

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL MONITOREO DE OXIGENO DISUELTO

Miguel Esteban Álvarez Mendoza
Johny Alexander Gamboa Metaute

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Director(es) del trabajo de grado.
M.Sc. MANUEL ALEJANDRO OSPINA ALARCÓN

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
MEDELLIN
2014

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

RESUMEN

El objeto principal de este trabajo, es diseñar una planta piloto para el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto. Mediante el diseño se pretende establecer medidas, equipos, instrumentos y accesorios que permitan las condiciones adecuadas para el monitoreo de oxígeno disuelto en cierta cantidad de agua, con la posibilidad de manipular y medir en tiempo real las variables presentes en el proceso tales como temperatura, presión, nivel flujo.

Para el desarrollo del diseño de la planta piloto se establecieron tareas puntuales, que sirvieron y orientaron a llevar a cabo el objetivo general del trabajo. A continuación se presenta la metodología establecida:

1. Definir tamaño de la planta piloto.
2. Definir los materiales necesarios para el diseño de acuerdo con sus características.
3. Elaborar un plano de las partes mecánicas y los equipos de la planta piloto.
4. Diseñar la planta piloto en un programa computacional de dibujo.
5. Investigar sobre los instrumentos adecuados para la planta piloto.
6. Seleccionar los instrumentos más adecuados para la planta piloto.
7. Elaborar un diagrama de instrumentación (P&ID) de la planta.
8. Elaborar un plano o diagrama de las conexiones de la instrumentación.

En el desarrollo del diseño de la planta piloto se encontró, que mediante el dimensionamiento y cálculos se logran resultados en la selección adecuada de los equipos como: la electrobomba y la resistencia eléctrica. A continuación se describen los principales datos técnicos de los equipos que resultaron de los cálculos para incorporarlos a la planta piloto.

Electrobomba trifásica en acero inoxidable de **1 HP** y una resistencia eléctrica de **590 W** trifásica sumergible.

Finalmente se ve la necesidad de recrear y controlar ambientes donde se involucran cantidades de oxígeno disuelto en el cual las bacterias puedan tener condiciones óptimas para la vida.

Palabras clave: oxígeno disuelto, transferencia de calor y masa, biorreactores normas isa, dibujo CAD

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

RECONOCIMIENTOS

A nuestro director. MANUEL ALEJANDRO OSPINA ALARCON

A JHON ALEXANDER ISAZA Y JOSE FERNANDO GARCIA TIRADO.

AL Semillero de investigación en automatización.

A nuestras familias por el gran apoyo brindado.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

ACRÓNIMOS

AC: Corriente alterna (por sus siglas en inglés)

$^{\circ}\text{C}$: Temperatura en escala de Celsius.

CAD: Dibujo asistido por computador (por sus siglas en inglés)

HL: Pérdida de carga en metros

HP: Caballos de fuerza (por sus siglas en inglés)

in: Pulgada

J: Joule

Kcal: Kilocaloria

KJ: Kilojoule

Kw: Kilovatios

kWh: Kilovatio hora

l: Litros

m: Metros

mA: Miliamperios

min: Minutos

mm: Milímetros

PLC: Control lógico programable (por sus siglas en inglés)

s: Segundo

T: Temperatura

T_f : Temperatura final

T_i : Temperatura inicial

V: Voltaje

W: Vatios

3D: Tercera dimensión

ρ : Densidad

ϕ : Diametro

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1.1 Generalidades | 6 |
| 1.2 Objetivos | 7 |
| 1.3 Organización del trabajo | 7 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 8 |
| 3. METODOLOGÍA | 16 |
| 3.1 Dimensionamiento de la planta piloto | 16 |
| 3.2 Definición de materiales para el diseño la planta piloto | 16 |
| 3.3 Planos de apoyo de partes mecánicas | 19 |
| 4. RESULTADOS | 25 |
| 4.1 Identificación de equipos | 25 |
| 4.2 Identificación de instrumentos | 26 |
| 4.3 Accesorios | 27 |
| 4.3.1 Condiciones de operación | 27 |
| 4.3.2 Cálculos de consumo | 28 |
| 4.3.3 Cabeza dinámica total de la bomba | 28 |
| 4.3.4 Cálculos de la resistencia | 33 |
| 4.3.5 Selección de instrumentos | 35 |
| 4.4 Diagrama de conexión de instrumentos | 49 |
| 4.5 Diagrama de proceso (P&ID) | 50 |
| 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO | 52 |
| REFERENCIAS | 54 |
| Apéndice A | 55 |
| Apéndice B | 56 |
| Apéndice C | 57 |

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades.

Se desarrolló un diseño de una planta piloto donde se involucraron fenómenos de transferencia de calor y masa que permiten el monitoreo de oxígeno disuelto en agua, con la posibilidad de medir e intervenir las variables que estén presentes en el proceso de oxigenación. Por medio de cálculos de pérdidas y consumos, se dimensionan los equipos adecuados para que las condiciones de operación establecidas sean posibles.

La medición de las variables se hará de manera electrónica lo que permitirá obtener datos específicos de las variables, esto con el fin de intervenir en las características dinámicas que puedan afectar la correcta operación del proceso.

La idea del diseño de una planta piloto para el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto surge como un potencial punto de partida para pruebas posteriores de control y optimización de biorreactores.

Esta planta piloto busca establecer el estudio de los diferentes conceptos que se refieren a la transferencia de calor, pérdidas en tuberías, dimensionamiento y selección de una bomba, monitoreo de oxígeno, medición de nivel y temperatura. Factores que se involucran directamente en el control y medición de las variables de un proceso. Esto da lugar a que se midan y se obtengan datos de las variables, mediante la cuantificación de los cambios que surgen a partir de la puesta en marcha de un diseño experimental. Con los datos obtenidos se busca crear modelos de control que permitan la optimización del proceso en cuanto a la medición dinámica de temperatura, caudal, nivel de fluidos como agua y concentración de oxígeno disuelto.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

1.2. Objetivos.

General

- Diseñar una planta piloto para el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto.

Específicos.

- Definir parámetros de operación, geométricos y características de los materiales para la construcción de la planta piloto.
- Diseñar la planta piloto y su estructura mediante la elaboración de planos en programas computacionales de dibujo.
- Seleccionar la instrumentación adecuada para las variables del proceso.
- Elaborar un Diagrama de Instrumentación y Proceso (P&ID) y un diagrama de conexiones de la instrumentación.

1.3. Organización del trabajo.

El proyecto está estructurado principalmente en cuatro fases.

La primera fase contiene el marco teórico, y reúne los conceptos involucrados acerca de los fenómenos de transporte de transferencia de calor y masa además de la selección adecuada de equipos e instrumentos que intervienen en el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto. La segunda fase describe la metodología utilizada para la realización del diseño de la planta piloto, posteriormente en la tercera fase se describen los resultados basados en los cálculos realizados en el dimensionamiento y diseño de la planta piloto; finalmente se describen las recomendaciones y todos las conclusiones derivadas del diseño de la planta piloto, con el propósito de que en trabajos futuros tengan todas las bases necesarias para el estudio de aplicaciones de control avanzado en biorreactores.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

2. MARCO TEÓRICO

El proyecto involucra conceptos teóricos tales como matemática aplicada, termodinámica, mecánica de fluidos, diseño mecánico e instrumentación industrial.

Poder modelar el comportamiento de una mezcla líquido-gas a partir de los principios de conservación de la masa, cantidad de movimiento y energía permiten estudiar los fenómenos de transferencia de calor y masa involucrados en bioprocesos además de realizar cálculos para la selección de los dispositivos adecuados con la finalidad de medir y controlar el proceso. Para el transporte del líquido se debe tener en cuenta el diseño de la tubería y la selección de la bomba que se requiere para este tipo de planta piloto y bajo qué condiciones puede operar.

La instrumentación es una parte muy importante porque de una buena medición y manipulación de las variables se puede comprender y apreciar mejor el comportamiento dinámico del proceso, por eso se vuelve importante conocer los instrumentos adecuados que permitan la obtención de resultados coherentes. Se debe tener conocimiento de la conexión y funcionamiento de los instrumentos seleccionados.

El diseño de esta planta piloto debe realizarse previamente en un software que permita visualizar sus aspectos geométricos y operacionales. Se debe tener manejo de AutoCAD[®] o cualquier otro programa de diseño.

Se presentan los principales aspectos teóricos que se deben tener en cuenta para proponer los objetivos del proyecto.

Transferencia de calor.

En esencia, el calor es una forma de energía desorganizada y alguna desorganización (entropía) fluiría con este. La transferencia de calor hacia un sistema aumenta su entropía y en consecuencia el nivel de desorden molecular. De hecho, el rechazo de calor es la única manera en que puede disminuirse la entropía de una masa fija. La razón de la transferencia de calor Q en un sitio a temperatura absoluta T de ese mismo sitio se llama transferencia de entropía. (Cengel & Boles, 2009)

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Flujo másico.

La masa contiene tanto entropía como energía, y los contenidos de estas en un sistema son proporcionales a la masa (cuando la masa de un sistema se duplica, también lo hacen los contenidos de entropía y energía de esta.) tanto la entropía como la energía son llevadas hacia o desde un sistema por corrientes de materia, y las tasas de entropía y energía transportadas hacia o desde un sistema son proporcionales a la tasa de flujo másico. Los sistemas cerrados no involucran flujo másico, por lo tanto tampoco ningún tipo de transferencia de entropía por masa. Cuando una masa en una cantidad m entra o sale de un sistema, la acompaña entropía en una cantidad $m*s$, donde s es la entropía específica (entropía por unidad de masa que entra o sale.). (Cengel & Boles, 2009)

Flujo en tuberías.

El flujo de una mezcla líquido-gas a través de tuberías o ductos se usa comúnmente en sistemas de calefacción y enfriamiento y en redes de distribución. El fluido en estas aplicaciones usualmente se distribuye por medio de un ventilador o bomba a través de una sección de flujo. Se estudia principalmente la fricción, que se relacionan directamente con la caída de presión y las pérdidas de carga durante el flujo a través de tuberías y ductos. De esta manera la caída de presión se usa para determinar la potencia necesaria de bombeo. Un sistema de tuberías típico incluye tuberías de diferentes diámetros, unidas entre sí mediante varias uniones o codos para dirigir el fluido, válvulas para controlar la razón de flujo y bombas para transportar el fluido. Los términos tubo, ducto y conducto se usan de manera intercambiable para tramos de flujo. (Cengel, 2006)

En general, los tramos de fluido de sección transversal circular se conocen como flujo en tubos (en especial cuando el fluido es un líquido), y los tramos de flujo de sección transversal no circular se conoce como ductos (especialmente cuando el fluido es un gas). Aunque la teoría del flujo de fluidos se entiende de manera adecuada, las soluciones teóricas se obtienen sólo para pocos casos simples, como el flujo laminar totalmente desarrollado en un tubo circular (Cengel, 2006). Por lo tanto, la teoría se debe apoyar en resultados experimentales y relaciones empíricas para la mayoría de los problemas de flujo de fluidos, más que en soluciones analíticas. Dado que los resultados se obtienen en condiciones de laboratorio.

La velocidad del fluido en una tubería cambia de cero en la superficie debido a la condición de no deslizamiento hasta un máximo en el centro de la tubería. En el flujo de fluidos, es conveniente trabajar con una velocidad promedio que permanece constante en el flujo incompresible cuando el área de la sección transversal de la tubería es constante.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

La velocidad promedio en aplicaciones de calentamiento y enfriamiento puede cambiar un poco, debido a transformaciones en la densidad que crea la temperatura. Pero, en la práctica, se evalúan las propiedades del fluido a cierta temperatura promedio y se les trata como una constante. La conveniencia de trabajar con propiedades constantes usualmente justifica la ligera pérdida en exactitud. (Cengel, 2006)

Además, la fricción entre las partículas de fluido en una tubería ocasiona una ligera elevación de la temperatura del fluido, como resultado de la transformación de la energía mecánica en energía térmica sensible. (Cengel, 2006)

Aceros resistentes a la corrosión

Las aleaciones con base de hierro que contienen al menos 12% de cromo se llaman aceros inoxidable. La característica más importante de estos aceros es su resistencia a muchas condiciones corrosivas, pero no a todas. Los cuatro tipos disponibles son los aceros al cromo ferríticos, los aceros al cromo níquel austeníticos, así como los aceros inoxidables martensíticos y endurecibles por precipitación. (Shigley, 2002)

Los aceros al cromo ferríticos presentan contenido de cromo que varía de 12 a 27%. Su resistencia a la corrosión es una función del contenido de cromo, de manera que las aleaciones que contienen menos del 12% aún presentan cierta resistencia a la corrosión, aunque se oxidan. El endurecimiento por templado de estos aceros es una función del contenido de cromo y de carbono. Los aceros con un contenido muy alto de carbono tienen un endurecimiento por templado hasta aproximadamente 18% de cromo. (Shigley & Mischke, 2002)

Medición de nivel

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, midiendo la presión hidrostática, midiendo el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos. (Creus Solé, 2011)

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servooperado y magnetoestrictivo.

