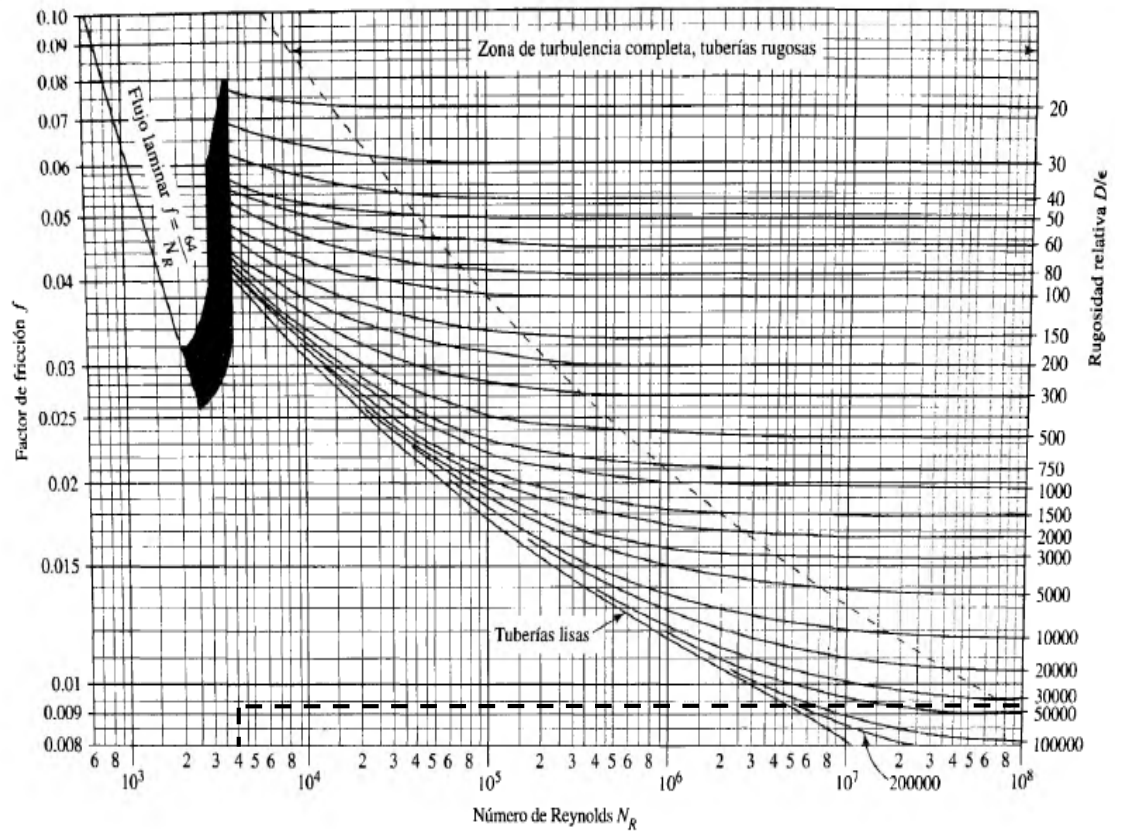


Figura 30. Diagrama de Moody.

(Mott L., 2006)

Por lo tanto:

$$f = 0.0095$$

- $L$ , longitud de la tubería de succión de la línea 1:0.49 [m]

$$h_2 = f_s * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v_s^2}{2g}\right) \quad \text{Ec.(3. 20)}$$



$$h_2 = 0.0094 * \frac{0.49 \text{ (m)}}{0.038 \text{ (m)}} * \left[ \frac{0.1053^2 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}{2 * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right] = 6.85 * 10^{-5} \text{ [m]}$$

**Pérdidas en 2 válvulas de globo:**

La razón de longitud equivalente  $\frac{L_e}{D}$  para una válvula de globo abierto por completo es 340 y el factor  $f_{dT} = 0.019$  del libro de Mecánica de Fluidos de Robert Mott, además debido a que el diámetro de la tubería de succión es igual a la tubería de descarga de la línea 1 entonces:

$$h_3 = f_{dT} * \left( \frac{L_e}{D} \right) * \left( \frac{v_d^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. ( 3. 21)}$$

$$h_3 = 2 * 0.019 * (340) * \left[ \frac{0.1053^2 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}{2 * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right] = 0.0073 \text{ (m)}$$

• **6 codos a 90°:**

La razón de longitud equivalente  $\frac{L_e}{D}$  para un codo a 90 es 30 y el factor  $f_{dT} = 0.019$  del libro de Mecánica de Fluidos de Robert Mott,

$$h_4 = f_{dT} * \left( \frac{L_e}{D} \right) * \left( \frac{v_d^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. ( 3. 22)}$$

$$h_4 = 6 * 0.019 * (30) * \left[ \frac{0.1053^2 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}{2 * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right] = 0.00193 \text{ (m).}$$

• **Pérdida por fricción en la línea de descarga:**

- L, longitud de la tubería de descarga de la línea 1: 0.602 [m].
- El factor de fricción  $f_d = 0.0518$  y diámetro  $\emptyset$ : 0.039 [m].

$$h_5 = f_d * \left( \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{v_d^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. ( 3.23)}$$

$$h_5 = 0.0518 * \left( \frac{0.602 \text{ m}}{0.039} \right) * \left[ \frac{0.1053^2 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}{2 * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right] = 4.518 * 10^{-4} \text{ (m)}$$

- **Pérdida en la salida:**

$$h_6 = 1 * \left( \frac{v_d^2}{2g} \right) \quad \text{Ec.( 3. 6)}$$

$$h_6 = \left[ \frac{0.1053^2 \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)}{2 * 9.81 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right] = 5.65 * 10^{-4} \text{ (m)}$$

Con esto terminamos el cálculo de las pérdidas individuales de energía debido a la energía potencial que se genera cuando tenemos diferencias de alturas. Ahora es posible determinar la pérdida total  $h_L$ .

$$h_L = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 = 0.01(\text{m})$$

Podemos observar que las pérdidas menores no son tan significantes debido al valor del caudal es pequeño.

De la ecuación de la energía, la expresión para la carga total sobre la bomba es:

$$h_A = z_2 - z_1 + h_L = 0,308(\text{m}) + 0.01(\text{m}) = 0.318 \text{ (m)}$$

Ahora se va a calcular la potencia suministrada a la bomba,  $P_A$ , considerando las eficiencias mecánicas  $e_M$ : 90 % y volumétricas  $e_V = 0.74$  %.

$$\text{Potencia} = \frac{h_A * \gamma * Q}{e_M * e_V} \quad \text{Ec.( 3. 25)}$$

$$\text{Potencia} = \frac{30(\text{m}) * 9.8 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * 1000 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * 0.0012 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{0.9 * 0.76}$$

$$\text{Potencia} = 515.79 \text{ [watt]}$$

EL valor calculado lo aproximaremos a los valores estándar que existen en el mercado esto es 1 HP

Por lo tanto se seleccionara la bomba del siguiente catalogo que cumple con los requerimientos.

Tabla 22.

Características técnicas de bomba centrífuga de aspiración en el extremo.

<b>Bomba Modelo CDU*, CDX</b>	
Tamaño de la aspiración :	de 1 1/4" a 1 1/2"
Tamaño de la descarga :	1"
Rango de potencia:	hasta 3 HP
Caudal:	hasta 95 GPM
Altura de elevación:	hasta 144 pies
Líquido:	Agua Limpia y Residual



Figura 31. Bomba centrífuga MODELO CDU\*,CDX.

(EBARA, 2011)

- **Bomba de Retrolavado**

La bomba de retrolavado permite enviar agua salada al tanque de tratamiento en una cantidad del 30% de su volumen como una estrategia para empezar a eliminar microorganismos.

Para dimensionar la bomba de retrolavado se debe tener en cuenta que se requiere un 30% de agua total del tanque de 72 litros para el proceso de purificación y limpieza de rejilla interna esto es un volumen de 21.6 l litros

$$V = 21.61 \text{ l (volumen de agua salada)}$$

$$t = 1 \text{ min (tiempo de succión)}$$

$$h_A = 10 \text{ m (altura de succión)}$$

Primero calculamos el caudal Q

$$Q = \frac{V}{s}$$

$$Q = \frac{21.61 \text{ l}}{60 \text{ s}}$$

$$Q = 0.36 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

El caudal calculado se succionará unas 10 veces al día.

En la siguiente expresión se calcula la potencia de la bomba:

$$\text{Potencia} = \frac{h_A * \gamma * kQ}{e_M * e_V} \quad \text{Ec. ( 3. 26)}$$

$$\text{Potencia} = \frac{10(\text{m}) * 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 0.00036 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{0.9 * 0.76}$$

$$\text{Potencia} = 417.98 \text{ [watt]}$$

Se despreciara las perdidas ya que son mínimas.

EL valor calculado lo aproximaremos a los valores estándar que existen en el mercado esto es ½ HP

Por lo tanto se seleccionara la bomba del siguiente catalogo que cumple con los requerimientos.

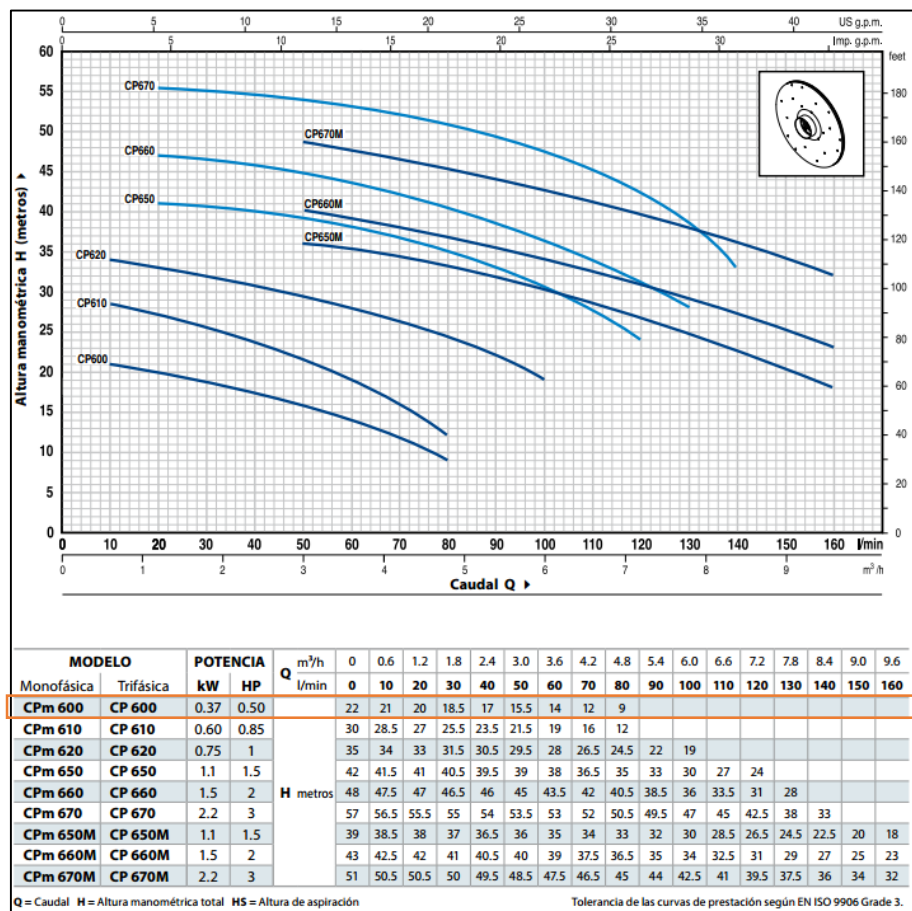


Figura 32. Datos del catalogo y curvas de H vs Q.

(PEDROLLO, 2015)

- **Bomba de Retroalimentación**

Para dimensionar la bomba de retroalimentación tenemos los siguientes parámetros a considerar:

$$V = 37.9 \text{ l (volumen del tanque de verificación)}$$

$$t = 1 \text{ min (tiempo de succión)}$$

$$h_A = 3 \text{ m (altura de succión)}$$

Primero calculamos el caudal  $Q$

$$Q = \frac{V}{s}$$

$$Q = \frac{37.9 \text{ l}}{60 \text{ s}}$$

$$Q = 0.63 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

El caudal calculado se realizara succionará unas 10 veces al día.

En la siguiente expresión se calcula la potencia de la bomba:

$$\text{Potencia} = \frac{h_A * \gamma * Q}{e_M * e_V} \quad \text{Ec.( 3. 27)}$$

$$\text{Potencia} = \frac{3(\text{m}) * 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 0.00063 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{0.9 * 0.76}$$

$$\text{Potencia} = 270.7 \text{ [watt]}$$

EL valor calculado lo aproximaremos a los valores estándar que existen en el mercado esto es ½ HP

Por lo tanto se seleccionara la bomba del siguiente catalogo que cumple con los requerimientos.

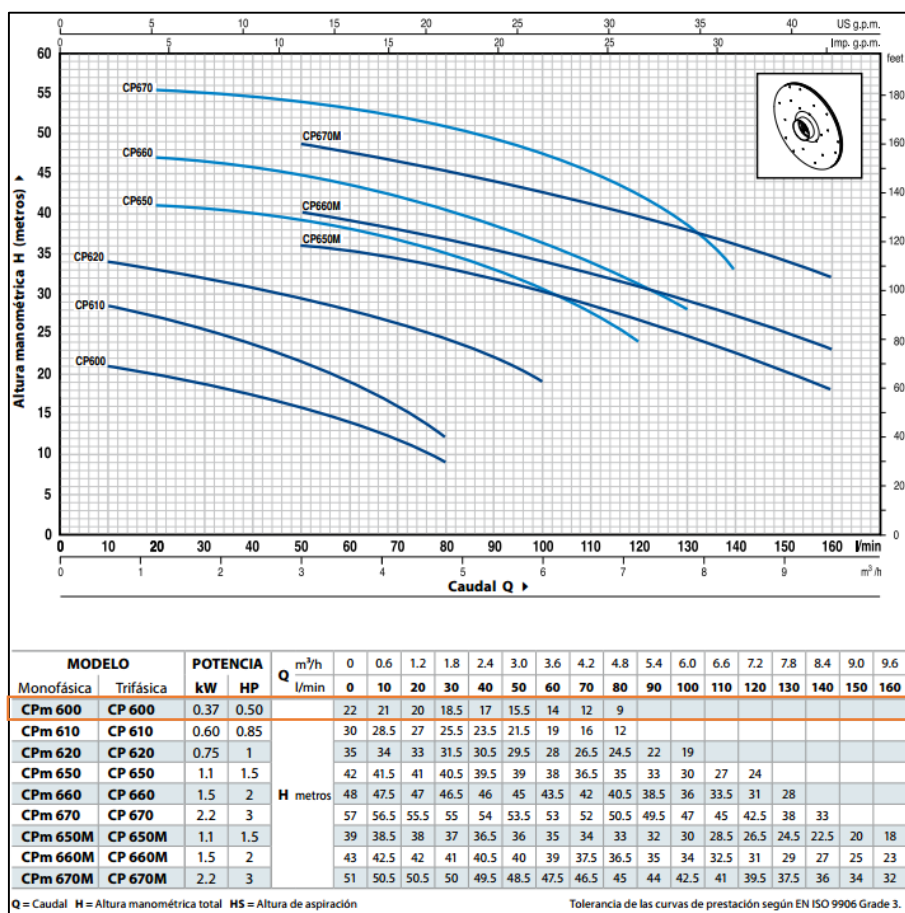


Figura 33. Datos del catalogo y curvas de H vs Q.

(PEDROLLO, 2015)

### • Bomba de Cloro.

#### Calculo de ajuste de inyección.

El ajuste depende:

- Dosificación para operación normal.
- Capacidad para extrema dosificación.
- Ajuste por Ct
- Rango de trabajo preciso del aparato.

