



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE TRES TIPOS DE SISTEMAS  
DE OXIGENACIÓN PARA DEPÓSITOS DE AGUA DE RIEGO EN  
EL INVERNADERO DE HORTICULTURA EN LA FACULTAD DE  
RECURSOS NATURALES”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para obtener el grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: FLORES ARÉVALO CHRISTIAN GIOVANNI**

**ORTIZ REYES JUAN DAVID**

**DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2020**

**©2020, Christian Giovanni Flores Arévalo; & Juan David Ortiz Reyes**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Christian Giovanni Flores Arévalo, Juan David Ortiz Reyes, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

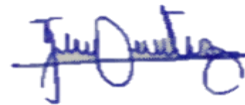
Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de mayo de 2020



Christian Giovanni Flores Arévalo

180456747-5

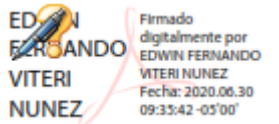




Juan David Ortiz Reyes

180493925-2

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta tecnológica, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE TRES TIPOS DE SISTEMAS DE OXIGENACIÓN PARA DEPÓSITOS DE AGUA DE RIEGO EN EL INVERNADERO DE HORTICULTURA EN LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**, realizado por los señores: **CHRISTIAN GIOVANNI FLORES ARÉVALO** y **JUAN DAVID ORTIZ REYES** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 <p>Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2020.06.30 09:35:42 -05'00'</p>	<b>2020-05-19</b>
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 <p>DIC: es=SANTIAGO ALEJANDRO LOPEZ ORTIZ ou=EC-INGENIERIA ou=ESPIONA DTIC ou=AUTORIDAD DE CERTIFICACION ESPIONA DTIC Reason: I am the author of this document Date: 2020.06.26 16:03:06.00</p>	<b>2020-05-19</b>
Ing. Fabián Eduardo Bastidas Alarcón <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	 <p>Firmado digitalmente por BASTIDAS ALARCON FABIAN EDUARDO Fecha: 2020.06.25 10:29:26 -05'00'</p>	<b>2020-05-19</b>

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a la memoria de mi abuelito Wilson Arévalo Vaca. Sus ocurrencias, alegría, enseñanzas y amor siempre estarán en mi corazón. Abuelito gracias por siempre darme tu bendición, sé que estás orgulloso y compartes conmigo la alegría que siento en este momento.

Christian

Este trabajo va dedicado a los impulsos principales de mi vida y la razón de obtener este logro mis Padres Juan y Clara.

A los pequeños de mi familia Pao, Dome y Anthony, espero que puedan ver en mi un ejemplo y un amigo siempre.

Y a mis abuelitos Luis, Marina, Felipe y Herminia, sé que estarán orgullosos de cómo sus hijos nos criaron.

Juan

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi padre Luis, a mi madre Silvana y hermana Gladys Cristina que son el pilar y la motivación principal para cumplir todos los objetivos que me he trazado, sin el sacrificio y el apoyo incondicional de mi familia esta meta cumplida no sería posible.

Agradezco también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo especialmente a los docentes que forman parte de la escuela de ingeniería mecánica ya que comparten sus conocimientos para poder aplicarlos en nuestra profesión.

Christian

Quiero en primer lugar agradecer a Dios por permitirme alcanzar este objetivo en mi vida.

A mis padres Juan y Clara porque siempre lucharon por mi bienestar, mi educación y mi salud, no conozco a nadie en este mundo a quienes deba más amor y agradecimiento, todo lo que alcance en mi vida será por ustedes y para ustedes.

Gracias a mis hermanas Gabriela, Silvia y Brenda siempre con sus palabras y acciones me incentivaros a seguir adelante no importo cuantas veces caí siempre estuvieron ahí conmigo para levantarme. A mis compañeros y amigos de la Escuela de Ingeniería Mecánica con quienes viví toda esta aventura, compartiendo siempre las alegrías y tristezas.