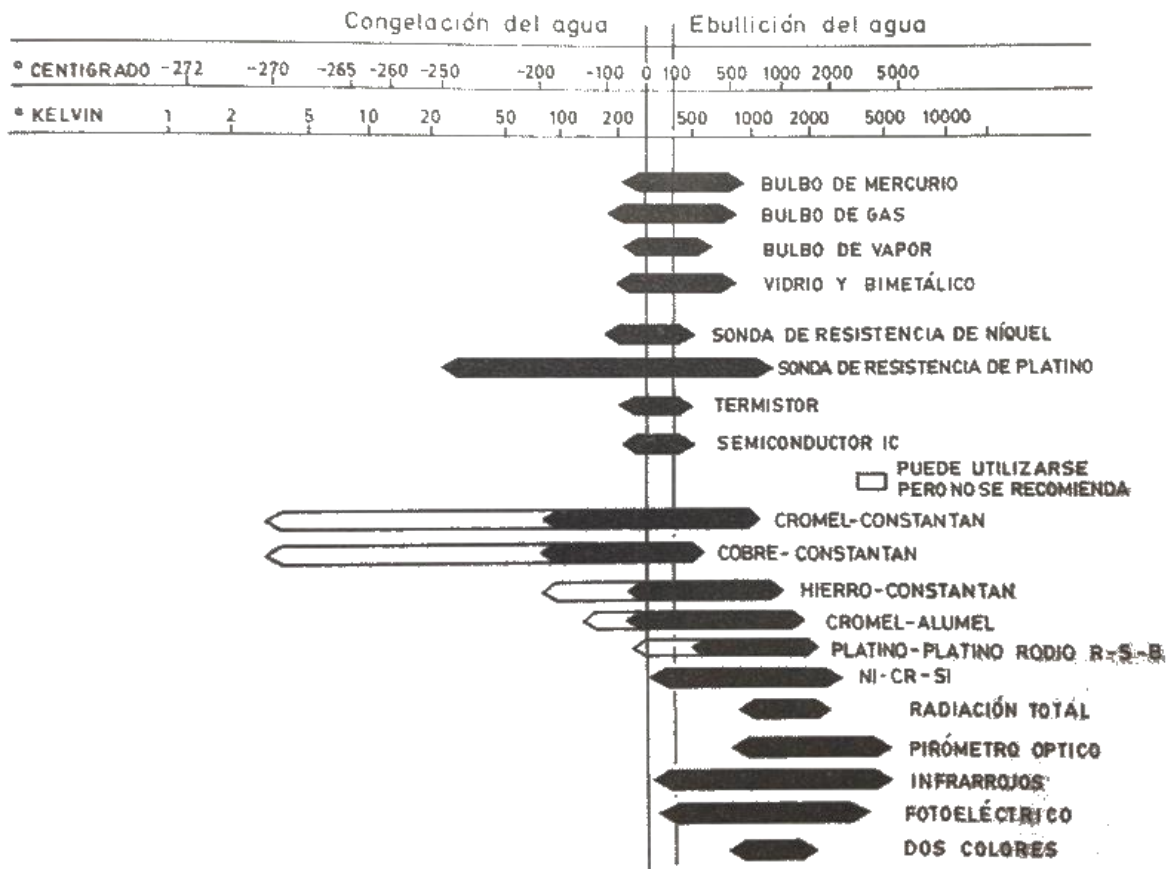
| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en: Medidor manométrico, medidor de tipo burbujeo y medidor de presión diferencial de diafragma. (Creus Solé, 2011)

Medida de temperatura

La medida de la temperatura es una de las más comunes y de las más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella. La temperatura se utiliza, frecuentemente, para inferir el valor de otras variables del proceso. (Creus Solé, 2011)

Figura 2.1. Campo de medida de instrumentos de temperatura.



Tomado de (Creus Solé, 2011)

Medición de oxígeno disuelto

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno libre en el agua que no se encuentra combinado ni con el hidrogeno (formando agua) ni con los sólidos existentes en el agua.

La cantidad de oxígeno disuelto es vital para la vida marina. Sin oxígeno esta vida muere. La determinación del oxígeno disuelto es importante en el control de aireación y el tratamiento de aguas, y el análisis de agua en calderas y en otras aplicaciones. La cantidad de oxígeno disuelto se mide en *mg/l* (miligramos de oxigeno por litro de agua), en p.p.m. (partes por millón) o bien, p.p.b. (partes por billón) y en % de saturación (relación entre la cantidad de oxigeno disuelta en el agua y la correspondiente saturación). (Creus Solé, 2011)

La naturaleza fue dotada de elementos primordiales para la existencia de los seres vivos, con su diferentes características y exigencias de acuerdo al lugar de donde se originan; de esos elementos se destaca el oxígeno que es indispensable en el proceso de respiración y oxigenación de los seres vivos, tanto terrestres como acuáticos. Este elemento (oxigeno) soluble en agua es afectado por el aumento de temperatura y presencia de algunos minerales como es el caso de la salinidad del agua (Tabla 2.1).

La presencia de oxígeno disuelto en agua es mayor a menor temperatura y menor a mayor temperatura (Figura 2.2). Este cambio de calor puede ser por cambios climáticos debido a fenómenos naturales como es la actividad volcánica o el fenómeno del calentamiento global originado por la contaminación y desequilibrio de la naturaleza como producto de las malas acciones del hombre. Sobre todo en los procesos de algunas industrias con mal manejo de las aguas residuales. Este aumento de temperatura afecta el recurso de fauna y flora acuática, siendo más notoria en la primera (fauna) pues los peces en su mayoría requieren de buena presencia de oxígeno en el medio hídrico.

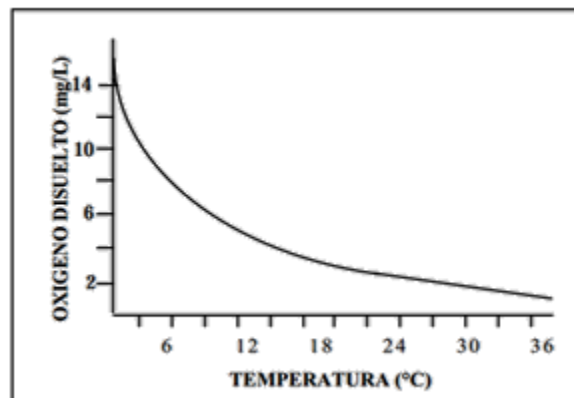
Otro problema que afecta notoriamente la presencia de oxígeno disuelto en agua es la contaminación de esta por presencia de minerales como es el caso de sales que disminuye el espacio intermolecular lo que no permite la solubilidad adecuada del oxígeno originando también un problema ecológico al ser afectado el recurso biótico, faunístico y floral acuático. (Fuentes & Massol-Deya, 2002)

Tabla 2.1. Solubilidad de Oxígeno en función de la temperatura y la salinidad

| Solubilidad de Oxígeno (mg/L) | | | | | | |
|-------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura | Salinidad (%) | | | | | |
| °C | 0.030 | 9.955 | 18.080 | 27.105 | 36.130 | 45.155 |
| 0.0 | 14.621 | 13.728 | 12.888 | 12.097 | 11.355 | 10.657 |
| 5.0 | 12.770 | 12.024 | 11.320 | 10.656 | 10.031 | 9.441 |
| 10.0 | 11.288 | 10.656 | 10.058 | 9.493 | 8.989 | 8.454 |
| 15.0 | 10.084 | 9.541 | 9.027 | 8.540 | 8.079 | 7.642 |
| 20.0 | 9.092 | 8.621 | 8.174 | 7.749 | 7.346 | 6.964 |
| 25.0 | 8.263 | 7.850 | 7.457 | 7.083 | 6.728 | 6.390 |
| 30.0 | 7.559 | 7.194 | 6.845 | 6.513 | 6.100 | 5.806 |
| 35.0 | 6.950 | 6.624 | 6.314 | 6.017 | 5.734 | 5.464 |
| 40.0 | 6.412 | 6.121 | 5.842 | 5.576 | 5.321 | 5.078 |
| 45.0 | 5.927 | 5.665 | 5.414 | 5.174 | 4.944 | 4.724 |
| 50.0 | 5.477 | 5.242 | 5.016 | 4.799 | 4.591 | 4.392 |

Adaptado de (APHA, 1992)

Figura 2.2. Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua.



Tomado de (Fuentes & Massol-Deya, 2002)

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Oxígeno disuelto en aguas residuales.

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua.

La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura, y (4) pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.). Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. (Fuentes & Massol-Deya, 2002)

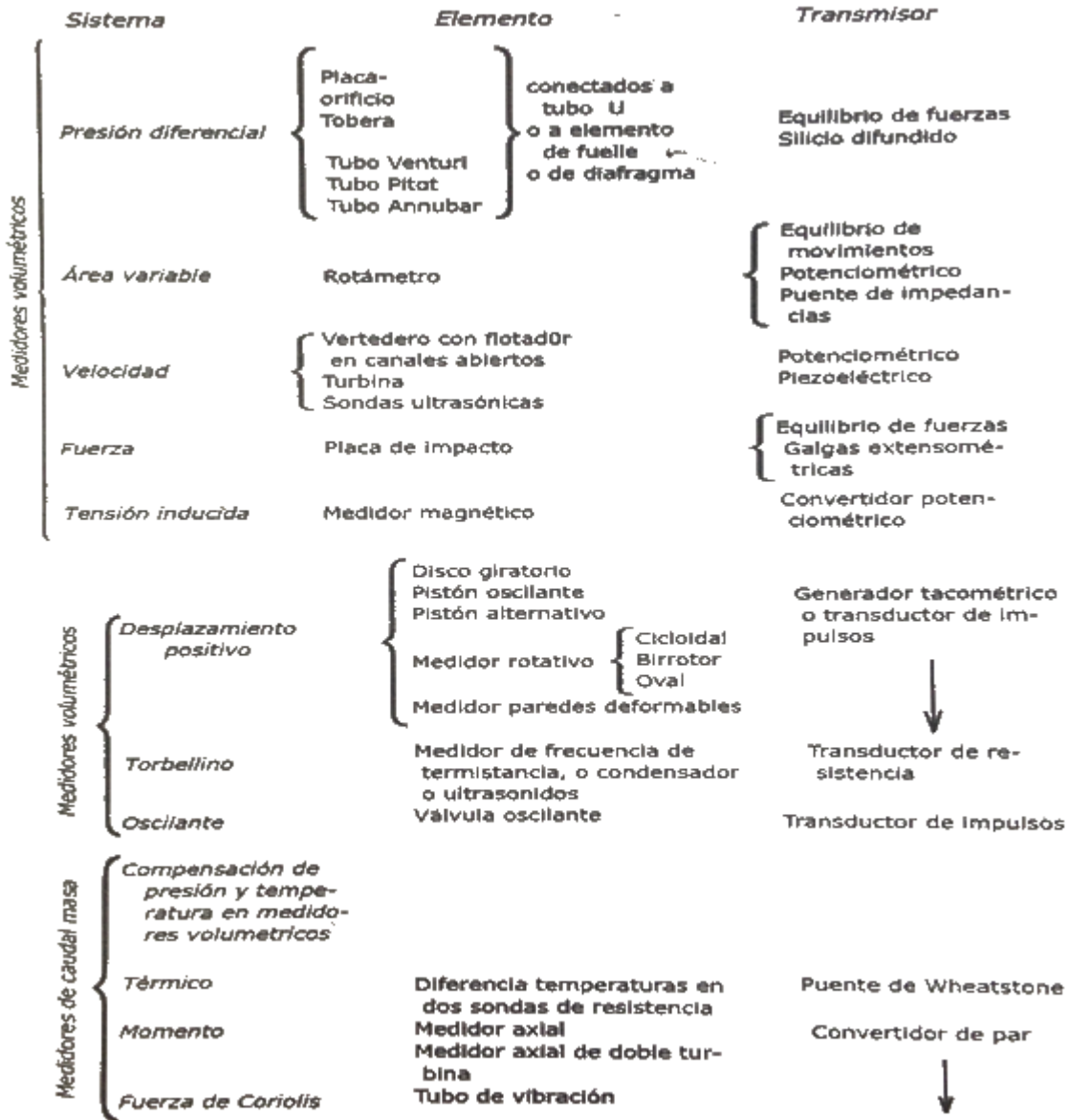
Medición de caudal.

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de líquidos y gases.

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal de masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de medida es importante, por ejemplo en las determinaciones finales del caudal del producto para su facturación. (Creus Solé, 2011)

Los principios de medida de los medidores de caudal son (Figura 2.3):

Figura 2.3. Principios de medida de flujo.



Tomado de (Creus Solé, 2011)

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

3. METODOLOGÍA

La realización de este proyecto se llevó a cabo desarrollando cada uno de los objetivos específicos de la siguiente manera:

3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA PILOTO.

Las medidas definidas para la construcción de la planta piloto, se establecen de acuerdo a las capacidades volumétricas del tanque de recirculación y el tanque donde se realizará el monitoreo de oxígeno disuelto. Se estableció que se requería un tanque con capacidad para **50 l** y un tanque de recirculación con el doble de la capacidad del primero.

La estructura motriz que acarreará estos elementos, es una base rectangular de **1.05 m** de largo y **0.6 m** de ancho, la cual tiene un área base de **0.63 m²**. Cuyas medidas se establecieron de acuerdo a los requerimientos del proceso y a la medida del diámetro del tanque de recirculación. La altura de la planta piloto es de **1.24 m**, donde se ubica el tope superior del tanque del proceso (ver Figura (3.3.5))

3.2 DEFINICION DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO.

En principio los materiales sugeridos para la construcción de la planta piloto, requieren medidas específicas y un tipo de material adecuado. Se debe disponer de un tanque con capacidad de **50 l** construido en acero inoxidable, debido a que es resistente a la corrosión, ya que en el proceso se utilizara agua y oxígeno disuelto.

El tanque tiene dimensiones de **0.4 m** de diámetro y **0.45 m** de alto para una capacidad neta de **56.6 l** (ver Figura (3.3.3)). El cálculo de la capacidad neta se calcula con la ecuación (3.1), que hace referencia al volumen geométrico del tanque.

$$V = \pi r^2 * h \tag{3.1}$$

Donde las variables son:

Radio del tanque **r=0.2 m**

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Altura del tanque $h=0.45\text{ m}$

resolviendo la (ecuación 3.1) $v = \pi * 0.04\text{m}^2 * 0.45\text{m} = 0.056\text{m}^3$

1000Lts equivalen a 1m^3

Haciendo la conversión de metros cúbicos (m^3) a litros (l) equivale a.

$$0.056\text{m}^3 = \frac{1000l}{1\text{m}^3} = 56\text{ l Capacidad neta.}$$

El segundo tanque debe tener una capacidad superior a la capacidad del tanque de **56 l**, es una caneca industrial plástica, que tiene una capacidad de **114 l** cuyas medidas encajan en la base de la estructura, en la tabla de la Figura (3.3.1), se resalta en color amarillo La caneca con sus medidas.