#### Dosis para operación normal ( $q_1$ )

El cálculo de cloro (c) a aplicar se toma en la práctica de la forma siguiente:

- 5 ppm (1 parte de cloro activo en 1 millón de partes de agua, o sea,  $5\text{mg/l} = 5\text{g/m}^3 = 5\text{ t/millón m}^3$ ) cuando se trata de agua residuales de poblaciones.
- 1.5-2.0 ppm en agua subterránea limpia, en sistemas de acueducto de ciudades.

- 2.0 – 5.0 ppm para agua superficial con pos y pre cloración, respectivamente.

Esto da que:

$$q_1 = Q \left( \frac{m^3}{h} \right) \times c \left( \frac{g}{m^3} \right) = \left( \frac{g}{h} \right)$$

### **Capacidad para situaciones extremas ( $q_2$ )**

La apariencia de condiciones de trabajo anormales pueden aparecer debido a variaciones bruscas y controlables en las características del agua y, más habitualmente, en la mitigación d brotes de enfermedades trasmisibles por el agua.

Esta capacidad de dosificación se deja como remanente del equipo aunque cuando exceda al 30% es preferible la instalación de un segundo equipo (que no es el de reserva para roturas).

El primer ajuste nos da:

$$q_2 = 1.3 \times q_1$$

### **Ajuste por Ct (tiempo de contacto)**

Sirve para determinar el poder bactericida que tiene un desinfectante y es producto de la dosis o concentración por el tiempo de contacto del desinfectante con el agua.

Cuando el tiempo de contacto excede de una hora puede reducirse la dosis de cloro y debe aumentarse si es menor de 30 minutos, siempre que se mantengan residuales mínimos de cloro en red de 0.3 mg/l o más.

### **Rango de precisión del aparato**

La exactitud del producto aplicado es más precisa en el rango de escala alejado de ambos extremos. Esto es aplicable tanto para dosificadores de cloro como de otro desinfectante. Se aconseja siempre no trabajar los dosificadores por debajo del 15% de su capacidad ni por encima del 95%. Así, teniendo en consideración todas las premisas, la capacidad del aparato clorador de gas se determina mediante la expresión siguiente (Chauca Chicaiza & Orozco Cantos, 2012):

$$q = (1.05) * 1.3 * q_1 \left( \frac{g}{h} \right) \text{ (Para tiempos de contacto de 30 a 60 minutos)}$$

A continuación se detallan los datos necesarios para la selección del dosificador, considerando el caudal máximo de trabajo de la planta de tratamientos de agua.

Tabla 23.

Datos para la selección del clorinador.

Denominación	Simbología	Valor	Unidad
Caudal de Ingreso	Q	1,2	l/s
		3180	l/día
		4,32	m <sup>3</sup> /h
Demanda	D	3,18	m <sup>3</sup> /día
		5	g/m <sup>3</sup>
Concentración	C	99	%
Demanda Necesaria	c	5,05	g/m <sup>3</sup>

Remplazando datos en las formulas citadas obtendremos la capacidad del clorinador.

Tabla 24.

Resultado de la capacidad del clorinador.

Denominación	Resultado	Unidad
q1	21,82	g/h
q2	28,36	g/h
q	29,78	g/h
	0,03	kg/h

Se seleccionará el equipo más apropiado considerando estas características.

#### **BL, Bombas dosificadoras, HANNA.**

Las Bombas dosificadoras electromagnéticas BL son ligeras y pueden montarse tanto en pared como sobre un tanque o depósito. Para una mayor durabilidad, estas bombas utilizan únicamente los materiales PVDF (El policloruro de vinilo es un fluorpolimero termoplástico se lo emplea en condiciones de pureza, fortaleza y eleva resistencia contra los ácidos, bases y disolventes), y PTFE (El politetrafluoroetileno o comercialmente conocido teflón, polímero similar al polietileno, son buenos como aislantes térmicos) para aquellas partes que están en contacto con productos químicos agresivos.



Tabla 25.

## Características técnicas Bomba Dosificadora Blackstone.

Bombas BL/U y Bombas BL/D	
<b>Caudal:</b>	Ajustable de 0 a 100% de la capacidad máxima
<b>Condiciones de trabajo:</b>	0 a 50°C (32 a 122°F); máx. 95% RH sin condensación
<b>Auto-cebado:</b>	Altura máxima de cebado 1,5 m (5')
	Tubo de polietileno 5x8 mm, conexión inyección tubo 3/8"
<b>Conexiones:</b>	gas (incluido)
<b>Max potencia absorbida:</b>	Aprox. 200W
<b>Protección:</b>	IP 65
<b>Alimentación:</b>	110/115V, 50/60 Hz (BL/U) 220/240V, 50/60 Hz (BL/D)
<b>Dimensiones:</b>	194x165x121 mm (7,6 x 6,5 x 4,8")
<b>Flujo de salida :</b>	4.8 GLH
<b>Peso Aprox:</b>	3 Kg (6,6 lb.)

(Chile, 2015)



Figura 34. Bomba dosificadora Blackstone.

(Chile, 2015)

### 3.2.8 DISEÑO DEL AGITADOR PARA EL PROCESO DE COAGULACIÓN

• **Diámetro del impulsador.-** Este diámetro normalmente está en el rango de 0.3 a 0.6 del diámetro del tanque de mezclado.

Para el caso sistema tanque mezclador, es un tanque rectangular con capacidad de 27.6 L, pero se va a trabajar con diámetro estimado, con radio desde el centro de sección transversal a su vértice.

$$\phi_{\text{estimado}_{\text{tanque}}} (\text{mm}) = 337$$

Con el propósito de disminuir la potencia necesaria por el impulsor se va a escoger el menor radio posible es decir:

$$\phi_{\text{impulsador}} (\text{mm}) = 0.3 * \phi_{\text{estimado}_{\text{tanque}}}$$

$$\phi_{\text{impulsador}} (\text{mm}) = 101.1$$

• **Determinación de la velocidad angular del impulsador.-** La floculación se realiza a través de una mezcla lenta, producido por un agitador mecánico o hidráulico.

Debido a las desventajas que muestra los sistemas hidráulicos como: No es posible ajustar a cambios de concentración de las aguas crudas, pérdida de carga y gran dificultad de limpieza, en tal caso se va a implementar un agitador mecánico.

Con un tiempo de retención de 20 a 40 minutos y la velocidad de la periferia de las paletas de 0.3 a 0.75 m/s según las normas del sistema potabilización de América Latina, es decir una velocidad ajustable.

Calculamos:

- $V=0.3 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ , velocidad del impulsador
- $r = 0.050 \text{ [m]}$ , radio del impulsador.

$$N = \frac{V}{r} = \frac{0.3 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{0.0505 \text{ (m)}} * \frac{1 \text{ (s)}}{\frac{1}{60} \text{ (min)}}$$

$$N = 356 \text{ [Rpm]}$$

La velocidad del impulsador es 356 Rpm.

• **Cálculo de la potencia consumida por el impulsor.-** Se usan dos números adimensionales el número de Reynolds y el número de potencia, la misma que se relaciona en la siguiente figura 32.

El número de Reynolds expresados en variables convenientes para la agitación:

$$N_{\text{Re}} = \frac{D_{\text{impulsador}}^2 N \rho}{\mu} \quad \text{Ec. ( 3. 28)}$$

Para el agua residual, se aproxima el valor de su densidad ( $\rho$ ) y viscosidad ( $\mu$ ) a la del agua, debido a que la planta a diseñar es para aguas crudas sin la presencia de aceites y grasas.

Donde:

$\rho$ :  $1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ , densidad.

$\mu$ :  $1 * 10^{-3} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} \right]$ , viscosidad dinámica.

$N = 356$  [Rpm], velocidad del impulsador.

$$N_{Re} = \frac{0.101^2 (\text{m}^2) * \frac{356 (\text{rev})}{60} \left( \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right) * 1000 * \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{1 * 10^{-3} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} \right)}$$

$$N_{Re} = 6.07 * 10^4$$

Tipo de impulsor	$\frac{D_t}{D'}$	$\frac{z_1}{D'}$	$\frac{z_i}{D'}$	Desviadores		
				No.	w/D	
Véase # 1	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.17	1
Véase # 1	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	2
Véase # 1	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.04	4
Mismo que # 1, 2 aspas curvas	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	3
Propulsor marino 3 aspas, separación	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	5
Véase # 2	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	6
Mismo que 5 pero Separación = $2D'$	3	2.7-3.9	0.75-1.3	4	0.10	7
Véase # 1*	3	2.7-3.9	0.75-1.3	0	0.04	8

\* En fluidos no newtonianos (6). En tanques sin desviadores (9).

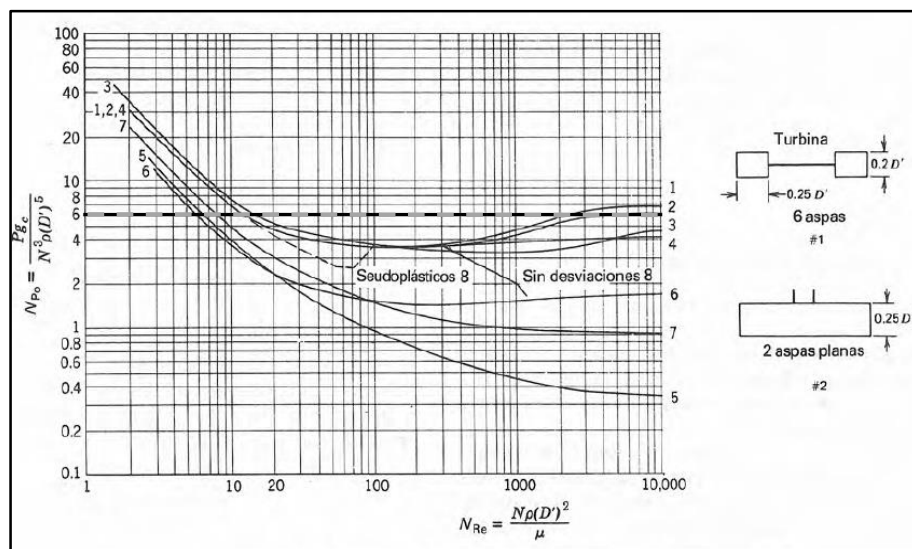


Figura 35. Gráficas de  $N_{Po}$  en función de  $N_{Re}$  para varios sistemas de agitador-tanque.

FUENTE: (FOUS, 2006)

El número de potencia expresada de la siguiente manera:

$$N_{po} = \frac{P * g_c}{N^3 D_{impulsador}^5 \rho} \quad \text{Ec.( 3. 29)}$$

Donde (P) es la potencia a suministrar al impulsador de turbinas de disco de aspas planas y  $g_c$  es una constante dimensional.

De la gráfica consideramos un impulsador de 6 aspas planas, y para tener una relación media entre el ancho y alto del deflector, el valor de  $N_{po}$  está determinada por la curva nº 2.

$$N_{po} = 6$$

De la Ec. 3.23 despejamos el valor P tenemos:

$$P = \left( \frac{N_{po}}{g_c} \right) (\rho N^3 D^5)$$

$$P = \left( \frac{6}{1 \left[ \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{N} * \text{s}^2} \right]} \right) \left( 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * \left( \frac{356}{60} \left[ \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right] \right)^3 * (0.101[\text{m}])^5 \right)$$

$$P = 13.24 [\text{watt}]$$

Consideramos el rendimiento de los rodamientos de bolas de 0.99 y de la reductora velocidad de 0.83, por lo tanto tenemos:

$$P_{\text{diseño}} = \frac{P_{\text{calculada}}}{e_{\text{Caja red}} * e_{\text{rodamientos}}} \quad \text{Ec.( 3. 30)}$$

$$P = \frac{16[\text{watt}]}{0.9 * 0.83} = 16.12$$

Para el cálculo del torque:

$$P = T * n \quad \text{Ec.( 3. 31)}$$

Donde (n) es la velocidad en Rpm.

$$T = \frac{P}{n} = \frac{16.12[\text{w}]}{\frac{350}{60} \left[ \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right]} = 2.71 [\text{Nm}]$$

- **Selección del motor :**

Se selecciona un motor a paso de la marca NEMA 23 que tiene las siguientes características:

Tabla 26.

Características técnicas del motor a paso Nema 23

<b>Nema 23 Stepper Motor</b>	
Modelo:	23HS45-3004S
Torque [Nm]	2,5
° por paso	1.8
Corriente [A]	3
Voltaje [V]	24

- **Cálculo del diámetro del eje de agitador**

Para el diseño de eje del agitador, el eje está sometido a torsión generando la misma un esfuerzo cortante uniforme<sup>1</sup>.

$$D_{\text{eje}} = \left[ \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_t * M}{S_n'} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec.( 3. 32)}$$

En la cual T [Nm] es torque que actúa sobre el eje,  $S_y$ [Mpa] es el esfuerzo de fluencia, M [Nm] es momento flexionante, n, factor de seguridad,  $K_t$  concentrador de esfuerzo y  $S_n'$ [Mpa] es la resistencia a la fatiga real, la ec (3.26) es compatible con la norma ANSI B106 IM-1985.

En el agitador no existe fuerzas transversales que cause flexión por lo tanto la ecuación se simplifica, con:

- $S_y = 241$  [Mpa], del acero inoxidable AISI 304.
- $n = 2$

$$D_{\text{eje}} = \left[ \frac{32n}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec.( 3. 33)}$$

$$D_{\text{eje}} = \left[ \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{2.71\text{Nm}}{241 * \frac{10^6\text{N}}{\text{m}^2}} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 5.8 \text{ mm}$$

Por lo tanto se diseña un eje de 6 mm de diámetro.

<sup>1</sup>MOTT, Robert ; Diseño de Elementos de Máquinas; 4ta Edición, Pearson Education, México 2006; p. 548

- **Cálculo de las aspas planas de la turbina.**

De acuerdo a la figura 32, las dimensiones de las aspas planas de la turbina están en función del diámetro del impulsor, tenemos<sup>2</sup>:

Ancho de las paletas (w)

$$w = 0.2 * \phi_{\text{impulsor}} \quad \text{Ec. ( 3. 34)}$$

$$w = 0.2 * 101[\text{mm}] = 20.22 \text{ mm}$$

Largo de las paletas (L)

$$L = 0.25 * \phi_{\text{impulsor}} \quad \text{Ec. ( 3. 35)}$$

$$L = 0.25 * 101[\text{mm}] = 25.3 \text{ mm}$$

El cálculo del espesor se la realiza de la siguiente manera:

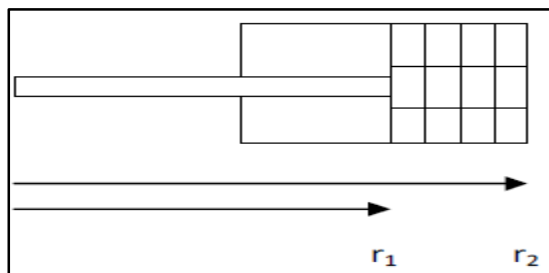


Figura 36. Configuración de la paleta plana de la turbina impulsadora

Para determinar la fuerza ( $F_D$ ) que actúa sobre la parte rayada de la paleta por el fluido, se calcula con:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A \quad \text{Ec. ( 3. 36)}$$

Donde  $C_D$  es coeficiente de arrastre, está en función del número de Reynolds ( $N_{Re}$ ),  $V$  velocidad de las paletas y  $A$  es área de la misma.