Un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, a todos los docentes de mi amada Escuela de Ingeniería Mecánica, especialmente a los Ingenieros Santiago López y Fabián Bastidas por su ayuda y amistad brindada en esta tesis, y al ingeniero Víctor Lindao Docente de la carrera de agronomía quien nos dio la apertura y ayuda para el desarrollo de este proyecto

Juan

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN .....	xix
ABSTRACT.....	xx
<b>1</b> <b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b> <b>Antecedentes</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2</b> <b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3</b> <b>Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4</b> <b>Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.1</b> <i>Objetivo general</i> .....	<b>3</b>
<b>1.4.2</b> <i>Objetivos específicos</i> .....	<b>3</b>
<b>1.5</b> <b>Alcance</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b> <b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1</b> <b>Generalidades</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.1</b> <i>El Agua</i> .....	<b>5</b>
<b>2.1.2</b> <i>Calidad del agua</i> .....	<b>5</b>
<b>2.1.3</b> <i>El Oxígeno</i> .....	<b>5</b>
<b>2.1.4</b> <i>Oxígeno Disuelto</i> .....	<b>6</b>
<b>2.1.4.1</b> <i>Efectos de la temperatura</i> .....	<b>6</b>
<b>2.1.4.2</b> <i>Efectos de la presión atmosférica</i> .....	<b>7</b>
<b>2.1.5</b> <i>Solubilidad</i> .....	<b>7</b>
<b>2.1.6</b> <i>Parámetros del fluido</i> .....	<b>8</b>
<b>2.1.6.1</b> <i>Principio de Bernoulli</i> .....	<b>8</b>
<b>2.1.6.2</b> <i>Presión</i> .....	<b>8</b>

2.1.6.3	<i>Densidad</i> .....	9
2.1.6.4	<i>Velocidad</i> .....	9
2.1.6.5	<i>Flujo Volumétrico</i> .....	9
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de oxigenación del agua</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Sistema de oxigenación por aireador mecánico</b> .....	<b>9</b>
2.2.1.1	<i>Principio de funcionamiento de oxigenación por aireador mecánico</i> .....	9
2.2.1.2	<i>Componentes del sistema</i> .....	10
2.2.1.3	<i>Tipos de aireadores mecánicos</i> .....	10
<b>2.2.2</b>	<b>Sistema de oxigenación superficie lenta</b> .....	<b>11</b>
2.2.2.1	<i>Principio de funcionamiento de sistema de oxigenación superficie lenta</i> .....	11
<b>2.2.3</b>	<b>Sistema de oxigenación por bomba aireadora</b> .....	<b>12</b>
2.2.3.1	<i>Principio de funcionamiento de oxigenación por bomba aireadora</i> .....	12
<b>2.2.4</b>	<b>Sistema de oxigenación por gravedad</b> .....	<b>12</b>
2.2.4.1	<i>Principio de funcionamiento de oxigenación por gravedad</i> .....	12
<b>2.2.5</b>	<b>Sistema de oxigenación por bomba vertical</b> .....	<b>12</b>
2.2.5.1	<i>Principio de funcionamiento de oxigenación por bomba vertical</i> .....	12
<b>2.2.6</b>	<b>Sistema de oxigenación por recirculación</b> .....	<b>13</b>
2.2.6.1	<i>Principio de funcionamiento de oxigenación por recirculación</i> .....	13
2.2.6.2	<i>Tipos de difusores</i> .....	13
<b>2.3</b>	<b>Métodos de medición de oxígeno disuelto en agua</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Método de Winkler</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Medidores de Oxígeno Digitales</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Sistemas de control</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Temporizador</b> .....	<b>16</b>
2.4.1.1	<i>Temporizador magnético</i> .....	16
2.4.1.2	<i>Temporizador térmico</i> .....	16
2.4.1.3	<i>Temporizador neumático</i> .....	17
2.4.1.4	<i>Temporizador electrónico</i> .....	17
<b>2.4.2</b>	<b>Contactador</b> .....	<b>17</b>