Figura (3.3.1). Datos de la caneca industrial utilizada como tanque de almacenamiento.



| Caneca Plástica Tapa y Aro Metálico | | | |
|-------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Referencia | Capacidad | Altura | Ancho |
| 8 galones | 30 lt. | 53 cm. | 27 cm. |
| 15 galones | 57 lt. | 60 cm. | 36 cm. |
| 30 galones | 114 lt. | 80 cm. | 50 cm. |
| 40 galones | 160 lt. | 100 cm | 40 cm. |
| 55 galones | 220 lt. | 88 cm | 58 cm. |

Tomado de (La feria de los empaques y las canecas, 2014)

ESTRUCTURA MOTRIZ. La estructura motriz se construirá en tubería cuadrada de hierro, unidas por soldadura para montar los dos tanques y todos los elementos que conforman

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

la planta piloto. Esta estructura debe ser firme y robusta para evitar que se debilite cuando este soportando los tanques con agua y también para moverla de un lugar a otro si así se requiere (ver Figura (3.3.5))

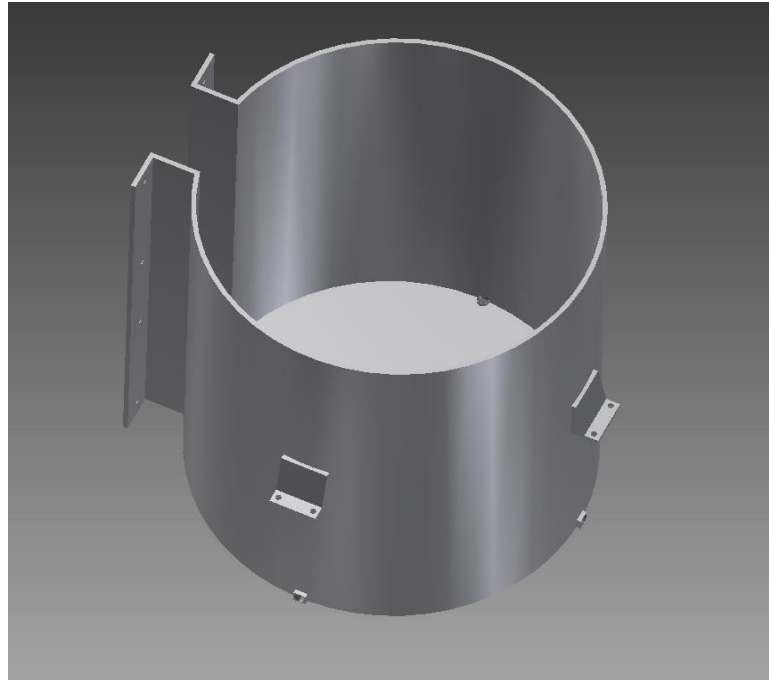
En la planta piloto se emplean tuberías para hacer la recirculación del agua del tanque plástico al de acero inoxidable. Por las características de los fluidos a emplear en los procesos de la planta piloto se requiere utilizar una tubería resistente al calor, la corrosión y esfuerzos dinámicos, por consiguiente se estableció una tubería en acero inoxidable de un diámetro de $\phi = 1/2_{in}$.

TABLERO DE CONTROL. En el diseño de la planta piloto, se seleccionara un gabinete que contenga los equipos que van incorporados en el sistema de control (PLC, VARIADOR DE VELOCIDAD, RELES DE ESTADO SOLIDO), además que permita acoplarse de manera compacta a la estructura y que el cableado y conexiones en su interior sea fácil de seguir e identificar. Las medidas apropiadas del gabinete son escogidas dependiendo de las medidas volumétricas de cada equipo que va contenido en el gabinete, teniendo en cuenta que el calor disipado por los equipos no afecte el funcionamiento de los mismos.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

3.3 PLANOS DE APOYO DE PARTES MECANICAS.

Figura (3.3.2). Tanque. Acero inoxidable.

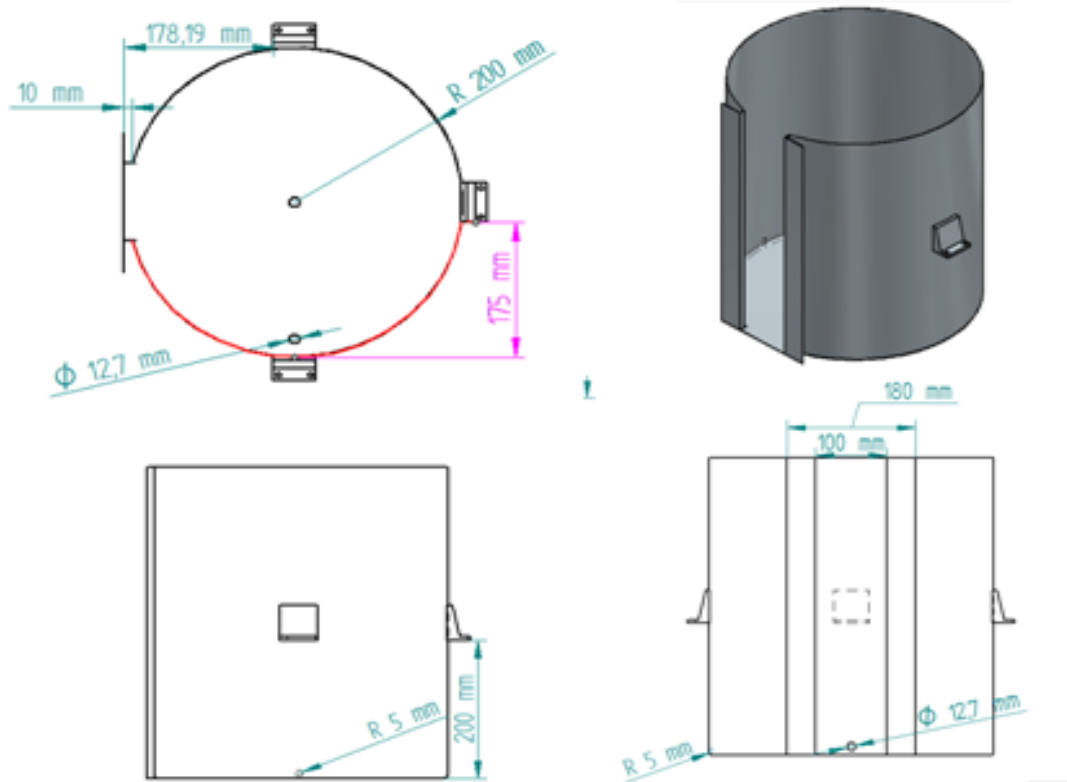


(Elaboración propia mediante software Inventor profesional®)

En la Figura (3.3.2) se muestra una vista tridimensional del diseño del tanque de la planta piloto, se observa que tiene una brida para visualizar de manera directa el proceso, tres racores para las conexiones de instrumentos y un orificio para la entrada de oxígeno, el tanque cuenta con pie amigos para fijarlo a la estructura de una manera segura la cual brinde estabilidad, el tanque es abierto en la parte superior y es de fondo cóncavo sin esquinas en las uniones para evitar acumulación de impurezas y así poder tener un mejor acceso cuando se necesite limpiar, en la brida tiene 8 perforaciones donde ira fijado el visor de policarbonato (ver Figura (3.3.7)), dentro del tanque en la parte inferior estará puesto de manera horizontal el difusor de aire. La descarga de agua debe hacerse por la parte inferior más exactamente por el fondo donde tendrá uno de los tres racores que se le van a construir.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura (3.3.3). Plano del tanque de acero inoxidable.

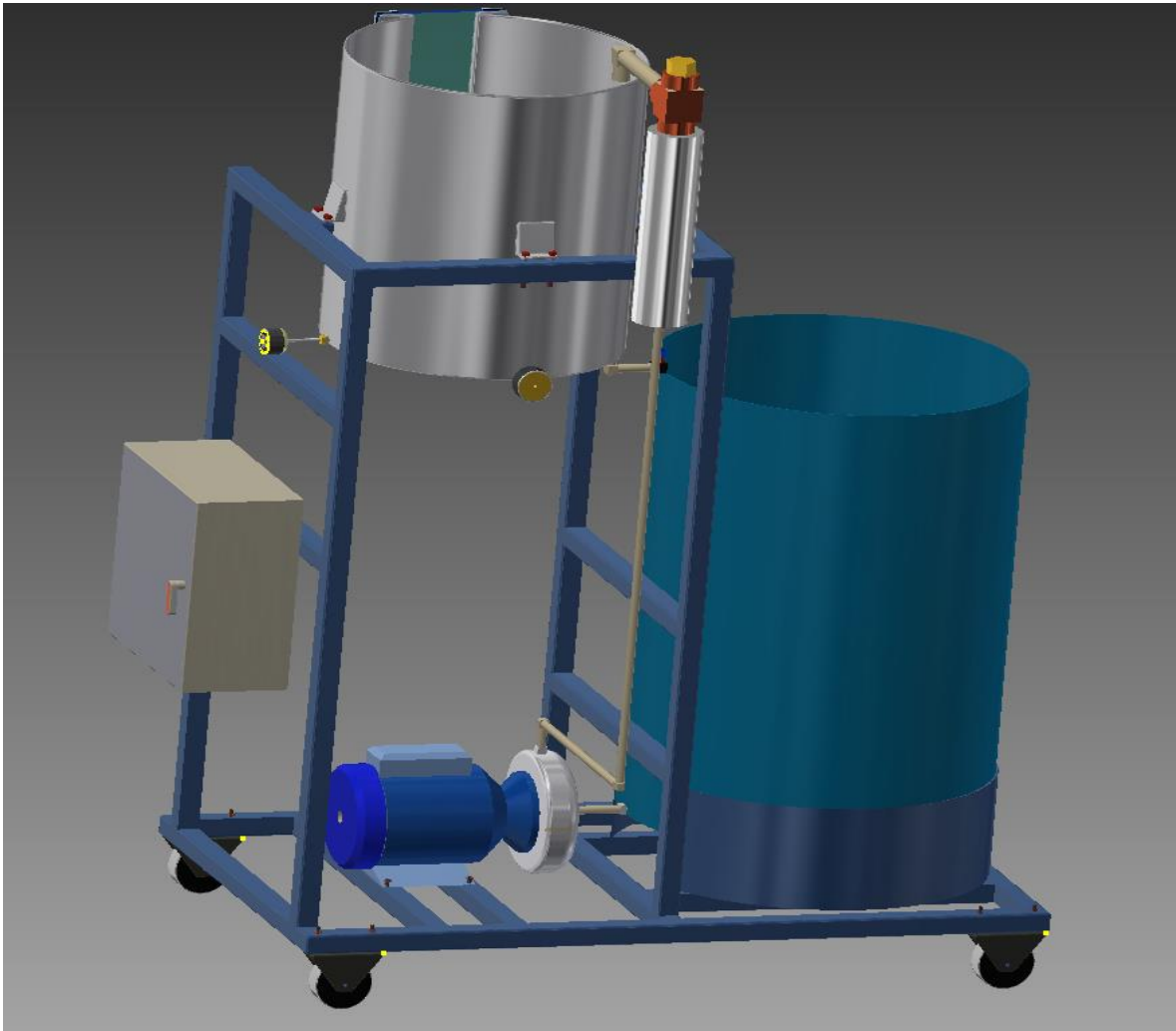


(Elaboración propia mediante software Inventor profesional®)

En esta Figura (3.3.3) se muestra el plano referente al tanque de acero inoxidable. Es un tanque con capacidad de 50 litros, construido en lámina de acero inoxidable calibre 16. En esta figura se aprecian las medidas específicas con las que está diseñado el tanque. En el plano se muestra la altura del tanque, la medida del diámetro interior, las medidas de los racores, las medidas de las 16 perforaciones donde va instalado el visor, la medida a la cual van los tres soportes que reposan en la estructura, las medidas de la brida y de las perforaciones que van en cada soporte de reposo, además se muestra una figura tridimensional sin medidas para ilustrar lo que se está acotando.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura (3.3.4). Estructura completa.

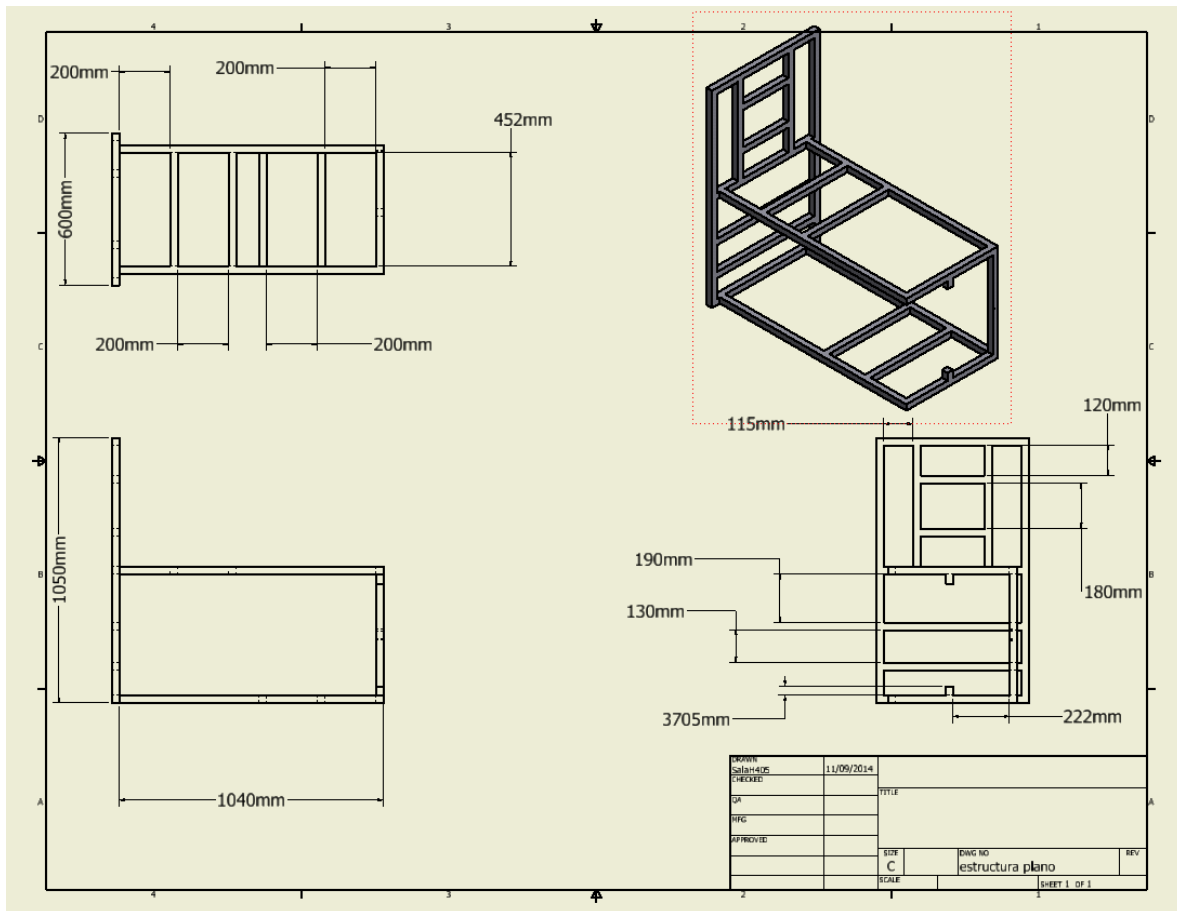


(Elaboración propia mediante software Inventor profesional®)

En esta Figura (3.3.4) se muestra el diseño del soporte con el tanque y el visor y demás elementos que conforman la planta piloto, en el modelo 3D se ilustra la posición del tanque con respecto al soporte y el visor acoplado al tanque. El tanque de acero inoxidable va acoplado en la parte superior de la estructura con el fin de que el agua pueda descargarse al segundo tanque que va ubicado justo en la base inferior, a un lado de la base de soporte del tanque de acero inoxidable. En este modelo se visualiza la posición de la bomba y el tablero de instrumentos.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura (3.3.5). Plano de la estructura.