<sup>2</sup> FOST, Alan S; WENZEL, Leonard A; CLUMP, Curtis W; Principios de Operaciones Unitarias; 10<sup>da</sup> Edición; Editorial Continenatal; Azcapotzalco México; 2006; p.574

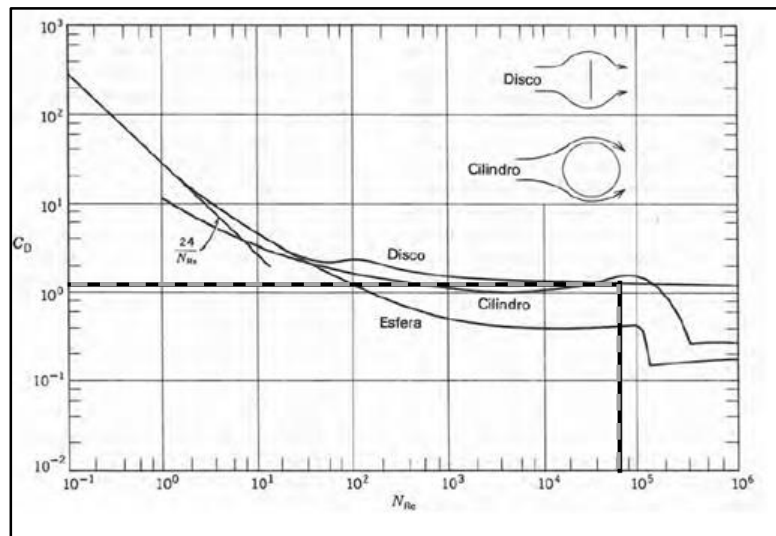


Figura 37. Modelo de arrastre para distintas formas, relación  $C_D$  y  $N_{Re}$ .

FUENTE:(FOUS, 2006)

Las paletas tipo aspas planas generan una forma de arrastre de tipo disco, con el  $N_{Re} = 6.07 \cdot 10^5$  Por lo tanto de la figura 33 se obtiene:

$$C_D = 0.8$$

La velocidad lineal de la paleta varía en forma diferencial en función del radio, por lo tanto se va a reformular la fórmula:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho (\omega^2 r^2) * (0.02202 r) \quad \text{Ec.( 3. 37)}$$

$$F_D = 0.5 * 0.8 * 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \left[ \frac{357}{60} \left( \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right) \right]^2 0.02202 r^3$$

Multiplicamos por el diferencial  $d_r$

$$F_D * d_r = 286.05 r^3 * d_r$$

$$M = \int_{r_1}^{r_2} 286.05 r^3 d_r = 0.3 \text{mNm}$$

Donde  $r_2=0.0505$  [m] es igual al radio del impulsador y  $r_1$  es  $r_2 - 0.75L = 31.54$  [mm],  $L = 25.3$  [mm] es la longitud de la paleta.

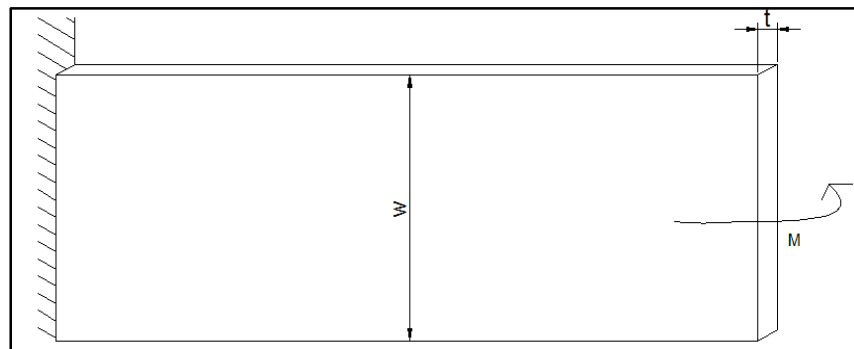


Figura 38. Acción del momento flector sobre los agitadores

El esfuerzo flector se produce por la acción de  $M$ , sobre la paleta:

$$\sigma = \frac{M * c}{Y} \quad \text{Ec.( 3. 38)}$$

Y el factor de seguridad está determinado por:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ec.( 3. 39)}$$

Relacionando la Ec. (3.32) y Ec. (3.33) calculamos el espesor de la paleta:

$$S_y = \frac{n * M * \frac{t}{2}}{w * \frac{t^3}{12}}$$

$$t = \sqrt{\frac{6nM}{S_y * w}}$$

Remplazando los valores con  $S_y = 241 \text{ Mpa}$ , acero inoxidable AISI 304 y factor de seguridad:

$$t = \sqrt{\frac{6 * 2 * 0.3 * 10^{-3} [\text{Nm}]}{241 * 10^6 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] * 0.0202 [\text{m}]} = 0.3 [\text{mm}]}$$

Seleccionamos un espesor de 2 mm.

### 3.3 INSTRUMENTACIÓN DEL PROYECTO

#### 3.3.1 SENSOR CAPACITIVO PARA MEDICIÓN DE NIVEL

Para medir el nivel, emplearemos sensores capacitivos por todas las ventajas presentadas en la parte teórica de este proyecto.





Figura 39. Sensor capacitivo Pointeck CLS100  
(SIEMENS, 2014)

El sensor a emplear es del tipo CLS100, y sus principales características se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 27.

#### Características del sensor CLS100

<b>Eléctricas / Dispositivo</b>	
» suministro:	» estándar: » 10 - 33 V cc » seguridad intrínseca: » 10 - 30 V cc
» salida alarma:» mA :	» lazo 2-hilos 20/4 mA, o lazo de 4/20 mA
» salida transistor:	» estándar: » 28 V CA / 40 V cc, máximo 100 mA » máximo 2 VA » seguridad intrínseca: » 25 V CA / 30 V cc
» repetibilidad:	» 2 mm (0.08")
» modo:	» de alta o de baja
<b>Mecánicas</b>	
» construcción:	» conexión del proceso de la sonda y de las partes en contacto con el material; acero inoxidable 316 y sensor en Kynar®
	» cuerpo / caja en acero inoxidable 316
	» conexión del proceso 3/4" NPT ó 1" BSPT
» cable / conexión:	» 1 m (3.3 pies) de cable, 4 conductores, 22 AWG, con blindaje, funda de polyester
<b>Ambiente</b>	
» ubicación:	» en interior / exterior
» altitud:	» máximo 2000 m
» temperatura ambiente:	» -40 a 85 °C (-40 a 185 °F)
» protección de la entrada:	» Tipo 4X / NEMA 4X / IP65
» categoría de instalación:	» II
» nivel de polución:	» 4

(SIEMENS, Pointeck CLS 100, 2014)

Se debe tener precaución con el montaje, para evitar cualquier tipo de interferencias durante el proceso de medir, instalar los sensores a una distancia de separación de 100 mm, a 50 mm de las paredes del recipiente de líquidos o lodos.

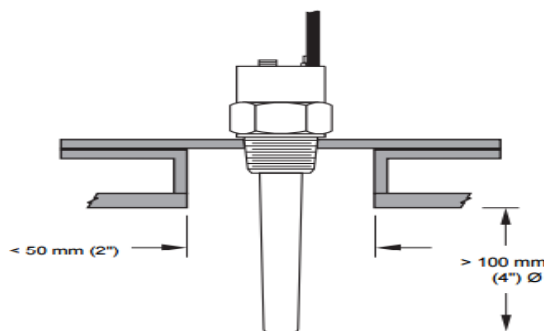


Figura 40. Montaje de forma vertical  
(SIEMENS, Pointeck CLS 100, 2014)

- **Acondicionamiento de la señal**

El sensor capacitivo se lo puede polarizar de acuerdo a la necesidad de la aplicación sólidos - líquidos de baja viscosidad, por ello se ha tomado la configuración de tipo Alarma LAZO DE CORRIENTE 4/20 mA. \_Con una valor de resistencia de 250 ohmios proporcionará 5 V. la salida será en los cables blancos no tiene polaridad.

Se debe tener precaución con el montaje, para evitar cualquier tipo de interferencias durante el proceso de medir, instalar los sensores a una distancia de separación de 100 mm, a 50 mm de las paredes del recipiente de líquidos o lodos.

Tabla 28.

Características de las entradas análogas del PLC MICROLOGIX 1100

<b>Rango de valores de Entradas / salidas de un módulo analógico</b>			
<b>Rango normal de operación</b>	<b>Rango a escala completa</b>	<b>Escala digital</b>	<b>Escala para PID</b>
0 to 10V dc	10.5 V dc	32760	16380
	0.0 V dc	0	0
4 to 20 mA	21.0 mA	32760	16380
	20.0 mA	31200	15600
	4.0 mA	6240	3120
	0.0 mA	0	0

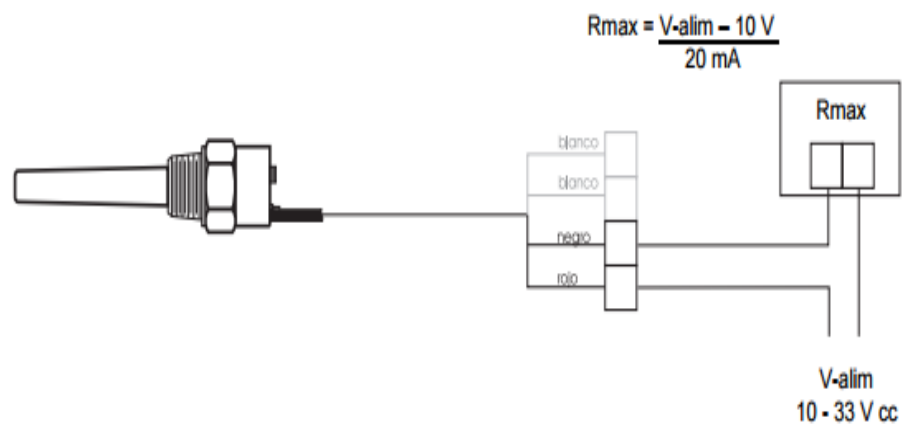


Figura 41. Polaridad en forma lazo de corriente

(SIEMENS, Pointeck CLS 100, 2014)

Y posterior una etapa de amplificación de la señal, para obtener un señal de salida de 0 a 10 V. Con una amplificador de potencia el TL022.

$$V_{out} = \frac{R_f + R_i}{R_i} * V_{in} \quad \text{Ec. ( 3. 40)}$$

$$V_{out} = \frac{2k}{1K} * 5 = 10 [V]$$

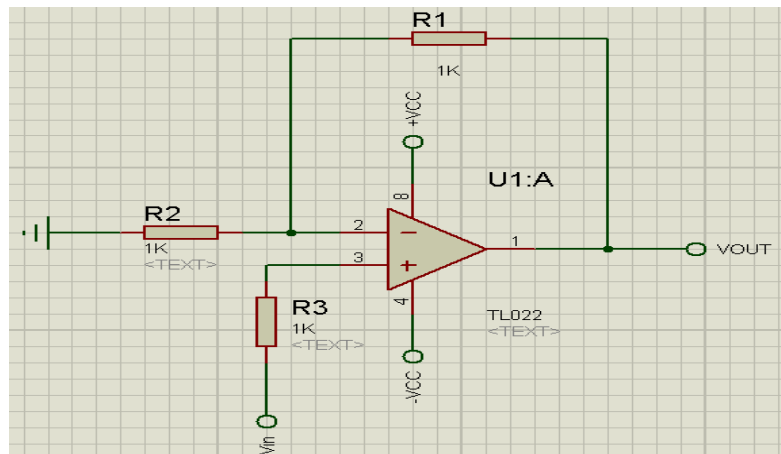


Figura 42: Acondicionamiento de señal del sensor de nivel

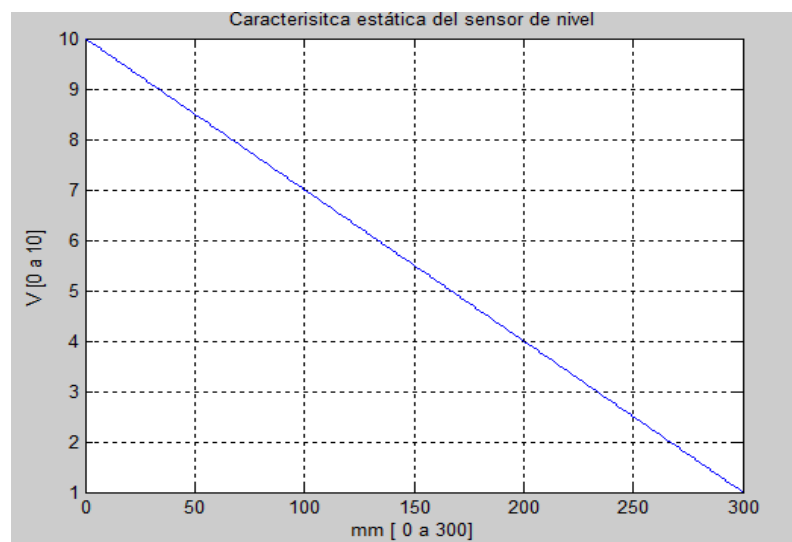


Figura 43: Característica técnica del sensor de nivel

La ecuación 3.40 (“X” valor de distancia en mm y “Y” valor del voltaje) que relaciona la entrada con la salida es:

$$Y(V) = \frac{-9}{300}(x - 300) + 1 \quad \text{Ec.( 3. 41)}$$

La ecuación (“a” valor de voltaje en escala de 0 a 32760 y “X” valor de la distancia) que relaciona la entrada con la salida posterior de la lectura análoga digital es:

$$X(\text{mm}) = \frac{300}{-29484}(a - 3276) + 300 \quad \text{Ec.( 3. 42)}$$

### 3.3.2 SENSOR ANALÓGICO DE PH.

El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias.

Este kit permite medir de forma sencilla el pH de un líquido gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico proporcional a la medición. El controlador tiene un potenciómetro multivalente que permite la correcta calibración de la sonda.

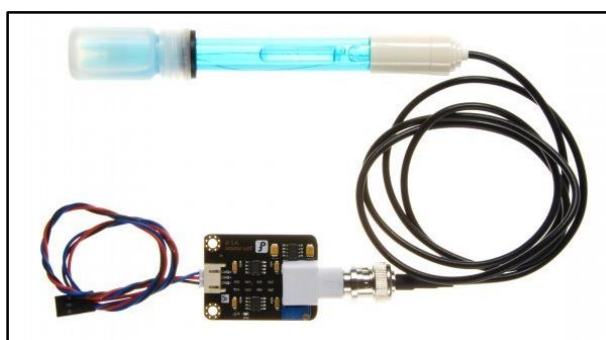


Figura 44. Sensor analógico de pH  
(Brico Geek, 2015)

El sensor es de tipo analógico y sus características se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 29.