2.4.3	<b>Relé</b> .....	18
2.5	<b>Sistemas de Transmisión</b> .....	18
2.5.1	<b>Correas</b> .....	19
2.5.1.1	<i>Ventajas de las correas</i> .....	19
2.5.1.2	<i>Desventajas de las correas</i> .....	19
2.5.1.3	<i>Tipos de correas</i> .....	19
2.5.2	<b>Cadenas</b> .....	20
2.5.2.1	<i>Ventajas de las cadenas</i> .....	21
2.5.2.2	<i>Desventajas de las cadenas</i> .....	21
2.5.2.3	<i>Tipos de cadenas</i> .....	21
2.5.3	<b>Engranajes</b> .....	21
2.5.3.1	<i>Ventajas de los engranajes</i> .....	21
2.5.3.2	<i>Desventajas de los engranajes</i> .....	21
2.5.3.3	<i>Tipos de engranajes</i> .....	22
2.6	<b>Cojinetes y Rodamientos</b> .....	23
2.6.1	<b>Tipos de rodamientos</b> .....	24
2.6.1.1	<i>Rodamiento de bolas</i> .....	24
2.6.1.2	<i>Rodamiento de Rodillos Cilíndricos</i> .....	24
2.7	<b>Métodos estadísticos de varianza</b> .....	25
2.7.1	<b>Prueba de Tukey</b> .....	25
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	26
3.1	<b>Reconocimiento de los tanques reservorio</b> .....	26
3.2	<b>Diseño experimental</b> .....	27
3.2.1	<b>Sistemas de oxigenación</b> .....	27
3.2.2	<b>Análisis de las características entre los sistemas de oxigenación</b> .....	28
3.2.2.1	<i>Comparación de la transferencia de oxígeno entre los sistemas de oxigenación.</i> .....	29
3.2.2.2	<i>Comparación del costo de implementación entre los sistemas de oxigenación.</i> .....	30
3.2.2.3	<i>Comparación de la facilidad de implementación entre los sistemas de oxigenación.</i> ...	31
3.2.3	<b>Selección de los sistemas de oxigenación para el invernadero de horticultura</b> .....	32

<b>3.2.4</b>	<b>Equipo para la medición de oxígeno disuelto</b> .....	32
3.2.4.1	<i>Calibración del equipo de medición</i> .....	33
<b>3.3</b>	<b>Implementación del sistema de oxigenación por recirculación</b> .....	34
3.3.1	<i>Principio y síntesis del funcionamiento del sistema por recirculación</i> .....	34
3.3.2	<i>Equipos y materiales</i> .....	34
3.3.2.1	<i>Bomba Centrífuga</i> .....	34
3.3.2.2	<i>Tubería de succión</i> .....	34
3.3.2.3	<i>Tubería de descarga</i> .....	35
3.3.2.4	<i>Accesorios</i> .....	35
3.3.2.5	<i>Manguera de descarga</i> .....	36
3.3.2.6	<i>Manómetro</i> .....	37
3.3.3	<i>Instalación del sistema</i> .....	37
3.3.4	<i>Calculo de parámetros</i> .....	38
3.3.4.1	<i>Determinación de la variación de flujo</i> .....	38
3.3.4.2	<i>Determinación de la variación de Presión</i> .....	40
<b>3.4</b>	<b>Implementación del sistema de oxigenación por gravedad</b> .....	42
3.4.1	<i>Principio y síntesis del funcionamiento del sistema por gravedad</i> .....	42
3.4.2	<i>Equipos y materiales</i> .....	42
3.4.2.1	<i>Bomba Centrífuga</i> .....	42
3.4.2.2	<i>Tubería de succión</i> .....	43
3.4.2.3	<i>Tubería de descarga</i> .....	43
3.4.2.4	<i>Accesorios</i> .....	44
3.4.2.5	<i>Soporte para manguera de descarga</i> .....	44
3.4.2.6	<i>Manguera de descarga</i> .....	45
3.4.2.7	<i>Manómetro</i> .....	46
3.4.3	<i>Instalación del sistema</i> .....	46
3.4.4	<i>Calculo de parámetros</i> .....	47
3.4.4.1	<i>Determinación de la variación de flujo</i> .....	47
3.4.4.2	<i>Determinación de la variación de Presión</i> .....	49