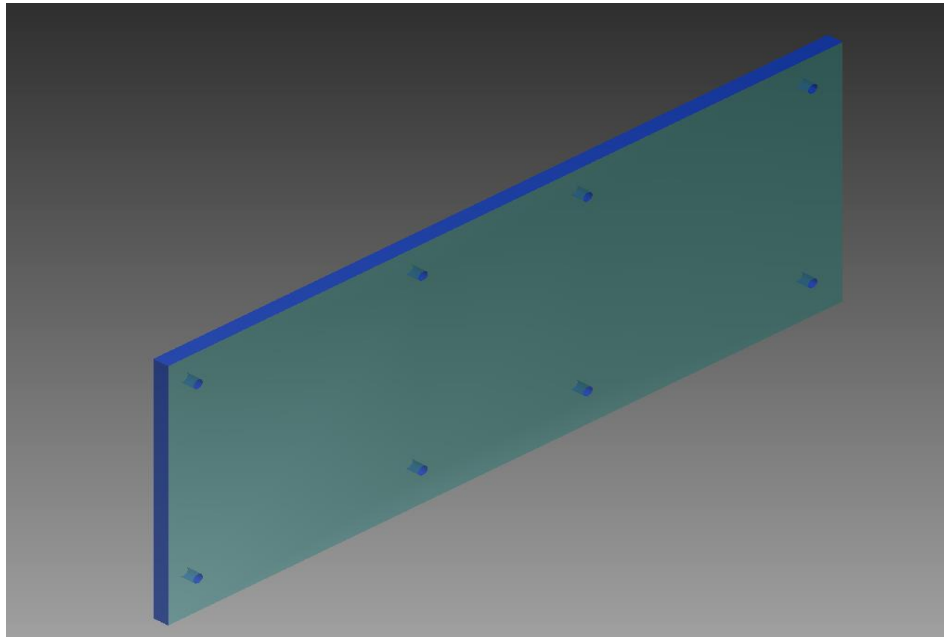


(Elaboración propia mediante software Inventor profesional®)

En la Figura (3.3.5) se ilustran las medidas del diseño de la estructura que soporta el conjunto de elementos de la planta piloto, se detallan las medidas del largo y el ancho de la base, además de la altura que tiene el soporte del tanque de acero inoxidable, se encuentran las medidas de los refuerzos de la estructura, que darán firmeza al momento de sostener y movilizar la planta piloto con sus componentes, esta estructura está diseñada para construirse en tubería cuadrada que soporta mejor las cargas y da una mejor apariencia estética a la planta piloto, en el diseño de esta estructura se implementaron los soportes donde reposaran los dos tanques y además donde pueda acomodarse la electrobomba al igual que los soportes de la tubería y otros accesorios como rodachinas industriales.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura (3.3.6). Visor lateral del tanque de acero inoxidable.

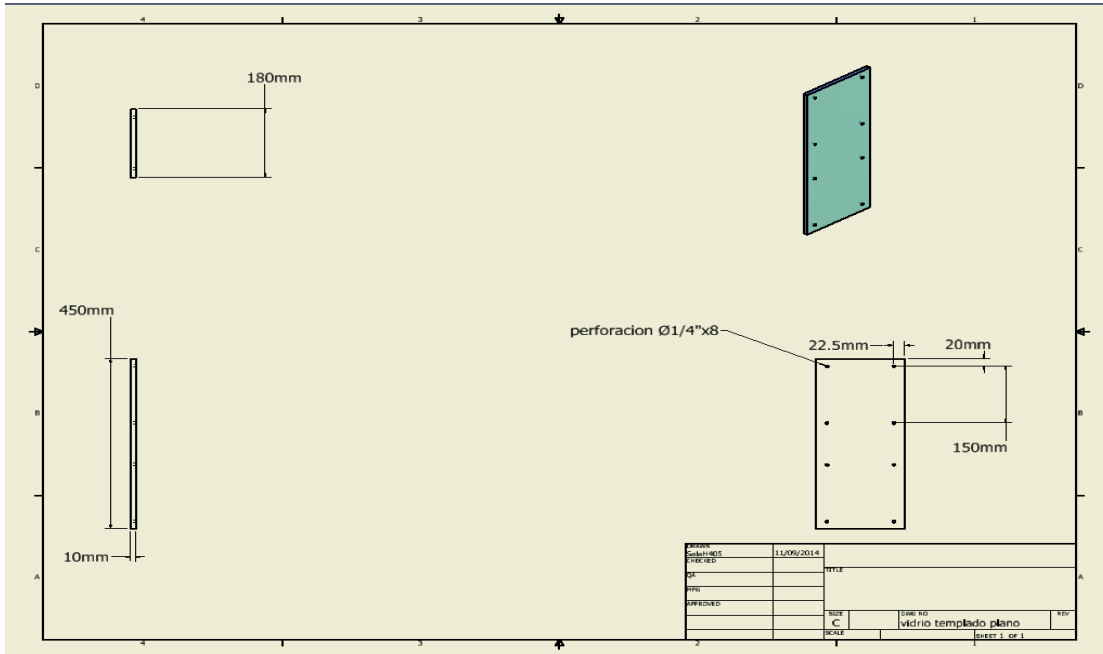


(Elaboración propia mediante software Inventor profesional®)

En la Figura (3.3.6) se muestra una figura tridimensional del diseño del visor que va acoplado a la brida del tanque de acero inoxidable, el material recomendado para la construcción de este visor es policarbonato, ya que este material es flexible y permite un mayor número de perforaciones sin quebrarse, con el fin de que este mas acoplado al tanque y se logre una mayor hermeticidad para evitar fugas de agua.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura (3.3.7). Plano del visor.



(Elaboración propia mediante software Inventor profesional®)

En la Figura (3.3.7) se muestra el plano del visor, se pueden observar 8 perforaciones lisas pasantes (sin rosca) 4 a cada lado para un ajuste uniforme, se detalla la medida del espesor del visor al igual que el largo y el ancho, al igual que la ubicación exacta en la cual va cada perforación tanto de la parte superior como de la parte lateral, se muestra la medida de la distancia a la cual va un agujero con respecto a otro en forma vertical como se muestra en la figura y además se muestra la medida, la cual deben tener las 8 perforaciones.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

4. RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS

En la planta piloto se requiere transportar agua de un punto a otro a través de tuberías y accesorios, con un caudal que se pueda adaptar a las condiciones operacionales requeridas por el proceso, además se necesita calentar el agua que va en las tuberías y que esta a su vez se le pueda adicionar temperatura de una manera controlada, también se requiere que el agua tenga una concentración de oxígeno adicional, que se le adicione de manera directa y en cantidades controladas.

Por consiguiente en la planta piloto se identifican los siguientes equipos necesarios para la realización de un proceso.

- **Electrobomba.** Se requiere de una electrobomba periférica trifásica para hacer el bombeo a través de la tubería, controlar el caudal de agua a descargar y que el cuerpo de la bomba sea de acero inoxidable para evitar el desgaste por corrosión y elevada temperatura.
- **Resistencia eléctrica.** Se necesita una resistencia eléctrica sumergible para lograr obtener una transferencia de calor directo en el agua circundante en la tubería, esta resistencia debe ser lo suficientemente eficaz para hacer un control de temperatura en un tiempo estimado.
- **Variador de velocidad.** Este equipo se utiliza en conjunto con la bomba trifásica ya que permite controlar las RPM del motor de la bomba y así poder aumentar o disminuir el caudal de agua.
- **Relé de estado sólido.** Con este equipo se puede dar un rango de temperatura al agua controlando el tiempo de calentamiento de la resistencia.
- **PLC.** Con este equipo se pretende hacer modificaciones y control en el funcionamiento operacional de otros equipos para lograr obtener resultados esperados en el proceso del monitoreo de oxígeno disuelto.

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

4.2 IDENTIFICACION DE INSTRUMENTOS

Se hace visible la necesidad de controlar las variables en el proceso de la planta piloto, para obtener un resultado, dichas variables deben ser medibles a través de sensores que muestren un resultado que pueda ser interpretado, para un posterior control de la variable involucrada.

Partiendo de la identificación de las variables involucradas se determinan los instrumentos de medición necesarios, para apreciar en forma tangencial los valores numéricos que se derivan de las variables.

- **Medidor de temperatura.** se necesita un sensor de temperatura que pueda estar directamente en contacto con el agua y que se pueda conectar a un equipo donde muestre el valor numérico exacto de la temperatura.
- **Medidor de oxígeno disuelto.** El sensor de oxígeno disuelto debe tener la capacidad de arrojar medidas exactas en cuanto a la concentración de oxígeno disuelto en el agua.
- **Medidor de nivel.** El nivel del agua en el tanque de acero inoxidable no debe sobrepasar los **50 l** por ello se requiere un sensor que detecte de forma inmediata la cantidad de agua presente en el tanque.
- **Medidor de flujo.** las especificaciones del medidor de flujo deben ser las adecuadas para medir la cantidad de agua que pasa por la tubería para ser descargada al tanque de acero inoxidable, con las mediciones de caudal podemos cuantificar exactamente la cantidad de agua que se emplea en el proceso, para ello se necesita un medidor de flujo másico que arroja la medición exacta de la cantidad exacta de agua.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

4.3 ACCESORIOS

Los accesorios que se identifican para lograr un proceso en la planta piloto, deben tener la posibilidad de ser maniobrados electrónicamente para que el control de las variables sea lo más exacta posible.

Se identifican los siguientes accesorios.

- **Electroválvula para agua.** Se requiere de una electroválvula normalmente cerrada de 120v AC, que permita con conexión al proceso de $1/2_{in}$, que permita un descargue controlado de agua mediante una señal de apertura enviada por el **PLC** al actuador donde, donde se conecte la electroválvula.
- **Electroválvula de aire.** Se requiere de una electroválvula normalmente cerrada de 120v AC con conexión al proceso de $1/4_{in}$, para el paso de oxígeno al agua esta electroválvula debe abrirse con una señal de apertura del **PLC** y cerrarse cuando se lo requiera mediante otra señal eléctrica.
- **Relé de estado sólido.** Este instrumento se requiere para lograr activar y desactivar la resistencia trifásica durante un tiempo programado para obtener rangos de temperatura.
- **Difusor de aire.** Este accesorio debe permitir que el aire que entra al agua sea difuminado en forma de burbujas de diferentes diámetros de forma uniforme y que tenga conexión al proceso de $1/4_{in}$.

4.3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN. La planta piloto para monitorear la concentración de oxígeno disuelto operará en condiciones en las cuales las variables no excedan las capacidades de medición de los instrumentos y de los equipos. La planta piloto debe ser apta para poder hacer controles operacionales con las variables presentes en el proceso de monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto, el flujo de agua en las tuberías debe ser constante durante el proceso. La resistencia eléctrica en ningún momento del

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

proceso debe estar sin agua, por lo que la resistencia debe operar pasado un tiempo después del encendido de la bomba.

La electroválvula de descarga debe abrirse mientras el agua obtenga la temperatura deseada. Esta planta piloto puede ser movida de un lugar a otro ya que cuenta con rodachinas en su base que lo permiten.

4.3.2 CALCULOS DE CONSUMO. En la planta piloto hay consumos y pérdidas de energía que deben ser calculadas para la correcta selección de los equipos que van incorporados al proceso.

4.3.3. CABEZA DINAMICA TOTAL DE LA BOMBA. Se deben calcular las pérdidas de carga en todo el sistema de tuberías conectados a la bomba, debido a que se requiere seleccionar un tipo de bomba comercial que permita tener distintos caudales en intervalos de tiempo y con una potencia requerida.

CALCULOS DE PERDIDAS EN TUBERIA. Para hacer el cálculo de las pérdidas que hay en el sistema se usa la ecuación (4.1). (Cengel, 2006)

Medidas de la tubería (*apéndice A*).

$$h_L = K_L * \frac{V^2}{2g} \text{ Pérdida de carga en metros.} \quad (4.1)$$

Donde

K_L = Coeficiente adimensional de rozamiento.

V = velocidad.

g = gravedad 9.81 m/s^2 .

Diámetro interno de la tubería acero inoxidable $\phi = 15.8 \text{ mm}$ para tubería comercial Schedule 40.

Haciendo la conversión a metros nos queda.

$15.8 \text{ mm} = 0.0158 \text{ m}$ De diámetro interno

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DE LA TUBERIA.

Para el cálculo del área de la sección transversal de la tubería se usa la ecuación (4.2).

$$A = \pi r^2 \quad A = \pi * \left(\frac{0.0158m}{2}\right)^2 = 0.000196m^2 \quad (4.2)$$

Donde

π : Constante

r^2 : Radio al cuadrado

Se toma un caudal arbitrario para el cálculo de la velocidad con la ecuación (4.3). (Cengel, 2006)

$$Q = 10l/min = 0.00016m^3/s \quad (4.3)$$

VELOCIDAD DEL AGUA.

Se toma el caudal arbitrario para el cálculo de la velocidad, conociendo los valores del área trasversal se obtiene el siguiente cálculo para hallar la velocidad del agua con la ecuación (4.4). (Cengel, 2006)

$$V = \frac{Q}{A} \quad V = \frac{0.00016m^3/s}{0.000196m^2} = 0.816m/s \quad (4.4)$$

Donde

Q : Caudal

A : Área

PERDIDAS EN LOS ACCESORIOS.