Características del Sensor analógico de pH

<b>Sensor analógico de pH</b>
Alimentación: 5.00V
Dimensiones: 43x32mm (controlador)
Rango de medición: 0-14 pH
Temperatura de medición: 0-60 °C
Precisión: ± 0.1pH (25 °C)
Tiempo de respuesta: ≤ 1min
Sonda de pH con conector BNC
Controlador pH 2.0 (3 pines)
Ajuste de ganancia
Indicador LED

- **Acondicionamiento de la señal**

El sensor de PH tiene un circuito integrado interno, la señal de salida es en valor de voltaje de 5 a 10 V que corresponde al PH desde 0 a 14, en el PLC se leerá el dato en la entrada I3:0.

$$\frac{14}{0} = \frac{10 \text{ V}}{X} = \frac{32760}{a} \quad \text{Ec. (3.43)}$$

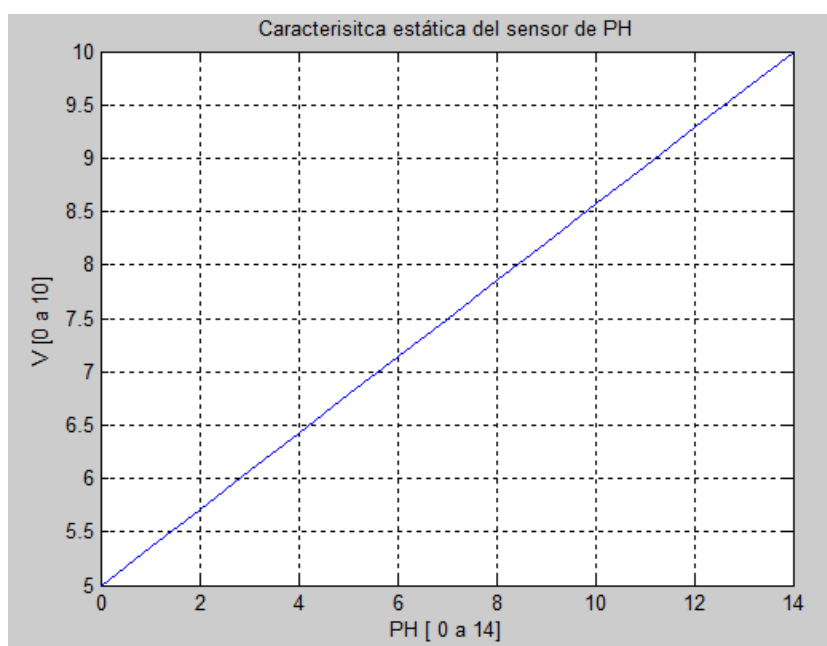


Figura 45: Característica estática del sensor de PH

La ecuación (“X” valor del PH y “Y” valor de voltaje) que relaciona la entrada con la salida es:

$$Y(\text{PH}) = \frac{5}{14}(x - 14) + 10 \quad \text{Ec. (3.44)}$$

La ecuación (“a” valor de voltaje en escala de 0 a 32760 y “X” valor de PH) que relaciona la entrada con la salida posterior de la lectura analógica digital es:

$$X(\text{PH}) = \frac{14}{16380}(a - 32760) + 14 \quad \text{Ec. (3.45)}$$

### 3.3.3 SENSOR ÓPTICO ESPECTRAL DE DQO

Ciptec-COD está diseñado para la medición de DQO en línea en las industrias de procesamiento de aguas residuales. El principio de medición del sensor se basa en la absorción óptica y la tecnología de dispersión, que se correlaciona con precisión con valores de DQO. El analizador es compatible CIP / SIP y se puede enviar con cabezal de medición sumergible.

En la siguiente imagen se detallan las características principales del sensor óptico espectral Ciptec- COD.

Tabla 30.

Características técnicas del sensor óptico de DQO

---

#### **Sensor óptico de DQO**

---

Alimentación: 24VDC

Dimensiones: 43x32mm (controlador)

Rango de medición: 0-15000 mg/l

Temperatura de medición: 0-100 °C

Precisión: 15 mg/l (0-40 °C)

Tiempo de respuesta: 0.2 segó. y 1min

Output: 4-20 mA y/o Ethernet 10/100 Mb/s

Peso: 2.2 Kg

Señal de alarma : 2 salidas de relay

---

(SERVICES, 2015)



Figura 46: Sensor óptico de DQO Ciptec.  
(SERVICES, 2015)

Este tipo de sensores mide la absorbancia de la luz, en longitudes de onda que van desde ultravioleta hasta la visible.

- **Acondicionamiento de señal**

En el sensor de DQO la señal de salida es en valor de corriente de 4 a 20 mA que corresponde a la concentración de QDO de 0 a 15000 mg/L, en el PLC se leerá el dato en la entrada I3:1.

La ecuación (“X” valor de mg/L de DQO y “Y” valor en mA) que relaciona la entrada con la salida es:

$$Y(mA) = \frac{16}{150000}(x) + 4 \quad \text{Ec. ( 3. 46)}$$



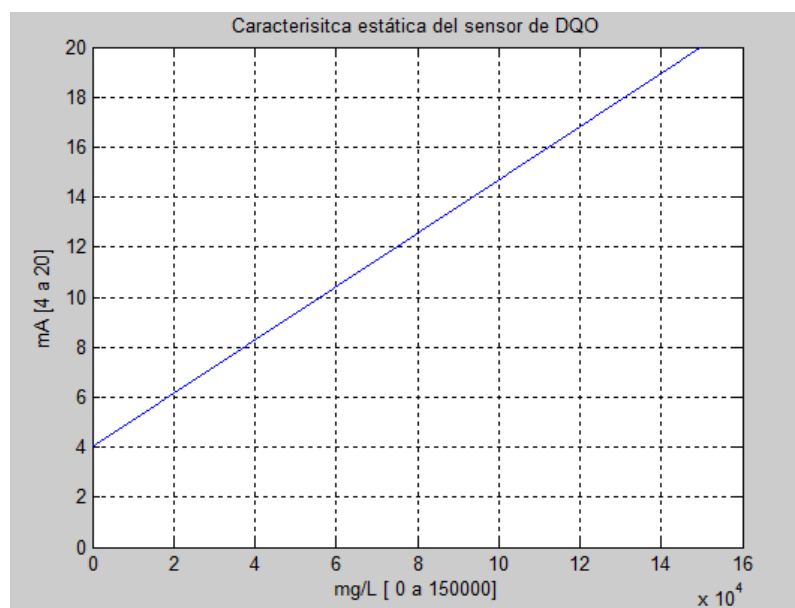


Figura 47. Características estática del sensor DQO

En el PLC MICROCOLOGIX 1100 usamos las entradas analógicas de corriente, la ecuación (“a” valor de corriente en escala de 0 a 32760 y “Y” valor de la concentración de DQO) que relaciona la entrada con la salida posterior de la lectura análoga digital es:

$$Y \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{16}{31200} (a - 6240) \quad \text{Ec. ( 3. 47)}$$

### 3.3.4 PLACAS DE HARDWARE LIBRE ARDUINO

Para la adquisición de estas señales utilizaremos un microcontrolador, el cual maneja señales analógicas y digitales, por lo que las placas de hardware libre ARDUINO son una alternativa que facilita el montaje del sistema electrónico, son fáciles de utilizar y de esta manera se disminuye los tiempos y costos de fabricación con un PCB que cumple con los mismos requisitos. Para seleccionar la placa ARDUINO más conveniente que se ajuste a nuestras necesidades, es necesario tener en cuenta: EL tipo y cantidad de señales y el voltaje de operación de los componentes.

Teniendo en cuenta todos los aspectos antes mencionados y para facilitar futuras adecuaciones y mejoras al sistema, se elegirá la placa ARDUINO UNO R3 para el sistema eléctrico de la planta de automatización de aguas residuales.

Tabla 31 .

Características técnicas de la placa ARDUINO UNO R3.

<b>ARDUINO UNO R3</b>	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V
Voltaje de entrada	6-20V
Limites	
Analog Input Pins	6
Digital I/O Pins	14(6 PWM)
DC Current por I/O Pin	40 mA
DC Current para 3,3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

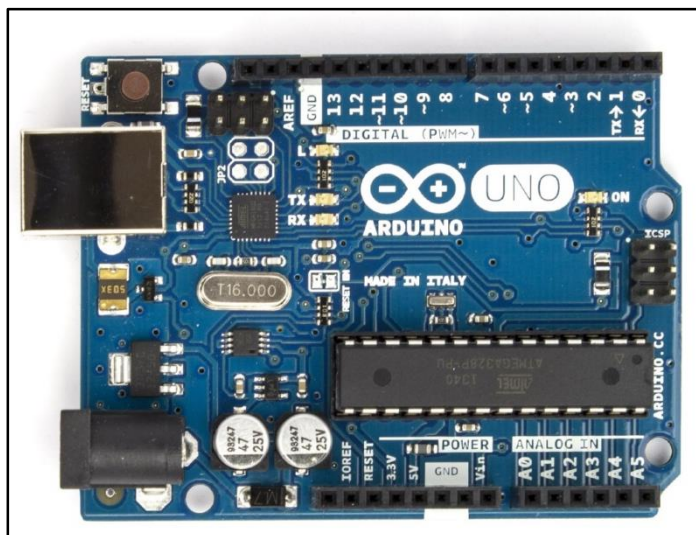


Figura 48. Arduino uno r3  
(ARDUINO, 2015)

## **CAPÍTULO 4**

### **AUTOMATIZACIÓN Y SIMULACIÓN**

Para el presente proyecto se pretende controlar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se requiere regular el ingreso de aguas grises y negras en el tanque de tratamiento, esto dependerá del sensor de nivel, una vez que el nivel este en el punto más alto se encenderá una bomba de succión que llevara el agua por los sedimentadores en el tanque principal se adicionara coagulante que permitirá la unión de la partículas sólidas para su posterior precipitación al fondo de los tanques sedimentadores también se realizará en el cuarto tanque la dosificación del cloro para la eliminación de organismos vivos, mediante un sistema de gravedad el agua llegara finalmente al tanque de verificación donde se desechará al ambiente o se retroalimentara al tanque de tratamiento dependiendo de la lectura de los sensores.

#### **4.1 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A CONTROLAR**

El objetivo del diseño automático es obtener la configuración, especificaciones e identificación de los parámetros claves de un sistema propuesto para satisfacer sus necesidades.

##### **4.1.1 OBJETIVOS DEL SISTEMA DE CONTROL**

- Controlar el nivel de aguas grises y negras del tanque de tratamiento.
- Controlar la dosificación del coagulante y el movimiento del agitador.
- Controlar la dosificación de Cloro.
- Control de la salida de aguas residuales.

##### **Sistema de control.**

Es un conjunto de dispositivos que trabajan juntos para obtener un objetivo de control determinado.

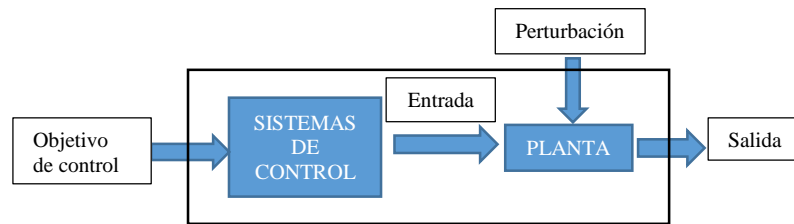


Figura 49. Diagrama del sistema de control.

- **Planta**

Es el proceso u objeto físico sobre el que actúa el sistema de control cuyo fin es realizar una acción determinada.

- **Variable de entrada**

Es una cantidad o condición a la cual se modifica y que altera el estado del sistema para obtener la respuesta deseada.

- **Variable de salida**

Es el efecto que se produce en el sistema, cuya magnitud o condición se mide y puede ser registrada.

- **Perturbación**

Es una variable interna si se crea por causa del sistema y externa si se genera fuera o es alejada al sistema que tiende a afectar adversamente el funcionamiento del sistema.

### Tipos de sistema de control:

#### Sistema de control de lazo abierto

Son los sistemas en los que la variable de salida no influye sobre la acción de control, regularmente el tiempo es la variable que controla el sistema.

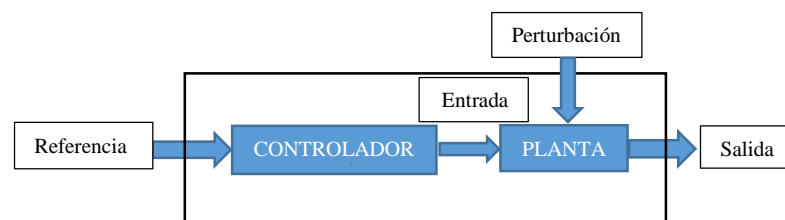


Figura 50. Diagrama del sistema de control de lazo abierto.

### Sistemas de control de lazo cerrado

Son los sistemas en que la señal de salida influye directamente sobre la acción de control, la cual se calcula en función del error entre la variable controlada y el parámetro requerido.

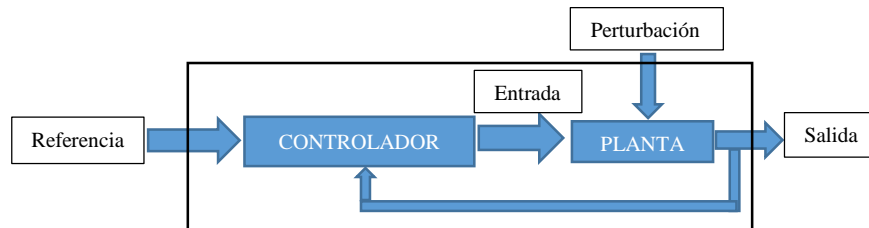


Figura 51: Diagrama del sistema de control de lazo cerrado.

#### 4.1.2 VARIABLES A CONTROLAR.

- Control de las bombas de succión y macerador.
- Control de agitador y dosificación de coagulante.
- Control de bomba dosificadora de cloro.
- Control sobre la salida de las aguas tratadas.

#### 4.1.3 ESPECIFICACIONES DE LAS VARIABLES.

- El encendido de la bomba maceradora se accionara cuando el sensor de nivel indique 35 litros de llenado caso contrario la bomba permanecerá apagada, cuando el sensor indique que el nivel de líquido esta entre 35 y 70 litros se encenderá la bomba de succión cuya función es transportar el agua del tanque de tratamiento hacia el tanque sedimentador.
- Para el encendido del motor que acciona el sistema del agitador se realizara con un sensor de nivel que enviara una señal cuando el tanque sedimentador 1 este en un nivel de 15 litros al mismo tiempo se accionara una electroválvula que dosificara el coagulante.
- 
- Para la dosificación de cloro se necesitara otro sensor de nivel en el tanque sedimentador cuatro cuando el sensor indique sobre los 15 litros se accionara la bomba de cloro caso contrario permanecerá apagada.
-

- En el tanque de verificación se ubicará sensores de pH y DQO los cuales enviarán una señal al controlador cada media hora, en caso de que el agua tratada sobrepase los valores establecidos en el controlador se encenderá una electroválvula de tres vías y la bomba de retroalimentación que devolverá el agua hacia el tanque de tratamiento, si los parámetros de pH y DQO son menores que los valores establecido la electroválvula direccionara el agua tratada hacia el medio ambiente.

#### 4.14 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

##### Alternativas de control

Para el control de la planta de tratamiento de aguas residuales, por medio de un operador se plantean las siguientes alternativas:

- Controlador Lógico Programable PLC.
- Microcontrolador.
- Contactores.

Por medio de la matriz de decisión, se escogerá el sistema de control adecuado, asignando puntajes de 1 a 4, de acuerdo a las ventajas que presente dicha alternativa con relación al parámetro correspondiente. Se deben tomar en cuenta ciertas características para evaluar las alternativas del proyecto.

- Opción 1 (O1)
- Opción 2 (O2)
- Opción 3 (O3)

Tabla 32.

Tabla de decisión selección sistema de control

Parámetros	Alternativas		
	O1	O2	O3
Versatilidad	4	2	1
Costo	2	4	3
Mantenimiento	3	3	4
Conexión al puesto de mando	4	3	3
Instalación	4	3	1
Trabajo en ambiente hostil	4	1	3
<b>TOTAL</b>	21	16	15

De acuerdo a la ponderación de la tabla de decisión el mejor sistema para el proyecto es el PLC.