<b>3.5</b>	<b>Implementación del sistema de oxigenación mecánico</b> .....	51
<b>3.5.1</b>	<b>Principio y síntesis del funcionamiento del sistema mecánico</b> .....	51
<b>3.5.2</b>	<b>Equipos y materiales</b> .....	51
3.5.2.1	<i>Motor</i> .....	51
3.5.2.2	<i>Reductor de velocidad</i> .....	51
3.5.2.3	<i>Ejes de transmisión</i> .....	52
3.5.2.4	<i>Chumaceras</i> .....	52
3.5.2.5	<i>Cadenas de transmisión</i> .....	53
3.5.2.6	<i>Catalinas</i> .....	53
3.5.2.7	<i>Correas</i> .....	54
3.5.2.8	<i>Poleas</i> .....	54
3.5.2.9	<i>Rodetes</i> .....	544
<b>3.5.3</b>	<b>Instalación del sistema mecánico</b> .....	56
<b>3.5.4</b>	<b>Dimensionamiento del eje</b> .....	57
<b>3.6</b>	<b>Sistema de control</b> .....	59
<b>3.6.1</b>	<b>Principio y síntesis del funcionamiento del sistema eléctrico</b> .....	59
<b>3.6.2</b>	<b>Equipos</b> .....	60
3.6.2.1	Temporizador para programación de riego .....	60
3.6.2.2	Relé .....	61
3.6.2.3	Contactador .....	61
<b>3.7</b>	Validación de los sistemas de oxigenación .....	62
<b>4</b>	<b>GESTION DEL PROYECTO</b> .....	63
<b>4.1</b>	<b>Resultados</b> .....	63
4.1.1	<i>Análisis del tiempo óptimo de oxigenación</i> .....	63
4.1.2	<i>Cantidad de oxígeno disuelto en agua sin oxigenar</i> .....	63
4.1.3	<i>Cantidad de oxígeno disuelto en agua después de oxigenar día 1</i> .....	66
<b>4.2</b>	<b>Análisis de costos</b> .....	68
4.2.1	<i>Costos de instrumentos de medición</i> .....	68
4.2.2	<i>Costos del Sistema de Oxigenación por recirculación</i> .....	68

4.2.2.1	Costos directos del Sistema Oxigenación por recirculación .....	68
4.2.2.2	Costos indirectos del sistema Oxigenación por recirculación .....	69
4.2.2.3	Costo total del sistema Oxigenación por recirculación .....	69
<b>4.2.3</b>	<b>Costos del Sistema de Oxigenación por gravedad.....</b>	<b>69</b>
4.2.3.1	Costos directos del Sistema Oxigenación por gravedad .....	69
4.2.3.2	Costos indirectos del sistema Oxigenación por gravedad .....	70
4.2.3.3	Costo total del sistema Oxigenación por gravedad .....	70
<b>4.2.4</b>	<b>Costos del Sistema de Oxigenación Mecánico .....</b>	<b>70</b>
4.2.4.1	Costos directos del Sistema Oxigenación Mecánico.....	70
4.2.4.2	Costos indirectos del sistema Oxigenación Mecánico .....	71
4.2.4.3	Costo total del sistema Oxigenación Mecánico .....	71
<b>4.2.5</b>	<b>Costos del Sistema eléctrico.....</b>	<b>71</b>
4.2.5.1	Costos directos del sistema eléctrico .....	71
4.2.5.2	Costos indirectos del sistema eléctrico .....	71
4.2.5.3	Costo total del sistema eléctrico .....	72
<b>4.2.6</b>	<b>Costos totales .....</b>	<b>72</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Relación Costo-Beneficio de los sistemas de oxigenación.....</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Características de los sistemas de oxigenación. ....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Cuantificación de la calificación para el costo de implementación. ....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Cuantificación de la calificación para la facilidad de implementación.....	31
<b>Tabla 4-3:</b>	Características del medidor de oxígeno.....	32
<b>Tabla 5-3:</b>	Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga.....	34
<b>Tabla 6-3:</b>	Especificaciones técnicas de la tubería de succión.....	35
<b>Tabla 7-3:</b>	Especificaciones técnicas de la tubería de descarga .....	355
<b>Tabla 8-3:</b>	Especificaciones técnicas de accesorios en tuberías del sistema por recirculación .....	355
<b>Tabla 9-3:</b>	Especificaciones técnicas de la manguera de descarga .....	366
<b>Tabla 10-3:</b>	Especificaciones técnicas del manómetro. ....	37
<b>Tabla 11-3:</b>	Variación de caudales .....	40
<b>Tabla 12-3:</b>	Variación de presión .....	411
<b>Tabla 13-3:</b>	Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga.....	422
<b>Tabla 14-3:</b>	Especificaciones técnicas de la tubería de succión.....	43
<b>Tabla 15-3:</b>	Especificaciones técnicas de la tubería de descarga .....	433
<b>Tabla 16-3:</b>	Especificaciones técnicas de accesorios en las tuberías del sistema por gravedad .....	44
<b>Tabla 17-3:</b>	Dimensiones del soporte .....	45
<b>Tabla 18-3:</b>	Especificaciones técnicas de la manguera de descarga .....	455
<b>Tabla 19-3:</b>	Especificaciones técnicas del manómetro. ....	466
<b>Tabla 20-3:</b>	Especificaciones técnicas del manómetro. ....	48
<b>Tabla 21-3:</b>	Variación de presión .....	50
<b>Tabla 22-3:</b>	Especificaciones técnicas del motor.....	51
<b>Tabla 23-3:</b>	Especificaciones técnicas de cadena de transmisión .....	53
<b>Tabla 24-3:</b>	Especificaciones técnicas del material pla .....	55
<b>Tabla 25-3:</b>	Factor de seguridad según la carga .....	56
<b>Tabla 26-3:</b>	Especificaciones técnicas del temporizador en los sistemas.....	600
<b>Tabla 27-3:</b>	Especificaciones técnicas del contactor .....	62
<b>Tabla 1-4:</b>	Valor de oxígeno disuelto de cada división en los tanques antes de oxigenar ....	64
<b>Tabla 2-4:</b>	Análisis por varianza para la medición de oxígeno disuelto antes de oxigenar ..	65
<b>Tabla 3-4:</b>	Significado de los valores de probabilidad.....	65
<b>Tabla 4-4:</b>	Valor según la prueba de tukey al 5% antes de oxigenar .....	65