Codo de 90° tiene un coeficiente de rozamiento $K_L=1.1$ y se calcula la pérdida en un accesorio con la ecuación (4.5). (Cengel, 2006)

$$h_A = K_L * \frac{v^2}{2g} \quad (4.5)$$

$$h_A = 1.1 * \frac{(0.816m/s)^2}{2g} = 0.037m$$

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Donde

h_A : Es la pérdida de carga en los accesorios

K_L : Coeficiente de rozamiento para un codo de 90°

v^2 : Velocidad al cuadrado

g : Gravedad 9.81 m/s^2

Resolviendo la ecuación (4.5) con los datos se obtiene la pérdida de carga en un accesorio es de $h_A = 0.037\text{m}$.

El número total de codos en el sistema de tuberías es de 3 por consiguiente la pérdida que hay en los tres codos es de **0.1121 m**

$$h_A \text{ totalcodos} = 0.1121\text{m}$$

PERDIDA EN LA TUBERIA DE $\phi = 1/2_{in}$. Para el cálculo de las pérdidas que hay en la tubería de $\phi = 1/2_{in}$ se utiliza la ecuación (4.6). (Cengel, 2006)

$$h \text{ total de la tubería} = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (4.6)$$

Donde

$f = 0.4$ Coeficiente de fricción en tubería de acero inoxidable.

$L = 1.85\text{mts}$ Longitud total de la tubería de acero inoxidable del sistema.

$D = 0.0158\text{m}$ Diámetro de la tubería.

$$h \text{ total de la tubería} = 0.4 * \left(\frac{1.85\text{m}}{0.0158\text{m}}\right) * \left(\frac{(0.816\text{m/s})^2}{2g}\right) = 1.59\text{m}$$

Pérdida total en metros en la tubería $h = 1.59\text{m}$

PERDIDAS POR ENSANCHAMIENTO Y REDUCCION BRUSCA EN LA TUBERIA.

Para el cálculo de pérdidas por ensanchamientos en el sistema, se utiliza la ecuación (4.7). (Cengel, 2006)

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

$$K_L = \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)^2 \quad (4.7)$$

Donde

d : Diámetro menor

D : Diámetro mayor

Se realiza el cálculo por ensanchamiento del diámetro de $1/2_{in}$ a un diámetro de 3_{in}

Equivalencias en mm de las tuberías de $1/2_{in}$ y 3_{in}

Diámetro interno de la tubería de $1/2_{in} \phi = 0.0158m$

Diámetro interno de la tubería de $3_{in} \phi = 0.0779m$

$$K_L = \left(1 - \left(\frac{0.0158m}{0.0779m}\right)^2\right)^2 = 0.919$$

$$K_L = 0.919$$

Utilizando la ecuación (4.1)

$$h_L = K_L * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.919 * \frac{(0.816m/s)^2}{2g} = 0.0312m$$

$$h_L = 0.0312m$$

Se calcula la pérdida por la reducción de la tubería de 3_{in} a 2_{in} .

Se toma la medida del coeficiente de pérdida de carga directamente del *apéndice B*, debido a que la tubería es de bordes rectos, $K_L = 0.5$ (*apéndice B*) con este dato se procede a calcular el valor de pérdida de carga con la ecuación (4.1). (Cengel, 2006)

$$h_L = K_L * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.5 * \frac{(0.816m/s)^2}{2g} = 0.0169m$$

$$h_L = 0.0169m$$

Se calcula la pérdida por reducción que hay de una tubería de 2_{in} a una tubería de $1/2_{in}$, se toma el mismo valor de $K_L = 0.5$ debido a que es la misma tubería.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

$$h_L = 0.5 * \frac{(0.816m/s)^2}{2g} = 0.0169m$$

$$h_L = 0.0169m$$

$$\Sigma de\ perdid\ h_L = 0.1121m + 1.59m + 0.0312m + 0.0169m + 0.0169m = 1.767m$$

$$\underline{\underline{\Sigma h_L = 1.767m}}$$

El cálculo de la cabeza dinámica total del sistema se calcula utilizando la ecuación (4.8). (Cengel, 2006)

$$h_b = (h_2 - h_1) + \Sigma HL + \frac{v^2}{2g} + h_r \quad (4.8)$$

h_2 = la altura a la cual se encuentra la descarga de la bomba.

h_1 = la altura a la cual se encuentra el fluido en el tanque de plástico.

h_r = es la presión expresada en metros que tiene que vencer la bomba en la salida de descarga que es $\pm 4m$. (Cengel, 2006)

Resolviendo la ecuación (4.8) se obtiene.

$$h_b = (1.25m - 0.84m) + 1.767m + \frac{(0.816m/s)^2}{2g} + 4m = 6.21m$$

cabeza dinámica total de la bomba $h_b = 6.21m$.

POTENCIA TEORICA DE LA BOMBA.

Para el cálculo de la potencia teórica de la bomba se utiliza la ecuación (4.9).

$$W = Q * \rho * g * h_b \quad (4.9)$$

Donde

W = vatio o watt

Q = caudal

ρ = densidad del agua

g = gravedad

h_b = cabeza dinámica total m

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

$$W = \left(\frac{0.00016m^3}{s} \right) * \frac{999.97kg}{m^3} * \frac{9.82m}{s^2} * 6.21m = 9.22kg * m^2/s^3$$

Haciendo la conversión de W a HP

$$9.22W = \frac{1HP}{747W} = 0.012HP$$

POTENCIA REAL DE LA BOMBA.

Para hallar la potencia real de la bomba se utiliza la ecuación (4.10).

$$HP_{REAL} = \frac{0.012HP}{\frac{75\%}{100\%}} = \mathbf{0.016HP} \tag{4.10}$$

$HP_{REAL} = 0.016HP$ para mover un caudal $Q = 10l/min$

Se toma como dato el rendimiento porcentual de la bomba (75%), de un fabricante que brinda el tipo de bomba que se ajusta al proceso (*apéndice C*).

Según los resultados obtenidos acerca del cálculo de la potencia necesaria, las pérdidas que hay en la tubería y los accesorios, se encontró que se necesita una potencia de 0.016HP para lograr mover un caudal de $Q = 10l/min$. Con este resultado se observa que la cantidad de HP necesarios para mover dicho caudal es mínimo, por lo que la bomba que se ajusta a los requerimientos de la planta piloto, tiene que tener la posibilidad de variar la velocidad a tal punto que se logre un mayor o menor caudal. Comercialmente en el mercado existen electrobombas a las cuales se les puede variar la velocidad, ya que el motor eléctrico es trifásico y permite adaptarlo a un variador de velocidad, teniendo en cuenta que en el mercado los motores que traen la configuración trifásica vienen adaptados las electrobombas de 1HP en adelante. Con estos datos podemos seleccionar el tipo de electrobomba necesaria para este proceso, y buscar el fabricante que brinde este tipo de equipo y que se ajuste a los requerimientos del proceso.

4.3.4. CALCULOS DE LA RESISTENCIA. Se debe calcular la potencia en (W) vatios que debe tener la resistencia para elevar la temperatura del agua a un valor final de $T_f = 50\text{ }^\circ\text{C}$

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

La cantidad de agua a calentar son 150l los cuales estarán circulando a través del sistema de tuberías y de los dos tanques, en el cálculo de la bomba se tomó un caudal arbitrario de $Q = 10l/min$ a una velocidad de $v = 0.00016m^3/seg$. Como datos de temperatura y trabajo se sabe que $1kcal = 4.184 * 10^3joule = 1.1622 * 10^{-6}kWh$, y se necesita una kilocaloría para aumentar la temperatura de 1 Kg de agua en $1^{\circ}C$. (Rajput, 2011)

Se expresan las unidades de W, J y ρ agua en unidades básicas para tener en cuenta en los cálculos de la resistencia.

$$W = \frac{kg*m^2}{s^3}$$

$$J = \frac{kg*m^2}{s^2}$$

$$\rho_{agua} = 999,97 \frac{kg}{m^3}$$

Sabiendo que el tanque de acero inoxidable tiene una capacidad de 50 litros el tiempo en que el tanque va a ser llenado es de 5 minutos según el caudal tomado, haciendo el cálculo para aumentar la temperatura del agua hasta $50^{\circ}C$ en 5 minutos, se obtiene.

Temperatura ambiente del agua $T_i = 18^{\circ}C$ nos quedarían por aumentar una diferencia de:

$$T = (T_f - T) = (50 - 18)^{\circ}C = 32^{\circ}C. \text{ Diferencia de temperatura.}$$

Si en un minuto la cantidad de agua que pasa por la resistencia es de 10 litros, el aumento en la temperatura debe tener un rango, que se calcula dividiendo el resultado de la diferencia de temperatura entre los 5 minutos que se demora en llenar el tanque.

$$\text{rango de temperatura } T = \frac{32^{\circ}C}{5min} = 6.4^{\circ}C/min$$

Conociendo el rango de temperatura, se calcula la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura de los 50 litros de agua, que tienen un peso de:

$$\rho_{agua} = 999,97 \frac{kg}{1000l} * 50l = \mathbf{49,99 Kg}$$

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Se calcula la cantidad de joule necesarios para aumentar la temperatura de la cantidad de agua en 5 minutos usando la ecuación.

$$4184 \text{ joule} * 49.99 \text{Kg} = \mathbf{209.158,16 \text{ joule}}$$

Este valor de joule se puede expresar en vatios (W) haciendo la conversión y obtenemos la potencia necesaria para obtener el valor final de temperatura.

$J = W * s$ entonces, $209.158,16 \text{J} = 209.158,16 \text{W} * s$, tomamos el valor en $W * s$ y lo dividimos entre el tiempo que tarda en llenarse el tanque. (Rajput, 2011)

$$\frac{209.158,16 \text{ W*s}}{360\text{s}} = \mathbf{580,994 \text{ W}}$$

Con los cálculos realizados anteriormente se puede determinar la energía utilizada por la resistencia eléctrica que tiene un valor de 580.994 W para mantener un rango de temperatura en los 50 l de agua que se vierten al tanque de acero inoxidable, en un tiempo de 5 min . Con el valor exacto de la resistencia podemos buscar en el mercado comercial una resistencia eléctrica que tenga este valor de energía o algún fabricante que la suministre.

4.3.5. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS.

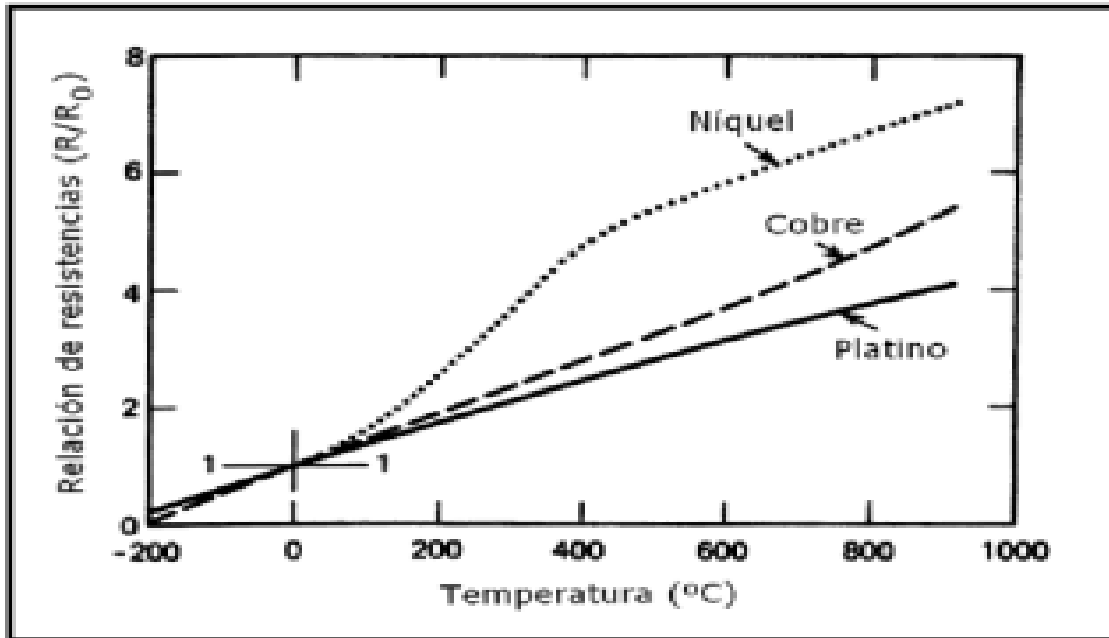
SELECCIÓN DEL MEDIDOR DE TEMPERATURA. El medidor de temperatura debe estar en contacto con el agua, ya que debe censar y obtener medidas precisas y en tiempo real. Para la selección adecuada se deben tener en cuenta conceptos teóricos y datos técnicos con los cuales pueda obtener unos buenos datos del proceso.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

CONCEPTOS TEORICOS.

En la figura (4.3.1) se observa que la linealidad que tiene el platino en la medición de la temperatura, la cual es la recomendada ya que tiene ventajas superiores al otro tipo de resistencia que se muestra.

Figura 4.3.1. Curvas de resistencia relativa de varios metales/temperatura



Tomado de (Creus Solé, 2011)

En la figura (4.3.1) pueden verse las curvas de resistencia relativa de varios metales en función de la temperatura y en la tabla (4.3.1) se indican sus características (platino, cobre, níquel y níquel-hierro).

Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben poseer las siguientes características:

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
- Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor estabilidad).
- Relación lineal resistencia-temperatura.

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

- Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en la bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta).
- Estabilidad de las características durante la vida útil del material. (Creus Solé, 2011)

Tabla 4.3.1. Características de sonda de resistencia.

| Características de sondas de resistencia | | | | | | |
|--|------------------------------------|--|------------------------------------|------------------------|--|---|
| Elemento | Intervalo útil de temperaturas, °C | Resistencia básica | Sensibilidad (Ω/°C de 0° a 100 °C) | Coefficiente, Ω/Ω x °C | Ventajas | Desventajas |
| Platino | -260 a 850 °C (-436 a 1562 °F) | 100 Ω a 0 °C 1000 Ω a 0 °C | 0,39 3,90 | 0,0375 a 0,003927 | Mayor intervalo Mejor estabilidad Buena linealidad | Coste |
| Cobre | -100 a 260 °C (-148 a 500 °F) | 10 Ω a 25 °C | 0,04 | 0,00427 | Buena linealidad | Baja resistividad |
| Níquel | -100 a 260 °C (-148 a 500 °F) | 100 Ω a 0 °C 120 Ω a 0 °C | 0,62 0,81 | 0,00618 a 0,00672 | Bajo coste Alta sensibilidad | Falta de linealidad, variaciones coeficiente de resistencia |
| Níquel-Hierro | -100 a 204 °C (-148 a 400 °F) | 604 Ω a 0 °C 1000 Ω a 70 °F 1000 Ω a 70 °F | 3,13 4,79 9,58 | 0,00518 a 0,00527 | Bajo coste Muy alta sensibilidad | Relación reducida R ₁₀₀ /R ₀ |

Tomado de (Creus Solé, 2011)

DATOS TECNICOS.