#### 4.2 SECUENCIA DE TRABAJO DE LA MÁQUINA

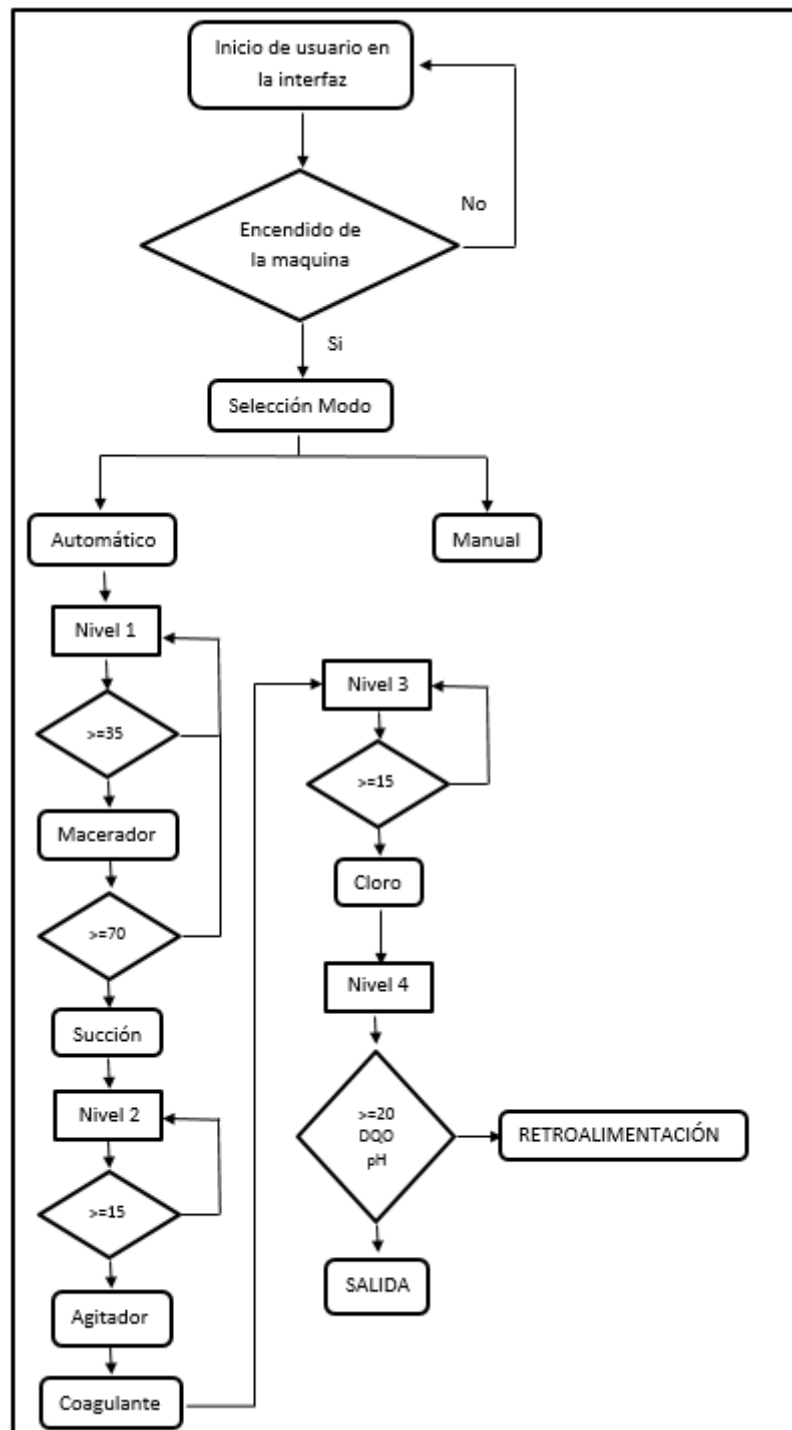


Figura 52. Secuencia de trabajo de la planta de tratamiento de aguas grises y negra

## 4.2.1 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

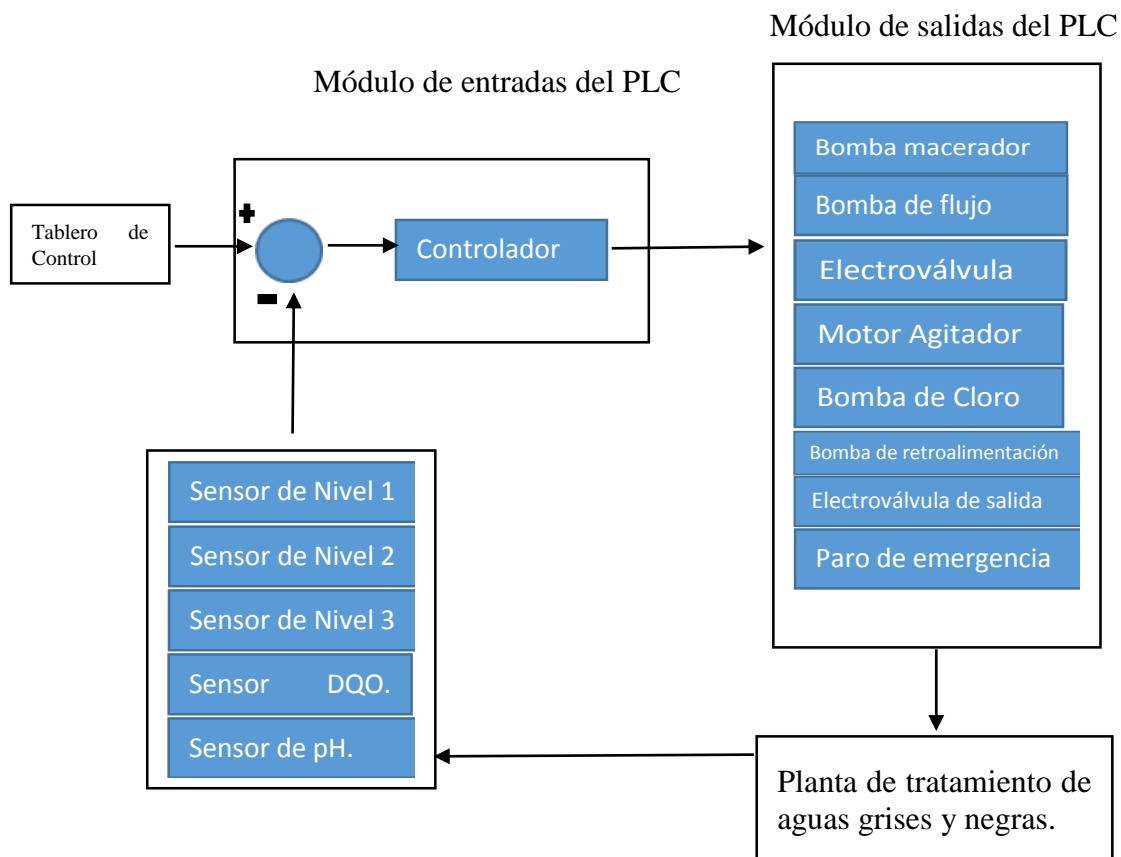


Figura 53: Diagrama de bloques de la configuración del sistema.

## 4.3 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

### 4.3.1 REQUERIMIENTOS

Se debe diseñar y seleccionar los elementos del sistema de control para cumplir con los siguientes requerimientos:

- Modo de operación manual y automático de la planta.
- Interfaz Humano Maquina para visualización de las variables y funcionamiento de los componentes actuadores.

El diseño del sistema de control consiste principalmente en desarrollar el software de control para planta, coordinando el proceso y acciones en modo automático y manual.



Es necesario desarrollar programas tanto para el microcontrolador de la placa Arduino, para el Micrologix 1100 y un programa para la interfaz gráfica entre el humano y la máquina que permite la recepción de datos desde los sensores y la visualización del proceso.

Los programas a emplearse en este proyecto para el desarrollo de software y configuración de los elementos son:

- Software libre Arduino IDE.
- Software RS Logix 500
- Software Labview 2010.

El cerebro principal de la planta es el PLC MICROLOGIX 1100, este controlador es el encargado de procesar las señales receptadas a través de la tarjeta ARDUINO UNO y de los sensores de nivel, dependiendo de las señales recibidas, el controlador PLC procesará las mismas y emitirá señales de control a los actuadores de la planta de manera automática.

#### **4.3.2 CONTROLADOR PLC MICROLOGIX 1100**

Se requiere controlar los parámetros de pH, DQO, y también el accionamiento de actuadores como bombas y la dosificación de cloro por medio de un PLC, el cual maneja señales analógicas y digitales y para la comunicación entre la interfaz HMI empleando módulos PROFIBUS y PROFINET, por lo que los PLC de hardware Allen Bradley son una alternativa que facilita el montaje del sistema eléctrico, son fáciles de utilizar y robustos para el trabajo industrial y de esta manera se disminuyen los tiempos y costos de fabricación en comparación a una tarjeta PCB o una tarjeta ARDUINO que cumple con los mismos requisitos. Para seleccionar el PLC Micrologix más conveniente que se ajuste a nuestras necesidades, es necesario tener en cuenta: el tipo y cantidad de señales y el voltaje de operación de cada elemento en la planta.

- **Sistema electrónico de la planta.**
- **Señales analógicas:**
  - Señal de entrada desde el sensor de pH: 1
  - Señales de entrada desde el sensor óptico espectral: 1

- **Señales Digitales**

- Señales de entrada del sensor de nivel: 4
- Señal de entrada para pulsadores start, stop, parada de emergencia, switch de funcionamiento manual y automático: 5
- Señal de entrada de los pulsadores de accionamiento manual para las bombas de succión, retrolavado, retroalimentación, agitador y macerador: 5
- Señal de salida para la bomba macerador: 1
- Señal de salida para la bomba de retrolavado: 1
- Señal de salida para bomba de succión :1
- Señal de salida para bomba dosificadora de cloro: 1
- Señal de salida para switch de efluente, gases y válvula distribuidora y de coagulante:4
- Señal de salida para alarma : 1

- **Voltajes de operación**

- Voltaje para sensores y PLC : 5-24 V
- Voltaje para actuadores 110-220 V AC

Teniendo en cuenta todos los aspectos antes mencionados y para facilitar futuras adecuaciones y mejoras al sistema, se elegirá el controlador MICROLOGIX 1100 para el sistema eléctrico de la planta y acciones de control dentro de la misma.

Características específicas de las entradas y salidas digitales integradas del Controlador MICROLOGIX 1100.

- Incluye un puerto Ethernet/IP™ de 10/100 MBPS incorporado para mensajería entre dispositivos similares.
- Proporciona una memoria de 8 KB (4 KB de programas de usuario con 4 KB de datos de usuario).
- Permite el acceso, el monitoreo y la programación desde cualquier conexión Ethernet.
- Admite la edición en línea.

- Proporciona un servidor web incorporado que permite configurar los datos del controlador para que aparezcan como una página web.
- Contiene un puerto combinado RS-232/RS-485 aislado para comunicación en serie y conectada en red.
- Permite monitorear y modificar los datos del controlador a través de una pantalla LCD incorporada.
- Admite un máximo de 144 puntos de E/S digitales

Tabla 33.

## Características técnicas del Controlador MICROLOGIX.

<b>Controlador</b>	1000	1100	1500
<b>Dimensiones W x H x D (mm)</b>	90 x 100 x 75	90 x 110 x 87	110 x 100 x 75
<b>PID</b>		√	√
<b>Max. Local I/O - Digital</b>	32	16	28
<b>Max. Local I/O - Análoga</b>	2 entradas de voltaje y corriente 1 salida de corriente o voltaje	2 entradas de 0 a 10 V	
<b>Expansión local E/S</b>	Ninguno	64	512
<b>Memoria de programa</b>	Hasta 1 KB	Hasta 8 KB	Hasta 3.6 KB
<b>Programación Windows: Software RSLogix 500</b>	√	√	√
<b>Puertos en serie</b>	RS 232 mini DIN 8 pines	Combinado Rs 232/ RSD 485 aislado mini Din de 8 pines	[1] mini DIN 8 pines procesador 1764 -LSP [1] mini DIN 8 pines procesador 1764-LRP
<b>Puertos Ethernet</b>		√	



Figura 54. Controlador Micrologix 1100  
(Allen Bradley, 2015)

#### **4.4 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL.**

##### **4.4.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA**

Para realizar el control se va a seleccionar un PLC Allen Bradley de la serie SLC 500 Micrologix 1100, debido a su capacidad de expansión de entradas y salidas analógicas y digitales, con su software de RS Logix 500.

- **Software RSLogix 500**

Es un paquete de programación basados en dos, de Rockwell Software para el SLC 500 y Micrologix familias de microprocesadores, utiliza la programación tipo ladder para el desarrollo de instrucciones, puede comunicarse con cualquier procesador por puerto Ethernet o serial.

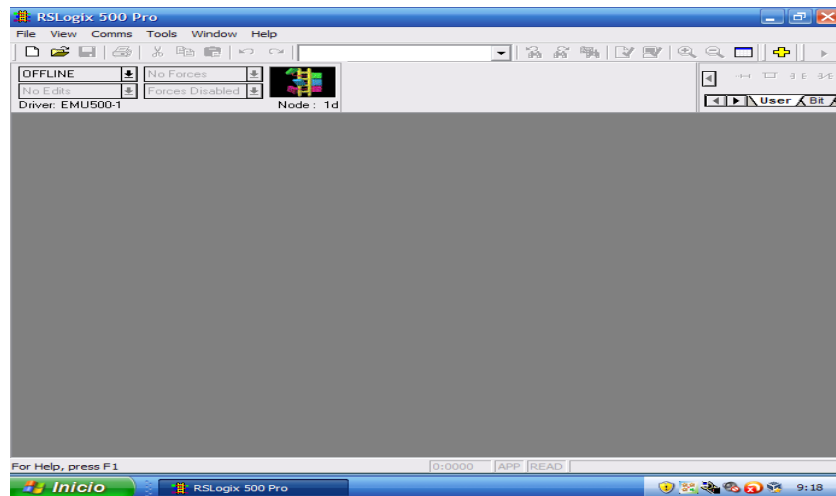


Figura 55. Software RS Logix 500 para controlador Micrologix 500  
Para su programación se realiza la selección del PLC, un Micrologix 1100.

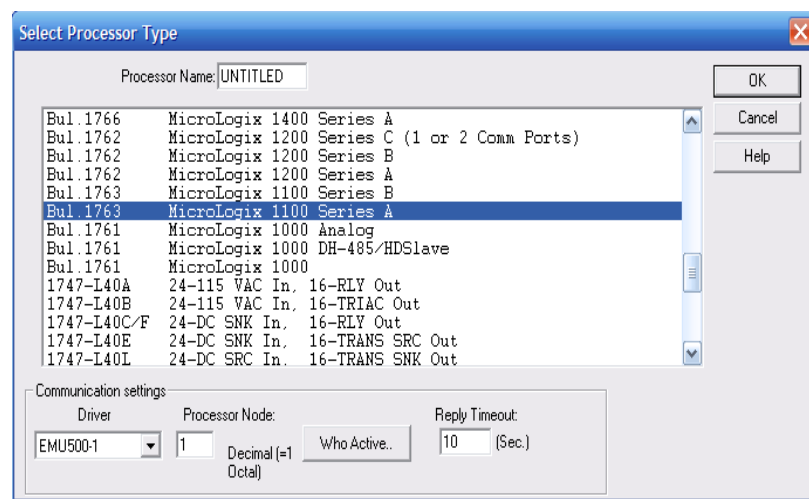


Figura 56: Selección procesador del PLC

- Cuadro de variables

Tabla 34.

Variables de entrada al PLC (Micrologix 1100)

ENTRADAS		
SIMBOLO	DIRECCIÓN	COMENTARIO
<b>PARADA DE EMERGENCIA</b>	I:0/0	Detiene el funcionamiento de la planta
<b>START_PTAR</b>	I:0/1	Arranque de la planta
<b>STOP_PTAR</b>	I:0/2	Pausa de la planta
<b>MANUAL</b>	I:0/3	ON manual de la planta
<b>AUTOMÁTICO</b>	I:0/4	ON automático de la planta

ENTRADAS		
<b>PULSADOR_SUCCIÓN</b>	I:0/5	ON manual bomba succión
<b>PULSADOR_RETROALIM</b>	I:0/6	ON manual bomba retroalimentación
<b>PULSADOR_MACERADOR</b>	I:0/7	ON manual del macerador
<b>PULSADOR_RETROLAV</b>	I:0/8	ON manual bomba de bomba retrolavado
<b>PULSADOR_AGITADOR</b>	I:0/9	ON manual del agitador
<b>PULSADOR_CLORO</b>	I:0/10	ON manual del bomba de cloro
<b>NIVEL_CLORO</b>	I:0/11	Sensor de nivel en tanque sedimentador para cloro
<b>NIVEL_COAG</b>	I:0/12	Sensor de nivel en tanque sedimentador
<b>NIVEL_EFLUENTE</b>	I:0/13	Sensor de nivel en tanque de verificación
<b>PH_INPUT</b>	I3:0/0	Lectura del sensor de PH
<b>DQO_INPUT</b>	I3:0/1	Lectura del sensor de DQO
<b>NIVEL_RECIPiente</b>	I3:0/2	Lectura del sensor de nivel tanque 1

Tabla 35.