<b>Tabla 5-4:</b>	Análisis por varianza para la medición de oxígeno disuelto después de oxigenar 1 día.....	66
<b>Tabla 6-4:</b>	Valor según la prueba de tukey al 5% después de oxigenar 1 día .....	67
<b>Tabla 7-4:</b>	Valor de oxígeno disuelto en 6 días de estudio .....	68
<b>Tabla 1-5:</b>	Costos de instrumentos de medición .....	68
<b>Tabla 2-5:</b>	Costos directos del sistema de oxigenación por recirculación.....	68
<b>Tabla 3-5:</b>	Costos indirectos del sistema de oxigenación por recirculación.....	69
<b>Tabla 4-5:</b>	Costo total del sistema oxigenación por recirculación .....	69
<b>Tabla 5-5:</b>	Costos directos del sistema de oxigenación por gravedad.....	69
<b>Tabla 6-5:</b>	Costos indirectos del sistema de oxigenación por gravedad.....	70
<b>Tabla 7-5:</b>	Costo total del sistema oxigenación por gravedad .....	70
<b>Tabla 8-5:</b>	Costos directos del sistema de oxigenación mecánico .....	70
<b>Tabla 9-5:</b>	Costos indirectos del sistema de oxigenación mecánico .....	71
<b>Tabla 10-5:</b>	Costo total del sistema oxigenación mecánico .....	71
<b>Tabla 11-5:</b>	Costos directos del sistema eléctrico.....	71
<b>Tabla 12-5:</b>	Costos indirectos del sistema eléctrico.....	71
<b>Tabla 13-5:</b>	Costo total del sistema eléctrico.....	72
<b>Tabla 14-5:</b>	Costo total.....	72
<b>Tabla 15-5:</b>	Comparación de los sistemas de oxigenación por la relación costo-beneficio ....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2</b>	Resultado del método winkler .....	15
<b>Figura 2-2</b>	Contactador .....	17
<b>Figura 3-2</b>	Relé .....	18
<b>Figura 4-2</b>	Clasificación de las transmisiones mecánicas .....	18
<b>Figura 5-2</b>	Correas planas .....	19
<b>Figura 6-2</b>	Correas en v.....	20
<b>Figura 7-2</b>	Cadenas y sus partes .....	20
<b>Figura 8-2</b>	Engranajes rectos.....	22
<b>Figura 9-2</b>	Engranajes helicoidales .....	22
<b>Figura 10-2</b>	Engranajes cónicos .....	23
<b>Figura 11-2</b>	Tornillo sinfín.....	23
<b>Figura 12-2</b>	Rodamiento de bolas .....	24
<b>Figura 13-2</b>	Rodamientos de rodillos cilíndricos.....	24
<b>Figura 1-3</b>	Diagrama de proceso de implementación de los sistemas de oxigenación .....	26
<b>Figura 2-3</b>	Tanques reservorio .....	26
<b>Figura 3-3</b>	Dimensiones de los tanques .....	27
<b>Figura 4-3</b>	Medidor de oxígeno .....	32
<b>Figura 5-3</b>	Silica 3.....	33
<b>Figura 6-3</b>	Medición de oxígeno disuelto por método químico .....	33
<b>Figura 7-3</b>	Bomba centrífuga del sistema por recirculación .....	34
<b>Figura 8-3</b>	Tubería de succión del sistema por recirculación.....	34
<b>Figura 9-3</b>	Tubería de descarga del sistema por recirculación .....	35
<b>Figura 10-3</b>	Manguera de descarga del sistema por recirculación .....	366
<b>Figura 11-3</b>	Manómetro del sistema por recirculación .....	37
<b>Figura 12-3</b>	Instalación del sistema por recirculación .....	377
<b>Figura 13-3</b>	Instalación del sistema por recirculación .....	38
<b>Figura 14-3</b>	Instalación del sistema por recirculación .....	38
<b>Figura 15-3</b>	Bomba centrífuga del sistema por gravedad .....	422
<b>Figura 16-3</b>	Tubería de succión del sistema por gravedad.....	43
<b>Figura 17-3</b>	Tubería de descarga del sistema por gravedad .....	43
<b>Figura 18-3</b>	Soporte del sistema.....	44
<b>Figura 19-3</b>	Dimensiones del soporte.....	45
<b>Figura 20-3</b>	Manguera de descarga .....	45
<b>Figura 21-3</b>	Manómetro del sistema.....	46