En el mercado se ofrece una gran gama de este tipo de instrumentos, por lo tanto se definen las especificaciones precisas con el fin de enviarlas a un proveedor para saber su costo y su disponibilidad. Según los datos obtenidos de las figuras y las tablas, se define el tipo de termoresistencia.

- RTD de platino.
- Rango de temperatura de $-10/50^{\circ}C$
- Largo del bulbo 3_{in}
- Conexión directa al proceso de $1/2_{in}$ NPT
- Alambrado del tipo 1 x Pt 100 3 hilos.
- Con salida de 4-20 mA.

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Este tipo de termoresistencias las fabrica Endress+Hauser® quien ofrece un modelo el cual se ajusta a este tipo de especificaciones y quien muchos proveedores ofrecen según las cotizaciones que se mandaron.

DATOS COMERCIALES Y CONTACTO.

Cotización No: MPE233314-0071

Producto: TR10-ABA1CDSCH2000

Precio estimado: \$830,000.00

Vendedor: Elizabeth Vélez Cel. 3007756721

Empresa: Colsein Ltda. Tel 3119766 Medellín – Colombia

SELECCIÓN DEL MEDIDOR DE PRESION HIDROSTATICA.

El medidor manométrico consiste en un sensor de presión piezoresistivo suspendido de la parte superior del tanque e inmerso en el líquido. El sensor contiene un puente de Wheastone y, bajo la presión del líquido, el sensor se flexa y la tensión que crea es captada por las galgas extensométricos, dando lugar a un desequilibrio del puente y a una señal de salida proporcional a la presión aplicada, es decir, al nivel. El sensor está contenido en una caja protectora con un diafragma flexible y relleno de un aceite de silicona lo que le da una gran robustez. Puede estar acoplado a un transmisor electrónico o digital de 20 mA y comunicaciones HART, Fielbus, etc. Su exactitud es de, $\pm 25\%$. (Creus Solé, 2011)

En el mercado se encuentra una marca que brinda información técnica detallada del instrumento de medición y se tiene la facilidad de conseguirlo a través de un proveedor al cual se le enviaron solicitudes para una cotización. La marca Endress+Hauser® brinda un medidor de presión manométrica del tipo Cerabar M PMC51, que soporta grandes temperaturas, muy buena estabilidad en el proceso con una precisión de hasta $\pm 0.15\%$ y fácil puesta en marcha sin necesidad de una operación de herramienta. En las siguientes tablas se brinda la información para hacer la selección adecuada del instrumento.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Tabla 4.3.2. Aprobaciones.

| Approval: | |
|-----------|--|
| AA | For non-hazardous areas |
| BA | ATEX II 1/2G Ex ia IIC T6 |
| BB | ATEX II 1/2D Ex t IIIC |
| BD | ATEX II 3G Ex nA IIC T6 |
| BE | ATEX II 2G Ex ia IIC T6 |
| BF | ATEX II 1/2D Ex ia IIIC |
| BG | ATEX II 3G Ex ic IIC T6 |
| B1 | ATEX II 1/2G Ex ia IIC T6 + ATEX II 1/2D Ex iaD |
| 8C | ATEX II Ex ia + FM/CSA IS ATEX II 1/2G Ex ia IIC T6+ FM/CSA IS CL.I Div. 1 Gr. A-D FM/CSA: zone0,1,2 |
| IA | IEC Ex ia IIC T6 Ga/Gb |
| IE | IEC Ex ic IIC T6 Gc |
| IF | IEC Ex ia IIIC Da/ Db |
| II | IEC Ex ia IIC T6 Ga/Gb+Ex ia IIIC Da/Db |
| NA | NEPSI Ex ia IIC T6 |
| TA | TIIS Ex ia IIC T4 |
| CA | CSA C/US IS CL.I,II,III Div.1 Gr. A-G, CSA C/US IS CL.I Div.2 Gr. A-D, Ex ia, C: Zone 0, 1, 2/US: Zone 0, 1, 2, 20, 21, 22 |
| CD | CSA General Purpose |
| FA | FM IS CL.I,II,III Div.1 Gr.A-G, AEx ia FM NI CL.I Div.2 Gr.A-D FM IS: Zone 0,1,2,20,21,22/FM NI: Zone 2 |
| FD | FM NI CL.I Div.2 Gr.A-D |
| 99 | Special version |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

En esta tabla se brinda información acerca de dónde va a trabajar el instrumento, en este caso se selecciona el ítem, (AA).

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Tabla 4.3.3. Salida, Display y housing.

| Output: | |
|---------------------|---|
| 1 | 4-20mA Analog |
| 2 | 4-20mA HART |
| 3 | PROFIBUS PA |
| 4 | FOUNDATION Fieldbus |
| 9 | Special version |
| Display, operation: | |
| 1 | LCD, push buttons on display electronics |
| 2 | W/o LCD, push buttons on electronics |
| 9 | Special version |
| Housing: | |
| I | F31 aluminum |
| J | F31 aluminum, glass window |
| Q | F15 Stainless Steel Hygiene |
| R | F15 Stainless Steel Hygiene, glass window |
| S | F15 Stainless Steel Hygiene, plastic window |
| Y | Special version |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

El tipo de salida es de 4-20 mA analógica ítem (1), en la parte del display se seleccionó el ítem (1) y el housing es el ítem (J).

Tabla 4.3.4. Conexión eléctrica.

| Electrical connection: | |
|------------------------|--|
| A | Gland M20, IP66/68 NEMA4X/6P |
| B | Thread M20, IP66/68 NEMA4X/6P |
| C | Thread G1/2, IP66/68 NEMA4X/6P |
| D | Thread NPT1/2, IP66/68 NEMA4X/6P |
| I | Connector M12, IP66/67, NEMA4X/6P |
| M | Connector 7/8", IP66/68, NEMA4X/6P |
| P | Connector Han7D, 90deg, IP65 |
| S | PE Cable 5m, IP66/68 NEMA4X/6P + pressure compensation via cable |
| V | Valve connector ISO4400 M16, IP64 |
| Y | Special version |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

En la tabla (4.3.4) se seleccionó el ítem, (D).

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Tabla 4.3.5. Rango del sensor.

| Sensor range: | |
|---------------|---|
| 1C | 100mbar/10kPa/1.5psi relative, 1mH2O/3ftH2O/40inH2O Overload: 4bar/400kPa/60psi |
| 1E | 250mbar/25kPa/3.75psi relative, 2.5mH2O/7.5ftH2O/100inH2O Overload: 5bar/500kPa/75psi |
| 1F | 400mbar/40kPa/6psi relative, 4mH2O/13ftH2O/160inH2O Overload: 8bar/800kPa/120psi |
| 1H | 1bar/100kPa/15psi relative, 10mH2O/33ftH2O/400inH2O Overload: 10bar/1MPa/150psi |
| 1K | 2bar/200kPa/30psi relative, 20mH2O/67ftH2O/800inH2O |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

En la tabla (4.3.5) el ítem seleccionado es el, (1C).

Tabla 4.3.5. Referencia de precisión.

| Reference accuracy: | |
|---------------------|-----------------|
| D | Platinum |
| G | Standard |
| Y | Special version |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

En la tabla (4.3.6) el ítem seleccionado es el, (G).

Tabla 4.3.7. Calibración; unidad.

| Calibration; Unit: | |
|--------------------|---|
| A | Sensor range; % |
| B | Sensor range; mbar/bar |
| C | Sensor range; kPa/MPa |
| D | Sensor range; mm/mH2O |
| E | Sensor range; inH2O/ftH2O |
| F | Sensor range; psi |
| J | Customized pressure; see additional spec. |
| K | Customized level; see additional spec. |
| Y | Special version |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

En la tabla (4.3.7) el ítem seleccionado es el, (D).

Tabla 4.3.8. Conexión al proceso por norma ANSI.

| Threaded connection as per ANSI | |
|---------------------------------|--|
| RJF | Thread ANSI MNPT1/2 hole 3mm, PVDF (CRN) |
| RKC | Thread ANSI MNPT 1/2 hole, 11.4mm, Alloy C (CRN) |
| RKJ | Thread ANSI MNPT1/2 hole 11.4mm, 316L (CRN) |
| RLC | Thread ANSI MNPT1/2 FNPT1/4, AlloyC (CRN) |
| RLJ | Thread ANSI MNPT1/2 FNPT1/4, 316L (CRN) |
| R1C | Thread ANSI FNPT 1/2, Alloy C (CRN) |
| R1J | Thread ANSI FNPT 1/2, 316L (CRN) |
| U7J | Thread ANSI MNPT1-1/2, 316L, flush-mounted (CRN) |
| U8J | Thread ANSI MNPT2, 316L, flush-mounted (CRN) |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

En la tabla (4.3.8) se seleccionó el ítem, (RKJ).

Tabla 4.3.9. Tipo de sello.

| Seal: | |
|-------|---|
| A | FKM Viton |
| B | FKM Viton, FDA, 3A Class I, USP Class VI |
| G | HNBR, FDA, 3A Class I, KTW, AFNOR, BAM |
| F | NBR |
| H | NBR, Low temperature |
| J | EPDM, FDA |
| K | EPDM, FDA, 3A Class II, USP Class VI, DVGW, KTW, W270, WRAS, ACS, NSF61 |
| L | FFKM Kalrez 6375 |
| M | FFKM Kalrez 7075 |
| N | FFKM Kalrez 6221, FDA, USP Class VI |
| P | Fluoroprene XP40, FDA, USP Class VI, 3A Class I |
| S | VMQ Silicone, FDA |
| Y | Special version |

Tomado de (Endress+Hauser, 2014)

En la tabla (4.3.9) el ítem seleccionado es el, (A).

Habiendo seleccionando las especificaciones del instrumento, se procede a nombrar el tipo de instrumento.

Nombre: **PMC51-AA11JD1CGDRKJA**

Marca: Endress+Hauser®

Proveedor: Colsein Ltda. Tel 3119766 Medellín – Colombia.

Costo aproximado: \$1,600,000.00

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

SELECCIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO. El medidor de flujo debe estar conectado en la tubería que sale de la bomba, ya que se va a medir la cantidad de agua que entra al proceso, la medición del caudal es muy importante porque puede reducirse o aumentarse el tiempo de llenado del tanque. Una buena opción para la medición del caudal en el proceso es un medidor magnético, debido a que brinda una exactitud y soporta una considerable temperatura y no ofrece pérdidas de carga por su escala lineal, una desventaja de este tipo de medidores es su costo.

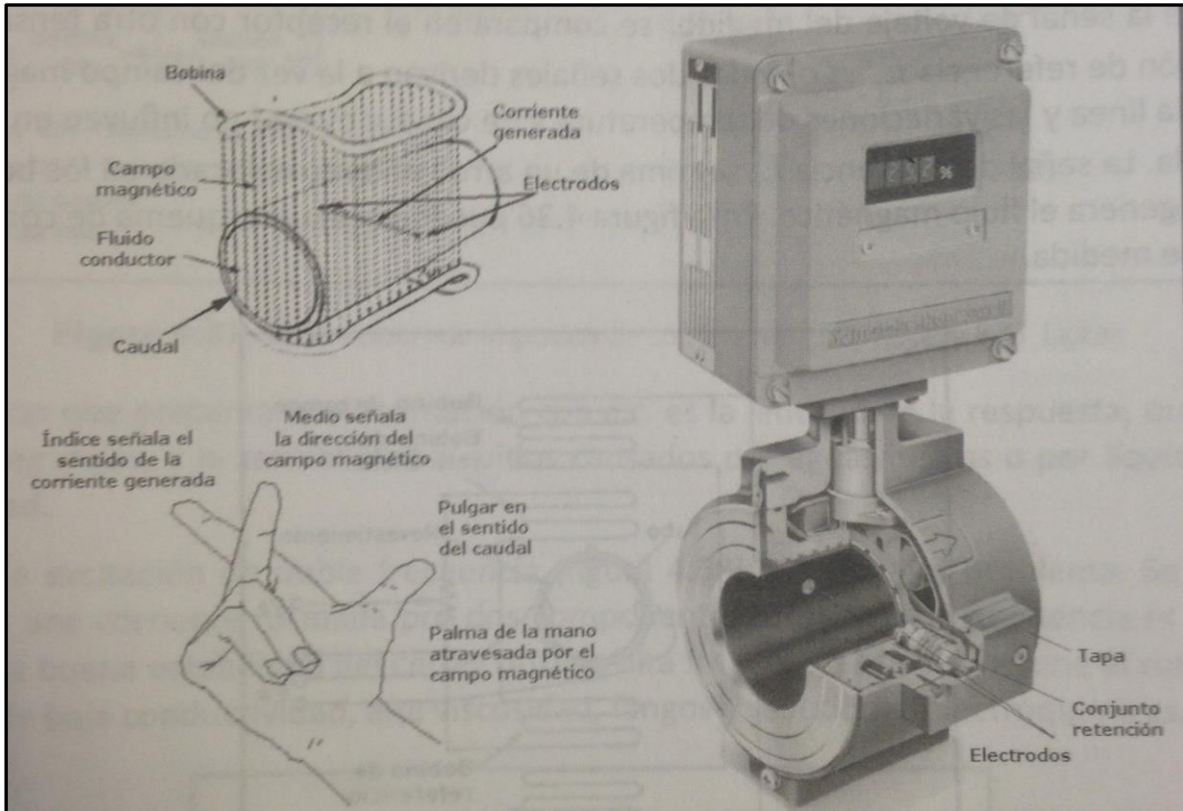
MEDIDOR MAGNETICO DE CAUDAL

La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. Faraday intentó aplicar esta teoría en la medición de la velocidad del río Támesis en 1832. Suponía que el agua del río circulaba perpendicularmente al campo magnético de la tierra y que el agua era un conductor relativamente bueno.

No tuvo éxito debido a que no disponía de indicadores sensibles y a que el campo magnético de la tierra es bajo. (Creus Solé, 2011)

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura 4.3.2. Medidor magnético de caudal.