Variables de salida del PLC (Micrologix 1100)

SALIDAS		
<b>SIMBOLO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>COMENTARIO</b>
<b>VÁLVULA COAGULANTE</b>	Q:0/0	ON para coagulantes
<b>SWITCH_EFLUENTE</b>	Q:0/1	ON para desfogue de agua tratada
<b>BOMBA DE SUCCIÓN</b>	Q:0/2	Actuador de bomba de succión
<b>MACERADOR</b>	Q:0/3	Actuador del macerador
<b>BOMBA DE RETROLAVADO</b>	Q:0/4	Actuador de bomba de retrolavado
<b>BOMBA DE RETRALIMENTACIÓN</b>	Q:0/5	Actuador de bomba de succión
<b>AGITADOR</b>	Q:0/6	ON del agitador
<b>VÁLVULA_DISTRIBUIDORA</b>	Q:0/7	ON de la válvula distribuidora
<b>FUNCIONAMIENTO_MANUAL_AUTO</b>	Q:0/8	Indicador de funcionamiento manual o automático
<b>ALARMA</b>	Q:0/9	Indicador alarma
<b>SWITCH_GASES</b>	Q:0/10	ON de switch de gases
<b>BOMBA_CLORO</b>	Q:0/11	Actuador de bomba de cloro

Tabla 36.

Variables auxiliares tipo booleanos y timer (Micrologix 1100)

<b>VARIABLES AUXILIARES</b>		
<b>SIMBOLO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>COMENTARIO</b>
<b>INICIO</b>	B3:0/0	Memoria de inicio de proceso
<b>AUX_MANUAL</b>	B3:0/1	Memoria de funcionamiento manual
<b>AUX_AUTOMÁTICO</b>	B3:0/2	Memoria de funcionamiento automático
<b>AUX_MAN_SUCCIÓN</b>	B3:0/3	Memoria ON manual de bomba succión
<b>AUX_MAN_RETROALIM</b>	B3:0/4	Memoria ON manual de bomba retroalimentación
<b>AUX_MAN_MACERADOR</b>	B3:0/5	Memoria ON manual del macerador
<b>AUX_MAN_RETROLAV</b>	B3:0/6	Memoria ON manual de bomba retrolavado
<b>AUX_MANUAL_AGITADOR</b>	B3:0/7	Memoria ON manual del agitador
<b>AUX_AUTO_SUCCIÓN</b>	B3:0/8	Memoria ON automático de bomba succión
<b>AUX_AUTO_RETROALIM</b>	B3:0/9	Memoria ON automático de bomba retroalimentación
<b>AUX_AUTO_RETROLAVADO</b>	B3:0/10	Memoria ON automático de bomba retrolavado
<b>AUX_AUTO_AGITADOR</b>	B3:0/11	Memoria ON automático del agitador
<b>AUX_SWITCH_EFLU</b>	B3:0/12	Memoria ON automático switch efluente
<b>AUX_VAL_DISTRIB</b>	B3:0/13	Memoria ON automático válvula distribuidora
<b>AUX_PH</b>	B3:0/14	Memoria ON valor de PH
<b>AUX_CLORO</b>	B3:0/15	Memoria ON manual de bomba de cloro
<b>AUX_AUTO_CLORO</b>	B3:1/0	Memoria ON automático de bomba de cloro
<b>EXTRA</b>	B3:1/1	Memoria auxiliar
<b>AUX_DQO</b>	B3:1/2	Memoria ON valor de DQO
<b>NIVEL_1</b>	B3:1/3	Memoria ON sensor tanque recepción nivel 1
<b>NIVEL_2</b>	B3:1/4	Memoria ON sensor tanque recepción nivel 2
<b>NIVEL_3</b>	B3:1/5	Memoria ON sensor tanque recepción nivel 3
<b>AUX_TEMP_RETROALIM</b>	T4:1	Temporizador ON retroalimentación
<b>AUX_TEMP_OF_RETROAL</b>	T4:2	Temporizador apagado de ON bomba retroalimentación
<b>TEMP_FUN_ON</b>	T4:3	Auxiliar encendido indicador de funcionamiento
<b>TEMP_FUN_OF</b>	T4:4	Auxiliar apagado indicador de funcionamiento

- **CÓDIGO IMPLEMENTADO EN LADDER**

El código que se implementa se adjunta el anexo 2.

#### 4.5 COMUNICACIÓN DEL SISTEMA.

En la simulación del sistema de control, utilizaremos el software RSlinx de Allen Bradley el cual nos permite comunicar el PLC y el ordenador, usando los protocolos de comunicación para los distintos modelos de hardware.

Primero seleccionamos el driver de acuerdo al tipo de cable con el que se está realizando el diseño, luego se agrega a la lista de drivers configurados.

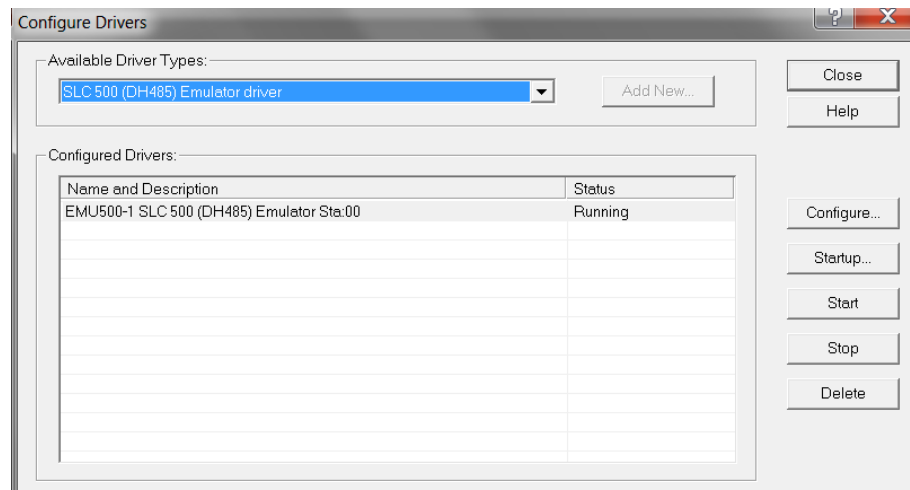


Figura 57. Configuración driver del PLC

En la siguiente figura observamos los equipos conectados al ordenador.



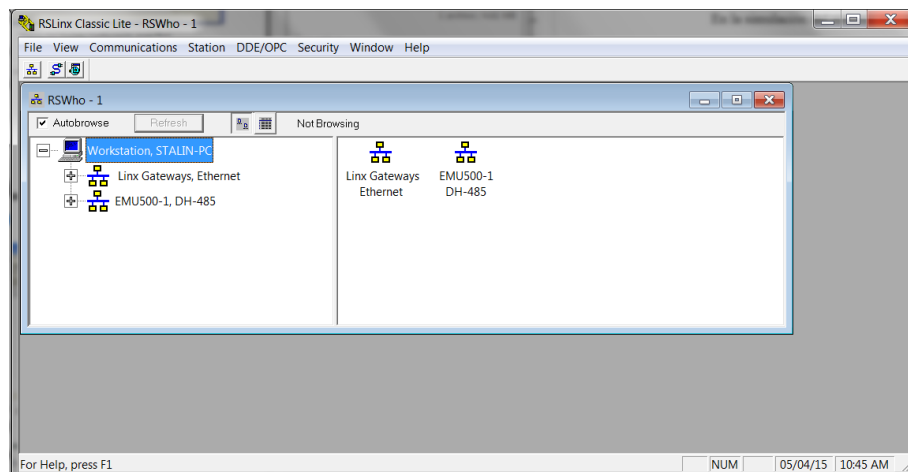


Figura 58. Pantalla de conexiones RSLinx Classic

- **Pantalla conexiones RSLinx Classic.**

Para completa la simulación del PLC utilizamos el software RSLogix Emulate 500 de Allen Bradley que simula la presencia de un PLC real conectado al ordenador. El RSLogix Emulate 500 ejecuta el programa ladder en el ordenador, lo cual nos permite tener una aproximación a lo que ocurrirá cuando carguemos el programa en el PLC.

- **Comunicación de RSLIX con LABVIEW**

Para efectuar la comunicación y llevar a cabo la simulación, usaremos el RSLinx OPC Server, el OPC es un estándar de comunicación en campo de control y supervisión de procesos, basados en la tecnología de Microsoft, mediante el cual podemos leer y escribir datos desde una interfaz HMI (Labview) a un (Micrologix 1100).

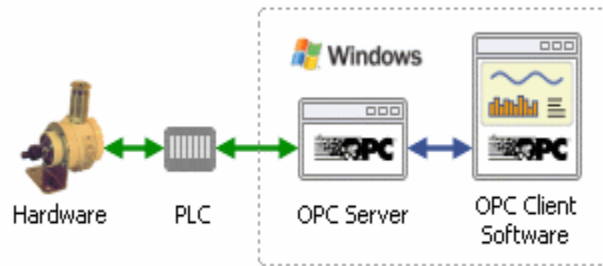


Figura 59. Comunicación servir-cliente OPC

FUENTE :( National Instrument, 2004)

Procedimiento:

- En el panel frontal de Labview vamos a implementar el HMI del proceso a simular.
- Abrimos RsLinx Classic Gateway, en la barra de menú, hacemos clic en “DDE/OPC” y en la ventana DDE/OPC Topic Configuration hacemos clic en “New”, le pondremos el nombre de tópico ENCLAVE, seleccionamos el controlador en el que está cargado el programa, clic en “Apply” y terminamos haciendo clic en “DONE”.

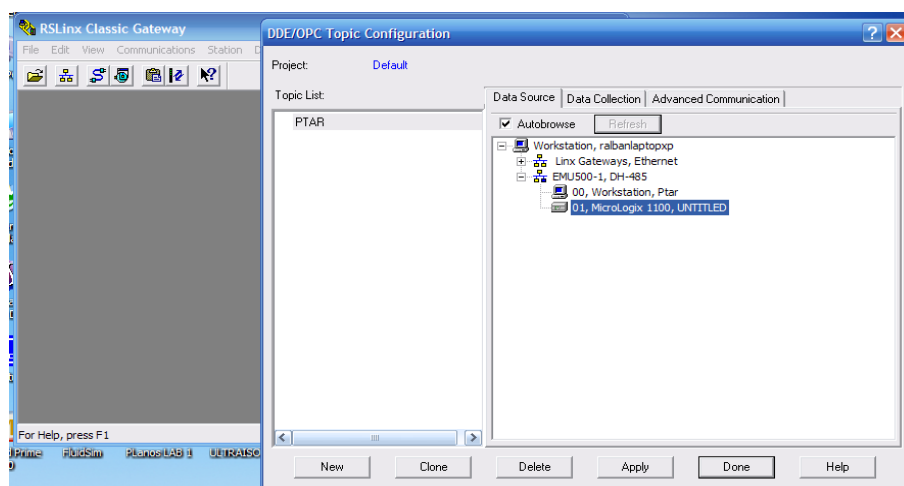


Figura 60: Creación del tópico para comunicar RS logix 500 y labview

- En labview, hacemos clic derecho en cada uno de los elementos que forma parte del HMI en el panel frontal, entonces clic derecho, “properties”.

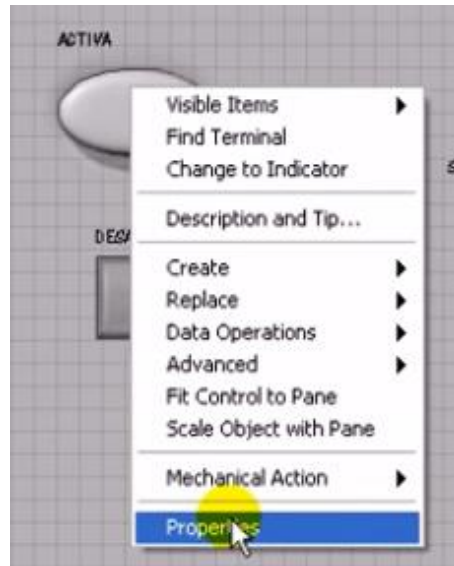


Figura 61. Configuración de los botones

- Aparecerá una ventana Boolean Properties: ACTIVA, clic en “Data Binding”, ahora Data Binding Selection, hacemos clic en DataSocket y en Access Type clic en read and write.

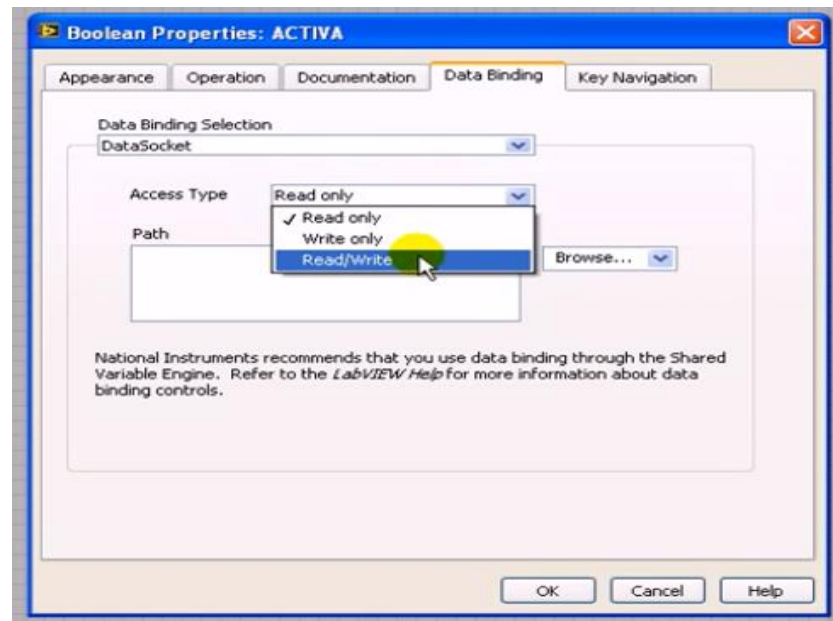


Figura 62. Configuración en el Boolean Properties: ACTIVA

- En la misma ventana clic en Browse, posterior clic en DSTP Serve.
- Aparecerá la ventana Select URL, ahí seleccionamos RSLinx OPC server.

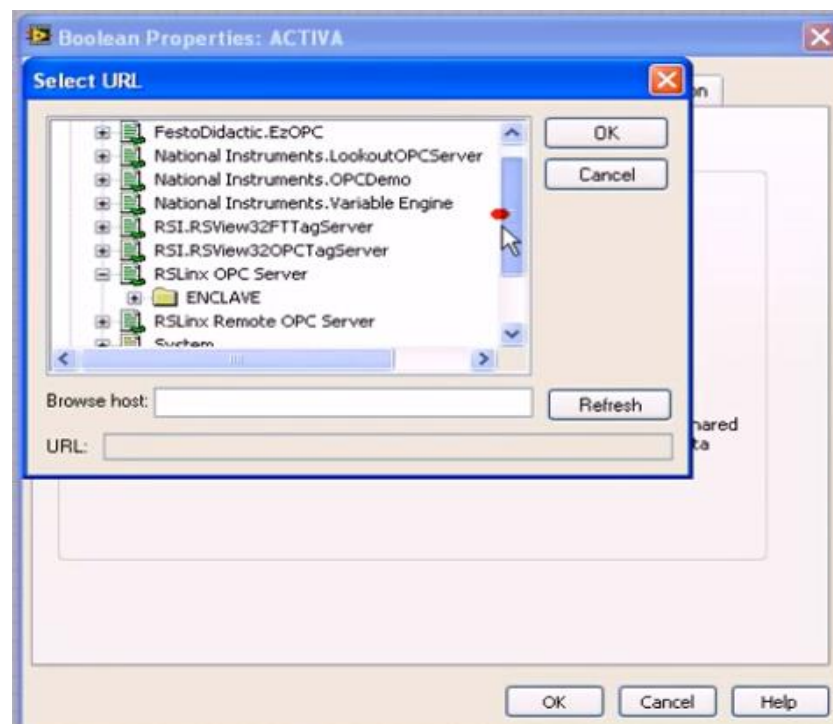


Figura 63. Selección del RS Linx OPC Server

- Una vez seleccionado el Rslinx OPC server, encontramos el t pico que creamos PTAR y posterior seleccionamos la carpeta online.

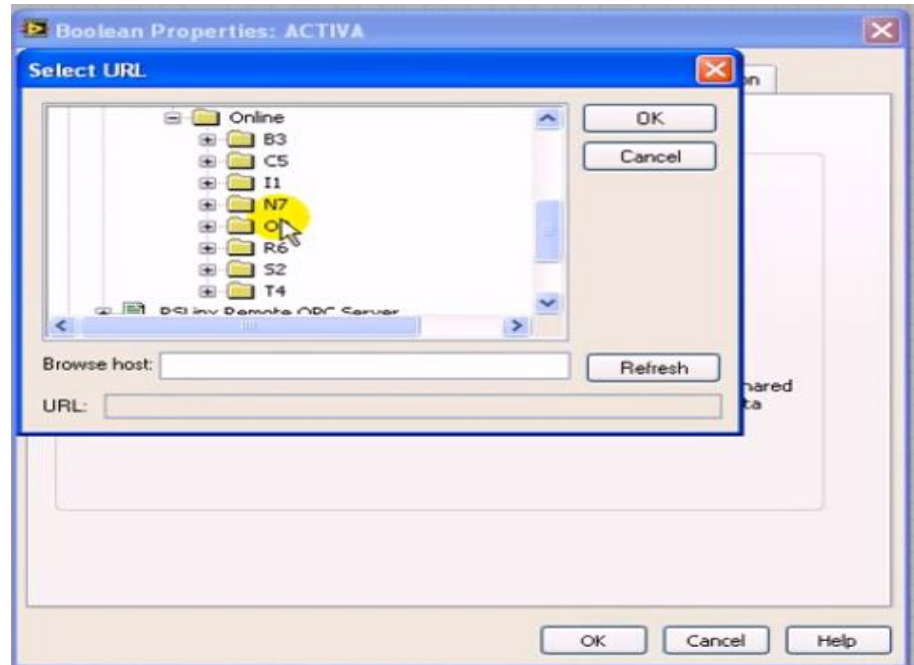


Figura 64. Variables Data File

- En la carpeta Online encontramos las variables que podemos relacionar con los data file (B3, I1, O1, T4 etc) de RS Logix 500, selecciono la variable que est  usando.
- Entonces en la ventana Boolean Properties: START\_PTAR, en Path: que la ruta de comunicación, para los demás elementos solo cambianos el tipo de data file en el Path. Y clic en OK.

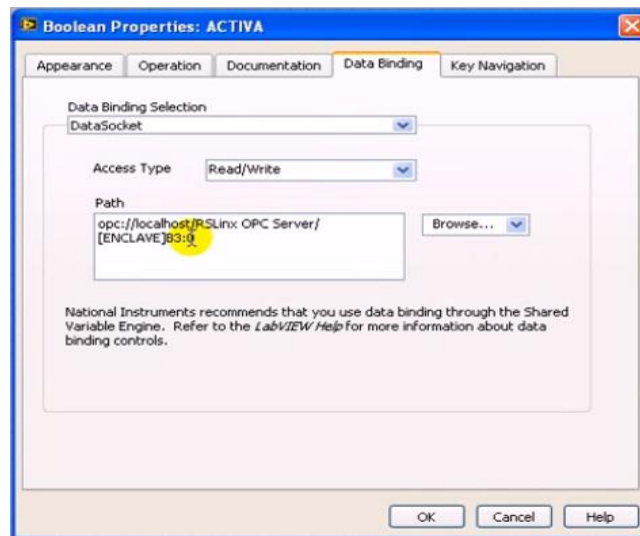


Figura 65. Visualización del Path

- En el panel de frontal de labview, si colocamos el cursor del mouse sobre el botón u otro elemento, nos aparecerá una pantalla diciendo: “conected”.
- Ahora en RS logix 500, ejecutamos el programa a MODO ONLINE, y podemos observar el funcionamiento de la comunicación.

## 4.6 DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE CONTROL.

### 4.6.1 DISEÑO DE INTERFAZ.

Para el diseño de la interfaz se va a utilizar el software de National Instruments LABVIEW 2010 para el control, monitoreo y mando de la máquina.

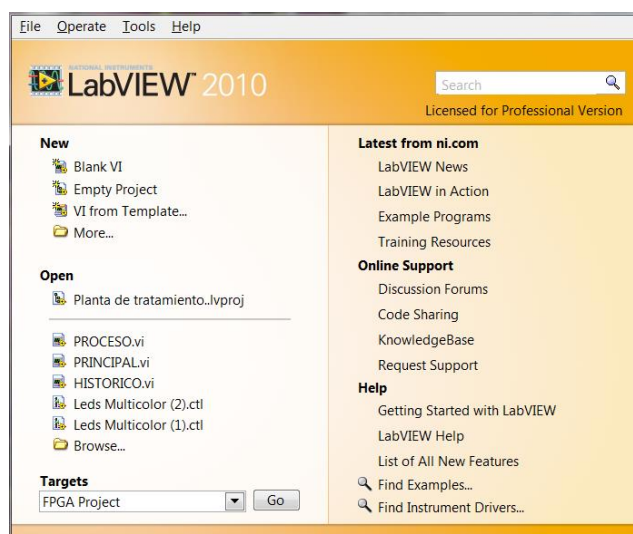


Figura 66. Pantalla inicial LABVIEW 2010

En cuanto al diseño del HMI se tomaran en cuenta las recomendaciones de la guía GEDIS.

El objetivo de realizar una simulación de la interfaz humana Maquina es comprobar el funcionamiento de la comunicación entre el programa del PLC y la interfaz Humano Maquina, además sirve para comprobar la lógica del PLC. La simulación de la interfaz se realizara con el software LABVIEW 2010.

Las pantallas del HMI están divididas de acuerdo al funcionamiento y a los requerimientos de la máquina.

La pantalla principal o inicio, nos permite iniciar sesión con una cuenta de usuario determinada, el cual dependiendo de los mismos, tendrán diferentes privilegios de acceso. El administrador y técnico supervisor serán los únicos que podrán configurar dichas cuentas.



Figura 67. Ventana principal de la interfaz gráfica.

El funcionamiento de la interfaz así como sus diferentes pantallas y cada una de las opciones de operación de la maquina se detallan en el manual de operación de la interfaz en el Anexo 1.

La programación del funcionamiento de las pantallas se realiza mediante toolkits o bloques de programación, los cuales permiten la animación de gráficos mediante variables creadas dentro del programa.

Tabla 37.

VARIABLES de animación interfaz gráfica.

<b>VARIABLES</b>	<b>ANIMACIÓN</b>
<b>Nivel</b>	Cambio de nivel del agua en el tanque tratamiento.
<b>Flujo</b>	Movimiento del agua por los sedimentadores.
<b>pH</b>	Toma de datos y grafica de los mismos.
<b>DQO</b>	Toma de datos y grafica de los mismos.
<b>Frontal</b>	Vista frontal de la conexión de los equipos.
<b>Lateral</b>	Vista frontal de la conexión de los Lateral.
<b>Cloro</b>	Dosificación de Cloro.
<b>Coagulante</b>	Dosificación de coagulante.

A los programas desarrollados bajo labview se les conoce como instrumentos virtuales o VI, debido a que la apariencia de los controles e indicadores se asemejan a los instrumentos físicos tales como osciloscopios y multímetros.

Todos los VI constan de un panel frontal y un diagrama de bloques, el panel frontal es la interfaz gráfica con el usuario en donde se presentan todos los indicadores y controles del programa simulando el panel físico de un instrumento, en donde se ingres los datos usando el Mouse o teclado para operar los controles, mientras que el diagrama de bloques está constituido por el código fuente del VI, es aquí donde se realizara toda la programación y procesamiento de datos de la aplicación que se requiere.

- **Adquisición de señales**

En nuestro caso la adquisición de señales provenientes del esclavo en este caso el PLC, quien es el encargado de enviar y recibir información, como el estado de sus entradas, señales de nivel, pH y DQO a través del protocolo de comunicación Modbus, se realizara con el software RSLinx el cual es encargado de realizar la comunicación entre PLC y LABVIEW.



- **Exhibición de magnitudes**

Para la exhibición de las diferentes magnitudes se utilizara los indicadores virtuales de labview, debido a que este programador dota de herramientas para crear y modificar el panel frontal como el diagrama de bloques, estas herramientas se utilizan en el panel frontal, contiene todos los indicadores y controles necesarios para el control y visualización de diferentes magnitudes.

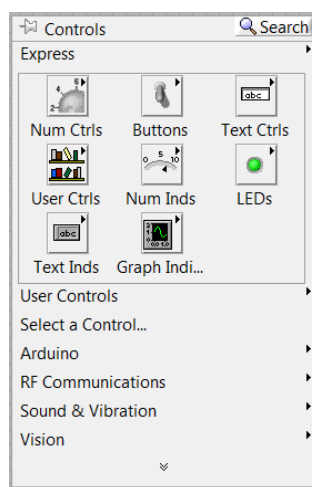


Figura 68. Herramientas del panel frontal de labview

Para visualización de las entradas y salidas PLC, se optó por un arreglo de LEDs que nos permite visualizar cada una de las entradas y salidas del PLC cuando se las active debido a que cada elemento del arreglo de tipo booleano y su control de activación depende únicamente del estado de los sensores.



Num Ctrls Para la creación de controladores.



LEDs Para la visualización de valores boléanos.



Text Ctrls Para la entrada de variables de texto.



Graph Indi... Para la presentación grafica de los resultados.

- **Procesamiento de datos.**

El procesamiento de datos se lo realizara directamente en el diagrama de bloques, que es donde se realizara toda la programación y procesamiento de la información

proveniente del PLC, utilizando los objetos que se requiere para la implementación del VI, ya sea funciones aritméticas, de entrada/salidas de datos, temporización de la ejecución del programa, estas herramientas se encuentran en la paleta de funciones dentro del diagrama de bloques.

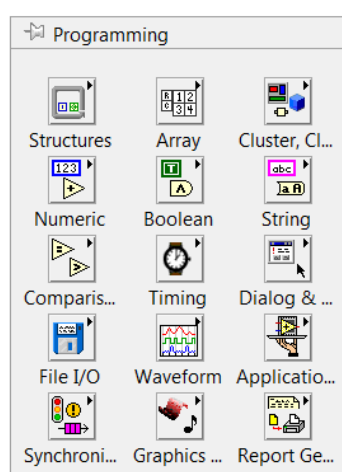
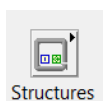


Figura 69. Herramientas para la programación en Labview.



Structures

Contiene las estructuras de control del programa junto con las variables locales y globales.



Numeric

Contiene funciones aritméticas y constantes numéricas.



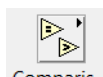
Boolean

Contiene funciones y constantes lógicas.



Array

Contiene herramientas útiles para procesar datos en forma de vectores, así como constantes de vectores.



Comparis...

Contiene funciones para comparar números, valores booleanos o cadenas de caracteres.



Timing

Contiene funciones para trabajar con cuadro de diálogos y retardos.

Todas las funciones presentadas anteriormente se utilizaran para el procesamiento de datos para la realización del programa final.

#### 4.7 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El sistema eléctrico es el encargado de alimentar a los sistemas de la PTAR, por ejemplo los dispositivos electrónicos (PLC) y el sistema de potencia de la maquina (bombas), también ayuda a controlar su correcto funcionamiento y proteger de posibles daños como cortocircuitos o sobrecargas.

Tabla 38.

Dimensionamiento, especificación de protecciones.

Dispositivo	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (KW)	Protección (15%)	Observaciones	Marca	Nº Parte
Bomba 1 HP	1	120	6,2	0,744	7,1	Guardamotor de 5 a 10 A, set en este rango	Allen Bradley	140M-F8E-C10
Bomba 1/2 HP	1	120	3,1	0,372	3,6	Breaker unipolar C1 120VAC	Allen Bradley	1492-SP1C010
Bomba 1 1/2 HP	1	120	9,3	1,116	10,7	Breaker unipolar C2 120VAC	Allen Bradley	1492-SP1C020
Fuente de poder.	1	120	5	0,600	5,8	Breaker unipolar C3 120VAC	Allen Bradley	1492-SP1C030
Bomba de cloro	1	115	1,74	0,200	2,0	Breaker unipolar C4 120VAC	Allen Bradley	1492-SP1C040
PLC Micrologix 1100	1	120	1	0,120	1,2	Breaker unipolar C5 120VAC	Allen Bradley	1492-SP1C050
Válvula de dosificación	1	24	0,5	0,012	0,6			
Válvula solenoide	1	24	0,5	0,012	0,6			
Sensor de nivel	3	24	0,5	0,036	0,6			
Sensor de pH	1	5	0,2	0,001	0,2			
Sensor de DQO	1	24	0,5	0,012	0,6			
Luz piloto	12	24	0,25	0,072	0,3			
Pulsador / selector	8	24	0,25	0,048	0,3			
Contactador Bobina	3	24	1	0,072	1,2	Contactador para bomba de 1,5 HP, 120 VAC	Allen Bradley	100-C43
<b>Corriente Total</b>		30,04						

#### Guardamotor

Es un disyuntor magneto-térmico ajustable, que proporciona diferentes funciones en una sola unidad compacta para la protección del motor. Entre las principales características del Guardamotor tenemos, la alta capacidad de interrupción, la

intensidad nominal y la curva de disparo. Se lo utilizara para la protección a sobrecargas del motor, elevado nivel de corriente de cortocircuito, y perdida de fase.



Figura 70. Guardamotor Allen Bradley 140M-F8E-C45.

(Allen Bradley, 2015)

### **Interruptor Termomagnético o Breaker**

También conocido como Breaker, son dispositivos orientados para desconectar un circuito cuando esta sobrepasa valores límite. Consta de una lámina bimetálica en la cual debido al paso de corriente se calienta (efecto Joule) y al pasar cierto límite establecido por el fabricante, se deforma y abre el circuito, lo cual se conoce como sobrecarga. Otro componente del Breaker, es el electroimán el cual debido al paso de corriente crea una fuerza la cual mediante un dispositivo mecánico abre el circuito en caso de que la corriente sobrepase un límite fijado, lo que se conoce como cortocircuito.



Figura 71 Protectores suplementarios 1492-SPM

(Allen Bradley, 2015)

Los interruptores Termomagnéticos de uno o dos polos operan en un rango de 15 a 50 amperes, son utilizados para conexiones eléctricas de uso doméstico y comercial. En el rango de 60 a 100 amperes de uno, dos y tres polos en toda su gama, y de mayor capacidad de amperaje se emplean polos en toda su gama, y de mayor capacidad de amperaje se emplean cuando existe una mayor demanda de carga eléctrica como una instalación industrial.

### Contactores

Es un dispositivo electromecánico de conexión y desconexión eléctrica, funciona mediante una fuerza generada por una bobina que actúa como electroimán de sus contactos. Un dato importante de un contactor es la tensión a aplicar a la bobina de accionamiento, así como su intensidad o potencia. Hay varias tensiones de accionamiento, tanto para corriente continua como alterna siendo comunes, 24, 48, 220, y 380V.