Tomado de (Creus Solé, 2011)

En la figura (4.3.2) se describe la instalación del medidor de caudal al proceso.

En cuanto a la selección adecuada de este tipo de medidores se deben tener en cuenta las características específicas con las cuales se haga una buena selección y una buena orden de pedido a algún proveedor.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES.

- Conexión al proceso.
- Rango de flujo.
- La salida.
- La alimentación.
- Tipo de protección.

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | | | | | | | | | | Código | FDE 089 |
| | | | | | | | | | | | Versión | 01 |
| | | | | | | | | | | | Fecha | 2013-09-16 |

Una marca recomendada de este tipo de equipos es Instrutek® que que brinda distintos tipos de modelos que se pueden escoger seleccionando los ítems que aparecen en las tablas (4.3.10) y (4.3.11).

Tabla 4.3.10. Características para la selección del modelo marca Instrutek®.

| Model | | | | | | | | | | | | Explanation | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--|
| ITK-EMF- | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| Structure form | A | | | | | | | | | | | | Integrated flanged-type electromagnetic flow meter |
| | B | | | | | | | | | | | | Split flanged-type electromagnetic flow meter (with 10 meters cable when out of factory) |
| Aperture | | | | | | | | | | | | | Aperture from DN10–DN2000 (Numerical display) |
| Electrode | | | 1 | | | | | | | | | | 316 stainless steel |
| | | | 2 | | | | | | | | | | H alloy B |
| | | | 3 | | | | | | | | | | H alloy C |
| | | | 4 | | | | | | | | | | Pt (not provide temporarily) |
| | | | 5 | | | | | | | | | | Ti |
| | | | 6 | | | | | | | | | | Ta |
| | | | 9 | | | | | | | | | | Other |
| Lining material | | | A | | | | | | | | | | Chloroprene rubber (CR) |
| | | | B | | | | | | | | | | Polyurethane rubber (PU) |
| | | | C | | | | | | | | | | Poly tetrafluoroethylene (PTFE, F4) |
| | | | D | | | | | | | | | | Solubility Polytetrafluoroethylene(PFA) |
| | | | E | | | | | | | | | | F46 |
| | | | G | | | | | | | | | | Solubility Poly tetrafluoroethylene (withstand negative pressure) (PFA) |
| | | H | | | | | | | | | | F46 (withstand negative pressure) | |
| Working pressure | | | 1 | | | | | | | | | | 4.0MPa (aperture DN10–DN80) |
| | | | 2 | | | | | | | | | | 1.6MPa (aperture DN100–DN150) |
| | | | 3 | | | | | | | | | | 1.0MPa (aperture DN200–DN1000) |
| | | | 4 | | | | | | | | | | 0.6MPa (aperture DN1200–DN2000) |
| Earth ring | | | A | | | | | | | | | | None |
| | | | B | | | | | | | | | | General earth ring |
| | | | C | | | | | | | | | | Earthing with neck |
| Protection grade | | | B | | | | | | | | | | IP67 |
| | | | C | | | | | | | | | | IP68 (split type) |

Tomado de (Instrutek, 2014)

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Tabla 4.3.11. Características para la selección del modelo marca Instrutek®.

| Model | | | | | | | | | | | | | Explanation |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| ITK-EMF- | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Output mode | | | | | | | | | | | | 1 | 4~20mA |
| | | | | | | | | | | | | 2 | 0~3KHz |
| | | | | | | | | | | | | 3 | Pulse X.XXX m ³ /cp |
| Communication mode | | | | | | | | | | | | 0 | None |
| | | | | | | | | | | | | 1 | RS485 |
| | | | | | | | | | | | | 2 | RS232C (match III type converter) |
| | | | | | | | | | | | | 3 | HART (match III type converter) |
| Power supply | | | | | | | | | | | | T | 220V AC |
| | | | | | | | | | | | | W | 24V DC |
| Accuracy | | | | | | | | | | | | 4 | 0.2grade |
| | | | | | | | | | | | | 5 | 0.5 grade |
| | | | | | | | | | | | | 6 | 1.0 grade |
| | | | | | | | | | | | | 2 | Integrated type |
| | | | | | | | | | | | | 3 | Split I type |
| | | | | | | | | | | | | 6 | Split III type |
| Flame-pro of type | | | | | | | | | | | | | General type |
| | | | | | | | | | | | | D | Flame-proof type (Exd II CT 6) |
| Max. flow | | | | | | | | | | | | () | In the bracket give clear indication of max. flow, unit m ³ /h |

Tomado de (Instrutek, 2014)

Modelo: ITK-MFB

Forma de la estructura: (B) medidor de flujo magnético con 10 metros de cable.

Apertura: DN10~DN2000

Electrode: (2) (5) (1) Ti Halloy B 316 stainless steel

Material: (E) F46

Presión de trabajo: (1) 4 mega pascales.

Tipo de anillo: (B) anillo estándar

Grado de protección: (B) IP67

Salida: (1) 4-20 mA

Modo de comunicación: (1) RS485

Alimentación: (W) 24 V DC

Precisión: (4) (3) grado 2 tipo Split I

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

En la cotización hecha por un proveedor de este tipo de sensores se tienen los siguientes datos.

Modelo: ITM-MF-B

Referencia: EMFB251E1BB11W43

Marca: Instrutek®

Proveedor: Electra S.A tel. 4448232 Medellín Colombia

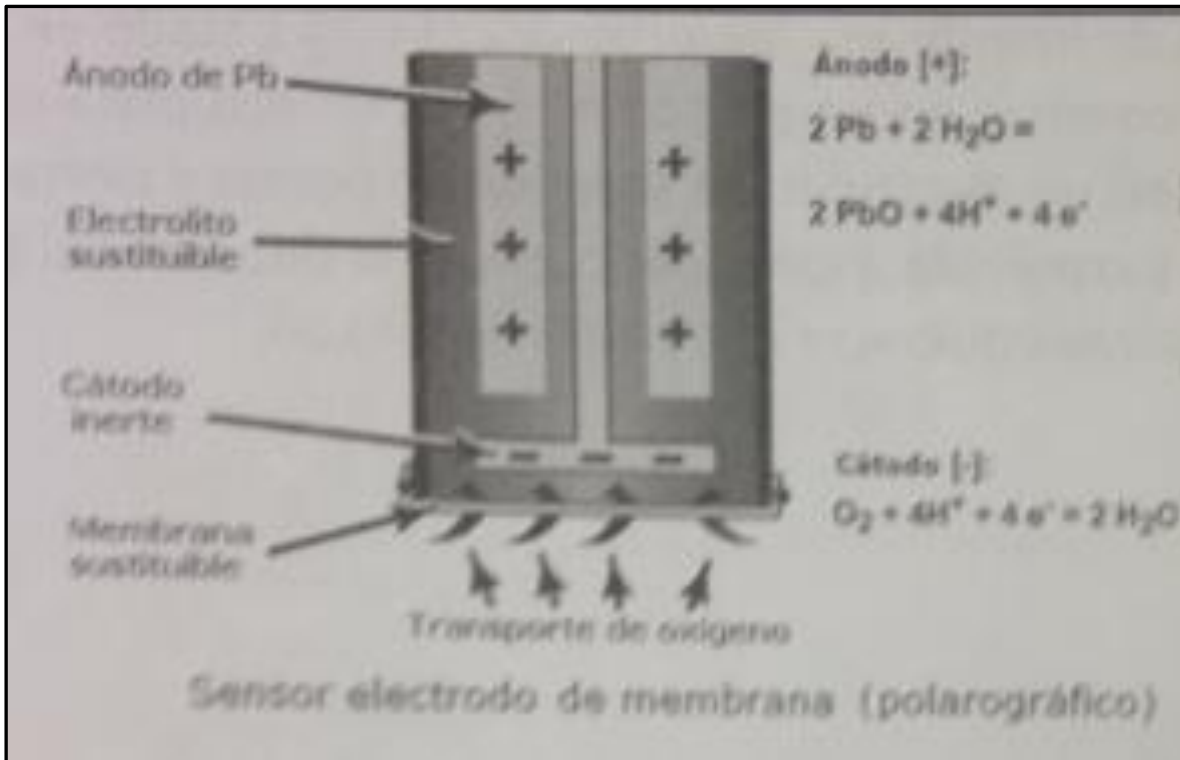
Precio estimado: \$2,000,000.00

SELECCIÓN DEL MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO. El medidor de oxígeno disuelto como principal instrumento de medida tiene que tener buenas características técnicas y que garantice una durabilidad por eso es necesario hacer un análisis en cuanto al tipo de equipo necesario para la aplicación en la planta piloto.

El sensor de oxígeno disuelto con electrodo de membrana (*polarografico*) está basado en el principio de la célula Clark, es el más común y consiste en un cátodo de aleación oro-plata-platino y ánodo de plata-cloruro de plata, sumergidos en un electrolito de solución de potasa y cloruro potásico en agua. Una fina membrana de teflón permeable a los gases permite la difusión del oxígeno procedente de la muestra de agua. (Creus Solé, 2011)

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

Figura 4.3.3. Sensores electrodo de membrana (*polarografico*).



Tomado de (Creus Solé, 2011)

En la figura (4.3.3) se observa el funcionamiento y los componentes de un sensor electrodo de membrana.

Este tipo de sensor es una buena opción aunque su coste es considerable, en cuanto a la selección este tipo de sensor, se cotizó un sensor marca HANNA® de sonda galvánica debido al elevado costo del sensor tipo polarografico, especificaciones. (HANNA, 2014)

Referencia: HI 8410

Rango extendido: 50 (ppm)

Sonda: HI 76410/4 Sonda Galvánica DO (fija) con sensor de temperatura interna, conector DIN y 4 m de cable.

Precisión: $\pm 1\%$ de lectura.

Calibración: Manual, un punto en agua saturada.

Compensación de temperatura: Automático, de -5 a 50°C

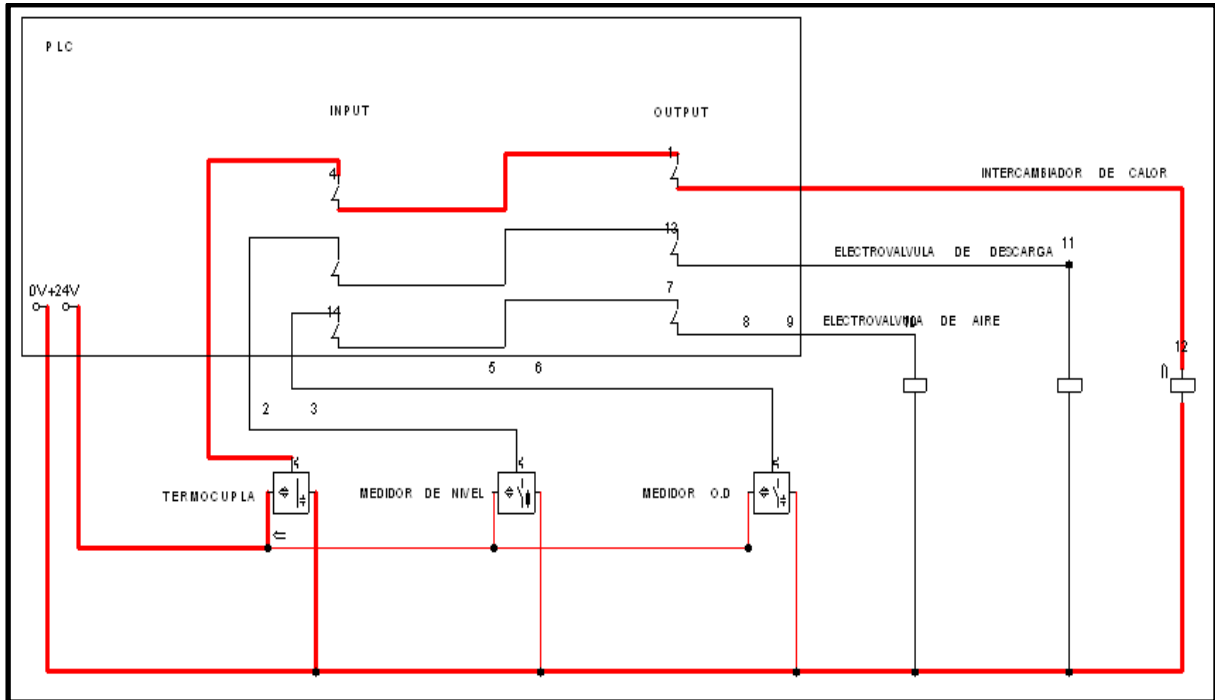
Salida: 0 a 20 mA o 4 a 20 mA (aislada)

Fuente de alimentación: 115 VAC \pm 10% o 230 VAC \pm 10%; 50/60 Hz

Ambiente: -10 a 50°C (14 a 122°F); HR máx. 95% no condensante.