Figura 72. Contactor Allen Bradley 100- C09ZJ10  
(Allen Bradley, 2015)

### Tablero Eléctrico

El tablero de distribución eléctrica contiene todos los circuitos y componentes de conexión, maniobra, comando, protección, alarma. El tablero debe seguir criterios de diseño y normativas para seguridad de los operarios y de la instalación donde se encuentra localizado. El tablero está formado por los componentes físicos como,

láminas de hierro o acero, soporte, compartimentos, barras de aluminio o cobre, tornillería y también por los componentes eléctricos de baja, mediana y alta tensión.



Figura 73. Tablero de control eléctrico  
(Creativosonline, 2015)

### Dimensionamiento de cables

Tabla 39.

Dimensionamiento de cables.

Conexión/Red	Requerimiento corriente máxima	Calibre AWG	Sección diámetro
Electrónica de control	0,5A	18	1 mm
Distribución eléctrica	10A	14	1,6 mm
Bombas	10A	14	1,6 mm

### 4.8 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.

Los diagramas eléctricos se desarrollan en base a la Normativa IEC para documentación electrotécnica. Los diagramas se muestran en el Anexo 5.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 5.1 ANÁLISIS DE COSTOS

##### 5.1.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos corresponden al valor de la máquina, es decir sus componentes, ensamblaje que conforman la máquina. También la mano de obra y costos de fabricación están incluidos en este rubro.

Tabla 40.

Costos Directos.

Elementos	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
<b>COMPONENTES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS</b>			
Fuente DC	1	15	15
Controlador Micrologix 1100	1	455	455
Sensor de nivel Switch Pointek CLS 100	1	377	377
Sensor analógico de pH	1	96,95	96,95
Sensor óptico espectral de DQO	1	300	300
Arduino uno	1	37,09	37,09
Cable Eléctrico	15	0,5	7,5
Variador de velocidad	1	150	150
Computadora	1	450	450
Breaker Allen Bradley	1	20,5	20,5
Contactores Allen Bradley	3	25,9	77,7
Selector	1	2	2
Pulsadores	5	2	10
Indicadores	10	1	10
Interruptor	1	2	2
Tablero Eléctrico	1	30	30
<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO PRIMARIO</b>			
Tanque de recepción 0.5m x 0.4 m x 0,35 m, t=3 mm, Acero ASTM-A36	3,5	58,875	206,0625
Tapa de tanque 0,515m x 0,35m t=3 mm Acero ASTM-A36	0,5	58,875	29,4375
Bomba macerador 1 hp, 115 VAC, 60 Hz	1	315	315

<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Juego de arandela, tuerca y perno de anclaje M14	8	0,6	4,8
Bomba de flujo y motor 1,5 hp 3450 RPM	1	312,5	312,5
Juego de arandela, tuerca y perno de anclaje M14	4	0,6	2,4
Válvula de globo	2	71,84	143,68
Codo de 1 1/2" para tubería de PVC, de 90 grados E/C, radio corto	6	1,6	9,6
Válvula de distribución 5 vías 2 posiciones.	1	40	40
Tubería de PVC de 1 1/2" de diámetro de 1.00 MPa, de 6 mt. de longitud	1	9,58	9,58
Tubería de PVC de 3" de diámetro de 1.00 MPa, de 1 mt. de longitud	1	2,12	2,12
Rejilla de retención de sólidos	1	75	75
<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO SEGUNDARIO</b>			
Tanque sedimentador 0.235 m x 0.235 m x 0.5 m , t=3 mm Acero ASTM-A36	6	58,875	353,25
Tapa de tanque 0,482m x 0,241m t=3 mm Acero ASTM-A36	3	58,875	176,625
Tubería de PVC de 1 1/2" de diámetro de 1.00 Mpa, de 6 mt. de longitud	0,5	9,58	4,79
Codo de 1 1/2" para tubería de PVC, de 90 grados E/C, radio corto	5	1,6	8
Tubería de PVC de 3/4" de diámetro de 1.00 Mpa, de 2 mt. de longitud	1	1,5	1,5
Codo de 3/4" para tubería de PVC, de 90 grados E/C, radio corto	5	1,2	6
Tee de 3/4" para tubería de PVC, U/Z	3	14,79	44,37
Tubería de 4 vías 3/2", PVC.	1	14,79	14,79
<b>SISTEMA DE RETROLAVADO CON AGUA DE MAR</b>			



<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Bomba de flujo 0,5 HP	1	165	165
Juego de arandela, tuerca y perno de anclaje M12	4	0,6	2,4
Codo de 1/2" para tubería de PVC, de 90 grados E/C, radio corto	3	0,5	1,5
Manómetro	1	24,88	24,88
Válvula Solenoide	1	194	194
Switch de presión	1	20	20
Tubería de PVC de 1/2" de diámetro de 1.00 Mpa, de 6 mt. de longitud	1	4,25	4,25
<b>SISTEMA DE COAGULANTE Y AGITADOR</b>			
Tanque de coagulante 0.3m x 0.2 m x 0,3 m, t=3 mm, Acero ASTM-A36	1	58,875	58,875
Juego de arandela, tuerca y perno de anclaje M6	1	0,6	0,6
Codo de 1/2" para tubería de PVC, de 90 grados E/C, radio corto	4	0,5	2
Electroválvula de 2 vías.	1	160	160
Tubería de PVC de 1/2" de diámetro de 1.00 Mpa, de 6 mt. de longitud	0,25	4,25	1,0625
Agitador	1	15	15
Motor a pasos	1	35	35
<b>SISTEMA DE PURIFICACIÓN</b>			
Tanque de cloro 0.48m x0.35 mx 0,24 m, t=3 mm, PET	1	30	30
Bomba dosificadora de Cloro 4,8 GPH	1	343	343
Juego de arandela, tuerca y perno de anclaje M8	1	0,6	0,6
Tubería de PVC de 1/2" de diámetro de 1.00 Mpa, de 6 mt. de longitud	0,5	4,25	2,125
Codo de 1/2" para tubería de PVC, de 90 grados E/C, radio corto	6	0,5	3
<b>ENSAMBLAJE Y FABRICACIÓN.</b>			
Soldadura		900	900
Maquinado de partes		40	40

<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Herramientas		50	50
Sistemas de pintura Epoxi		101.1	202.2
Montaje		150	150
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 6205,74</b>

### 5.1.2 COSTOS INDIRECTOS.

Dentro de este rubro se encuentran los costos que no son materiales directos o mano de obra directa, como por ejemplo la energía, mano de obra indirecta, materiales indirectos, así como otros gastos técnicos y administrativos.

Tabla 41.

Costos Indirectos.

<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>MATERIALES INDIRECTOS</b>			
Lubricantes, Pegamento		30	30
<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>			
Diseño e ingeniería			1200
Programación PLC, comunicación			225
Diseño Interfaz			150
Planos Mecánicos			350
Diagramas Eléctricos			100
<b>RUBROS OPERACIONALES</b>			
Agua			10
Energía Eléctrica			50
Teléfono/Celular			20
Transporte			80
Alimentación			200
Internet			35
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 2450</b>

**5.1.3 COSTO TOTAL.**

Tabla 42.

Costo Total.

<b>COSTOS</b>	<b>VALOR</b>
<b>COSTOS DIRECTOS</b>	\$ 6205,74
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>	\$ 2450
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8655,74</b>

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- Los mejores métodos para tratar las aguas residuales provenientes de embarcaciones como los buques remolcadores es el Físico – Químico, como tratamiento preliminar se seleccionó la maceración para reducir las partículas sólidas disueltas en el agua a un tamaño menor a 3mm que es lo más óptimo para el tratamiento primario.
- El método seleccionado para el tratamiento primario es la sedimentación con sustancias químicas, por la cantidad de remoción de contaminantes: sólidos suspendidos entre 70-90%, grasas y aceites más del 90% y la materia orgánica entre el 50-60% con un tiempo de retención de 0.5 h en la configuración de los 6 tanques.
- El método utilizado para la desinfección fue hipoclorito de sodio con una pureza del 90%, principalmente por la disponibilidad en el mercado y también porque se descompone fácilmente en pocos días.
- Para el diseño de los planos mecánicos partimos de la cantidad de agua que se va a tratar en la planta que en nuestro caso es 3180 l/día correspondiente a 12 personas , a partir de este dato se realizó el diseño de los componentes mecánicos y a su vez los planos de los mismos.
- Se agrega coagulante denominado Sulfato de Aluminio en una concentración de 60 ppm como procedimiento previo a la sedimentación, para desestabilizar las partículas coloidales, de forma que las mismas logren constituir partículas de mayor diámetro, para aumentar el porcentaje de sedimentación y un sistema de agitación a 150 rpm con un motor a pasos NEMA 21 con el propósito alcanzar una mezcla homogénea.
- Se utiliza con desinfectante en el cuarto tanque de los sistemas modulares de sedimentación de agua residual Hipoclorito de sodio en una concentración de 5 ppm, para eliminar todo tipo de bacterias aeróbicas y anaeróbicas.
- Se diseñó los planos eléctricos según la normativa IEC, la parte de potencia y de control debidamente detallado los componentes eléctricos y electrónicos.

- Para la propuesta de automatización se seleccionó un controlador que cumpla con los requerimientos de la planta, 3 entradas analógicas, 13 entradas digitales, y 11 salidas digitales, en nuestro proyecto es un PLC de la marca Allen Bradley (Micrologix 1100) y su programación se la realizó en el software de la misma marca RSLogix 500.
- La simulación se realizó en el software LABVIEW 2010 de la compañía National Instruments el cual nos permite simular condiciones reales por medio de una interfaz gráfica, En la simulación observamos la operación automática o manual de la planta de tratamiento de aguas residuales, por medio de la activación de sensores y actuadores.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio previo en el laboratorio de los tipos de contaminantes y el nivel de contaminación del agua que se va a tratar en nuestra PTAR.
- El acondicionamiento de las señales de los sensores de nivel, pH y DQO depende del sensor a utilizar, en la práctica se puede utilizar otros sensores a los recomendados en este proyecto.
- Para la dosificación óptima de coagulantes y desinfectante es necesario la construcción de una planta en físico, para poder ejecutar el análisis de agua y realizar el ajuste adecuado.
- Para el diseño de los tanques de tratamiento considerar el material con cual se va a construir, esto dependerá del tipo de contaminantes del agua en cuestión.
- Se deben tomar las debidas precauciones de seguridad tanto para la maquina como para el operario, si se realizan adecuaciones adicionales se puede exceder la capacidad de trabajo de la PTAR.
- Por seguridad se recomienda mantener los privilegios de ingreso de usuarios en la interfaz gráfica, así como el manejo de claves de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen Bradley. (17 de 04 de 2015). *Rockwell Automation*. Obtenido de <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12768/229240/229254/229469/3100802/print.html>
- ARDUINO. (2015). *Arduino uno*.
- Boulanger Jiménez, F. J., Espinoza Gutiérrez, C. L., & Fonseca Retana, L. (2007). *Ingeniería Económica*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Cardenas, Y. (2000). *Trtamiento de agua coagulación y floculación*. Lima.
- CHARLOTTE, PIPE AND FOUNDRY COMPANY. (2015). *Plasticos manual técnico y de instalación*. Cedar city, Utah.
- Chauca Chicaiza , A. F., & Orozco Cantos, L. S. (2012). *Diseño e implemntacion de un sistema automizado para la dosificacion de cloro en el tratamiento de agua potable en la comunidad san vicente de lacas*. Riobamba .
- Chile, H. I. (27 de 04 de 2015). *HANNA Instruments*. Obtenido de <http://www.hannachile.com/productos/bombas-dosificadoras/bombas-dosificadoras-blackstone>
- Construmática. (13 de 05 de 2015). *Construmática* . Obtenido de [http://www.construmatica.com/construpedia/Pinturas\\_para\\_Superficies\\_Met%C3%A1licas](http://www.construmatica.com/construpedia/Pinturas_para_Superficies_Met%C3%A1licas)
- Cortina, E. (2010). *Bridas ANSI 150lb*.
- Creativosonline. (17 de 04 de 2015). *Sistemas Eléctricos Integrados*. Obtenido de <http://sei.com.pe/tablero-gerx/>
- EBARA. (2011). *Productos de bombeo para agua limpia y aguas residuales*. Obtenido de [http://www.pumpsebara.com/docs/EFHD\\_CoBrSP.pdf](http://www.pumpsebara.com/docs/EFHD_CoBrSP.pdf)

Formación de flóculos con Bentonit. (10 de 05 de 2015). *El proceso BEKOSPLIT*.

Obtenido de [http://www.beko.de/fileadmin/pictures/bentonit\\_flocken.jpg](http://www.beko.de/fileadmin/pictures/bentonit_flocken.jpg)

FOUS, S. A. (2006). *Principios de operaciones unitarias*. Azcapotzalco, México D.F: Continental S.A de C.V.

Gonzales, M. (2012). *Estudio y diseño de una planta depuradora de aguas residuales*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Guerra Ludeña, S. R. (2013). *Diseño y simulacion de una prensa granuladora de madera automatizada de hasta 200 kg/hr para la empresa reciclajes MYM S.A*. Sangolquí.

HIDROCHILE. (2012). *Sondas Espectrales UV VIS Online DQO/DBO/Nitrato/Nitrito/SST*. Lo Barnechea. Chile.

Hopkins, J. (2000). *American Journal of Epidemiology*.

IPAC. (13 de 05 de 2015). *IPAC*. Obtenido de <http://www.ipac-acero.com/certificados.ph>

KENNETH, J. (2002). *Bombas, selección , uso y mantenimiento*. México: McGraw-Hill.

KING, W. (28 de 04 de 2015). Obtenido de [http://anaheimmfg.com/wp-content/uploads/product\\_pdf/household\\_disposers/domestic\\_disposers/waste\\_king/EZ-mount/Waste%20King%20Legend%20EZ-Mount%20L-8000%20Specifications.pdf](http://anaheimmfg.com/wp-content/uploads/product_pdf/household_disposers/domestic_disposers/waste_king/EZ-mount/Waste%20King%20Legend%20EZ-Mount%20L-8000%20Specifications.pdf)

LEÓN E, J. (2001). *Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión*. Inglesa.

Marin Ocampo, A., & Osés Pérez, M. (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamientos de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. MÉXICO DF: Arturo Nelson Villareal.

- Melgar L, J. F. (2011). *Estudio de los servicios sanitarios de generación, tratamiento y alimentación de agua dulce, técnica, potable y agua fría, y de las descargas sanitarias de un Bulk-carrier de unas 16000 TPM*. Cadiz, España: Universidad de Cadiz.
- Molina, L. (2006). *Planta de tratamientos de aguas residuales industriales de promarosa CIA.LTD*. Guayaquil, Ecuador.
- Mott L., R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México D.F: Pearson Education.
- PEDROLLO. (27 de Abril de 2015). *Catalogo pedrollo*. Obtenido de <http://www.pedrollo.com/dms/Documentazione%20Tecnica/ESP/CP%200.37-0.22%20-%2060Hz%20ES.pdf>
- Quezada Cepeda, D. P. (2014). *Diseño y construcción de un robot todo terreno utilizando el sistema rocker-bogie y teleoperado inalámbricamente para el laboratorio de robótica de la universidad de las fuerzas armadas-ESPE*. Sangolquí.
- Rodrigo, A. F., & Gonzales M., G. (2001). *apoyo didáctico en la enseñanza-aprendizaje de la asignatura de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor San Simón.
- SERVICES, T.-C. (21 de 04 de 2015). *TTS-CIPTEC*. Obtenido de [http://www.tts-ciptec.com/uploads/files/Ciptec-COD\\_1.pdf](http://www.tts-ciptec.com/uploads/files/Ciptec-COD_1.pdf)
- SIEMENS. (2014). *p*.
- SIEMENS. (2014). *Pointeck CLS 100*.
- SIEMENS. (2015). *Controlador SIMATIC S7 - 1200*.
- Tebutt, T. (2003). *Fundamentos de control de calidad de agua*. MEXICO DF: LIMUSA NORIEGA.