4.4 Diagrama de conexión de instrumentos.

Figura (4.4.1)



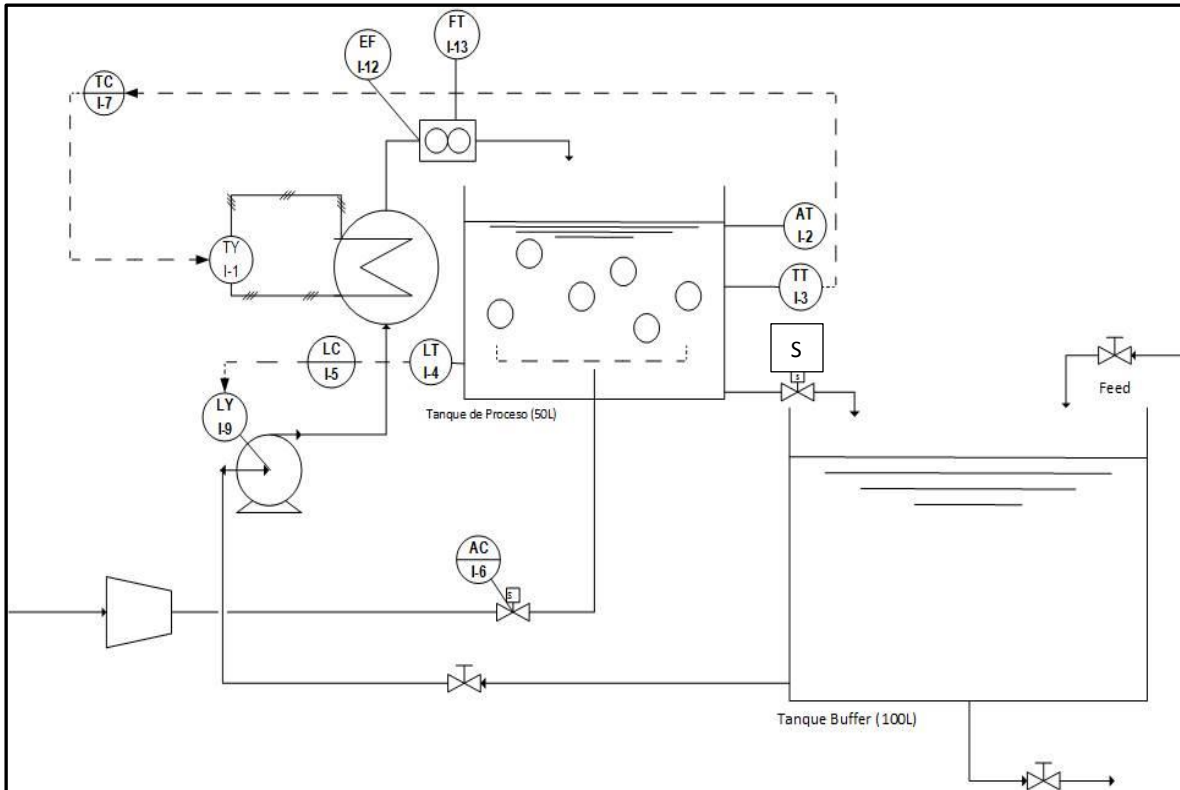
(Elaboración propia)

En esta Figura (4.4.1) se muestra una manera didáctica de conectar los instrumentos al PLC, para que posteriormente tengan un control sobre los equipos que están conectados al proceso. En la figura se muestra de color rojo un circuito de un lazo de control entre el medidor de temperatura y un actuador que permite el accionamiento del intercambiador de calor. En la figura se muestra un PLC con una fuente de alimentación de 24 V de corriente directa, donde van conectados el sensor de temperatura, el medidor de nivel y el medidor de oxígeno disuelto, la carga de estos tres sensores se llevan a las entradas del PLC, que dependiendo del sistema de control implementado, se activarán las salidas correspondientes para activar relés los que a su vez energizarán actuadores dentro del proceso. Los

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

instrumentos que se van a utilizar en el proceso vienen con especificaciones las cuales son brindadas por el fabricante.

4.5 Diagrama de proceso (P&ID) (figura 4.5.1)



Elaboración propia en base a norma ISA-S5.1

En la Figura (4.5.1) se ilustra de manera detallada el diagrama de procesos e instrumentos de la planta piloto, en el cual se tienen dos tanques, uno en la parte inferior que sirve de almacenamiento, tanque buffer (100 l) y es del doble de capacidad de la del tanque de la parte superior, (50 l). En principio el tanque inferior contiene agua limpia tomada de un suministro comercial, que es transportada mediante una bomba al tanque superior, el agua que es vertida al tanque superior de 50 l, que es calentada previamente por un intercambiador de calor (TY, 1-1), conectado en la tubería de descarga de la bomba. El tanque superior también es alimentado de aire por la parte inferior, con una tubería directamente conectada al tanque. El tanque superior tiene conectado directamente tres

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

sensores que miden la temperatura (TT, 1-3), el nivel de agua presente en el tanque (PT, 1-4), que debe tener un tope máximo de 50 l, y un sensor de oxígeno disuelto (AT, 1-2). Estos instrumentos trabajan en conjunto con los equipos y accesorios que se emplean en el proceso. En cuanto al nivel de agua del tanque superior, el sensor de nivel debe estar configurado para que la electroválvula (S), de la descarga permita el drenaje del agua y haciendo un lazo de control entre (LT, 1-4), pasando por el control (LC, 1-5) y activando una variador de velocidad (LY, 1-9), donde se encuentra conectada la electrobomba, con el fin de recircular el agua sin que esta logre rebosar el tope máximo, además se cuenta con un medidor de flujo (EF, 1-12) que permite cuantificar la cantidad de litros de agua que ha recirculado por el tanque este tipo de sensor tiene un elemento de transmisión de datos (FT, 1-13) lo que permitirá ver de forma digital la razón de flujo que tiene la electrobomba en un tiempo determinado. El sensor de la temperatura (TT, 1-3), debe hacer un lazo de control a través de (TC, 1-7), que a su vez activa el intercambiador de calor (TY, 1-1), y posteriormente enviando una señal de desactivación con respecto al rango de temperatura que se quiera mantener en el agua, y el medidor de oxígeno disuelto (AT, 1-2), permitirá ver en qué nivel está presente el oxígeno en el agua y permitir que la electroválvula (AC, 1-6), que controla el suministro de aire al tanque pueda recibir una señal de abrir o cerrar. El tanque inferior cuenta con una válvula de descarga para depurar el agua que no se utilice.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones.

- Es posible diseñar una planta piloto para el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto, con el fin de monitorear el comportamiento del oxígeno disuelto en agua a distintos rangos de temperatura. El diseño de la planta piloto permite visualizar posteriores avances en automatización y control.
- Se logra definir los parámetros de operación, los cálculos y los materiales adecuados para garantizar un correcto funcionamiento de los equipos que se involucran dentro del proceso del monitoreo de oxígeno disuelto.
- Se logra diseñar la planta en programas computacionales que brindan la posibilidad de levantar planos y ofrecer una vista tridimensional de la estructura con los elementos que la conforman.
- Se logra identificar mediante el estudio de las variables, caudal, temperatura, presión y oxígeno disuelto, los instrumentos de medición específicos para la visualización de los datos arrojados por cada variable involucrada.
- Se logra elaborar un diagrama (P&ID) y un diagrama de conexión de los instrumentos, para un mejor entendimiento del proceso y la correcta utilización de cada instrumento.

5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda implementar un sistema de control que involucre los equipos y la instrumentación con el fin de llevar a cabo el proceso que se ilustra en el diagrama (P&ID).

5.3 Trabajo a futuro.

- La futura implementación de la planta piloto, es un potencial punto de partida para pruebas posteriores con biorreactores. Deja abiertas las opciones para implementar un

| | | | |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

modelo matemático del proceso mediante la realización de pruebas a menor escala de biocultivos, en las que las condiciones ambientales requeridas por microorganismos puedan dárseles mediante la automatización de la planta piloto.

| | | | |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

REFERENCIAS

- Cengel. (2006). *Mecánica de fluidos*. Mexico: Mc Graw Hill/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica*. Ciudad de México: Mc Graw Hill/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Creus Solé, A. (2011). *INSTRUMENTACION INDUSTRIAL*. Barcelona: Marcombo.
- Endress+Hauser. (2014). Cerabar M PMC51, PMP51, PMP55. Kaegenstrasse, Suiza.
- Endress+Hauser. (2014). Omnigrad M TR10. Kaegenstrasse, Suiza.
- Fuentes, F., & Massol-Deya, A. (2002). *Ecología de Microorganismos*. Puerto Rico.
- HANNA. (2014). Controlador de oxígeno con rango extendido y salida análoga. Woonsocket, Estados Unidos.
- Instrutek. (2014). ELECTROMAGNETIC FLOWMETER. Noruega.
- La feria de los empaques y las canecas. (2014). Caneca plastica nueva tapa y aro metalico. Bogota, Colombia.
- PEDROLLO S.p.A. (2011). Electrobombas centrifugas en acero inox. san bonifacio, Italia.
- Rajput, R. K. (2011). *Ingeniería termodinámica* (3 ed.). México D.F.: Cengage Learning.
- Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2002). *Diseño en ingeniería mecánica*. Ciudad de México: Mc Graw Hill/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.

| | | | |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
|  Institución Universitaria | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

APÉNDICE

Apéndice A, datos de la tubería. Tuberías comerciales.

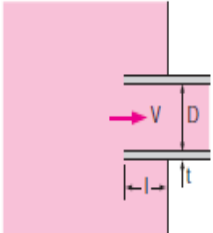
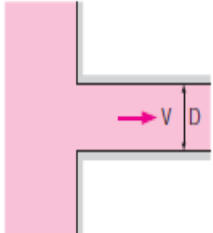
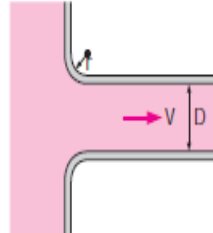
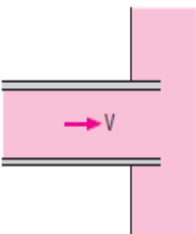
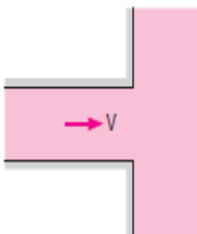
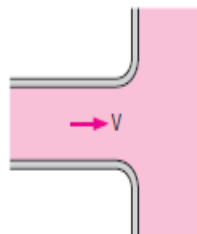
| ESPESOR DE LA TUBERIA CEDULA 40 | | |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|
| DIAMETRO PULGADAS | DIMETRO EXT mm | DIAMETRO INT mm |
| 1/2" | 21.3 | 15.8 |
| 2" | 60.2 | 52.5 |
| 3" | 55.9 | 77.9 |

Adaptado de (ANSI, 1970, PARTE 2).

Apéndice B, datos de las medidas de los coeficientes de pérdidas por ensanchamiento.

TABLE 8-4

Loss coefficients K_L of various pipe components for turbulent flow (for use in the relation $h_L = K_L V^2 / (2g)$, where V is the average velocity in the pipe that contains the component)*

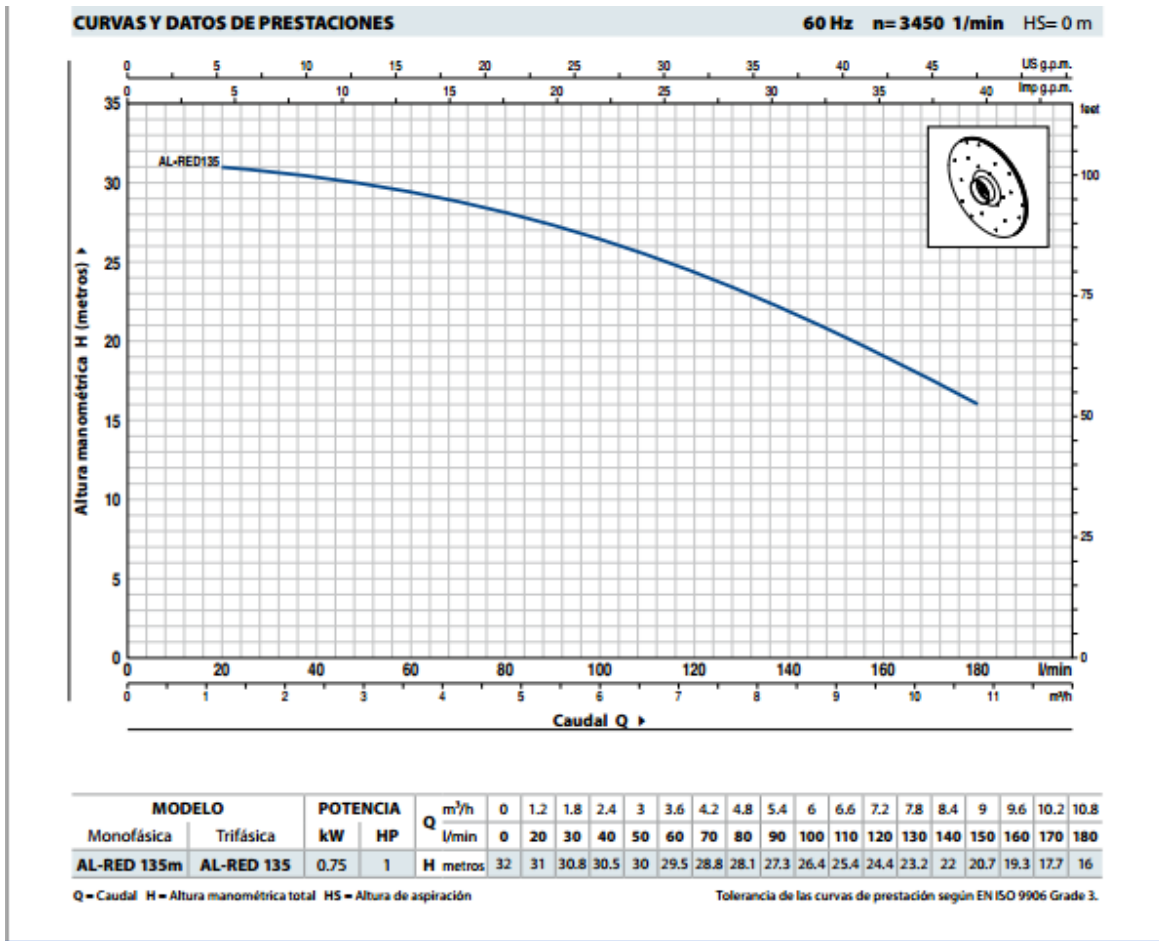
| | | |
|--|---|---|
| <p><i>Pipe Inlet</i> <i>Reentrant: $K_L = 0.80$</i> <i>($t \ll D$ and $l \approx 0.1D$)</i></p>  | <p><i>Sharp-edged: $K_L = 0.50$</i></p>  | <p><i>Well-rounded ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$</i> <i>Slightly rounded ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$</i> <i>(see Fig. 8-36)</i></p>  |
| <p><i>Pipe Exit</i> <i>Reentrant: $K_L = \alpha$</i></p>  | <p><i>Sharp-edged: $K_L = \alpha$</i></p>  | <p><i>Rounded: $K_L = \alpha$</i></p>  |

Note: The kinetic energy correction factor is $\alpha = 2$ for fully developed laminar flow, and $\alpha \approx 1$ for fully developed turbulent flow.

Sudden Expansion and Contraction (based on the velocity in the smaller-diameter pipe)

Tomado de (Cengel, 2006)

Apéndice C, datos del fabricante de la bomba.



Tomado de (PEDROLLO S.p.A, 2011)

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 01 |
| | | Fecha | 2013-09-16 |

FIRMA ESTUDIANTES Miguel E. Alvarez Pardoza
JOHNNY R. GAMBORA R.

FIRMA ASESOR Manuel A. Ospina AL.

FECHA ENTREGA: 17/oct/2014

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____