<b>Figura 22-3</b>	Instalación del sistema por gravedad .....	46
<b>Figura 23-3</b>	Sistema por gravedad.....	47
<b>Figura 24-3</b>	Sistema por gravedad.....	47
<b>Figura 25-3</b>	Motor eléctrico .....	51
<b>Figura 26-3</b>	Reductor de velocidad .....	52
<b>Figura 27-3</b>	Eje de transmisión .....	52
<b>Figura 28-3</b>	Chumacera.....	52
<b>Figura 29-3</b>	Cadena de transmisión.....	53
<b>Figura 30-3</b>	Catalinas .....	53
<b>Figura 31-3</b>	Banda de transmisión.....	54
<b>Figura 32-3</b>	Polea.....	54
<b>Figura 33-3</b>	Modelado de rodete .....	55
<b>Figura 34-3</b>	Rodete impreso en 3d .....	55
<b>Figura 35-3</b>	Simulación con 5kgf.....	56
<b>Figura 36-3</b>	Ejes listos para el montaje en el sistema .....	57
<b>Figura 37-3</b>	Ubicación de chumaceras en el sistema .....	57
<b>Figura 38-3</b>	Diagrama de cuerpo libre del eje .....	58
<b>Figura 39-3</b>	Diagrama de sistema de control.....	60
<b>Figura 40-3</b>	Temporizador para programación de riego .....	60
<b>Figura 41-3</b>	Relé del sistema de control .....	61
<b>Figura 42-3</b>	Contactador del sistema de control.....	61
<b>Figura 43-3</b>	Medición de oxígeno disuelto después de oxigenar .....	62
<b>Figura 1-4</b>	Esquema de tanques reservorio.....	64



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2</b>	Efecto de la profundidad sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua .....	6
<b>Gráfico 2-2</b>	Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua. ....	7
<b>Gráfico 1-3</b>	Diagrama de comparación de la transferencia de oxígeno entre los sistemas de oxigenación. ....	29
<b>Gráfico 2-3</b>	Diagrama de comparación del costo de implementación entre los sistemas de oxigenación. ....	30
<b>Gráfico 3-3</b>	Diagrama de comparación de la facilidad de implementación entre los sistemas de oxigenación. ....	31
<b>Gráfico 1-4</b>	Caída de oxígeno disuelto respecto al tiempo. ....	63
<b>Gráfico 2-4</b>	Cantidad de oxígeno disuelto en cada tanque antes de oxigenar .....	66
<b>Gráfico 3-4</b>	Cantidad de oxígeno disuelto en cada tanque después de oxigenar 1 día .....	67
<b>Gráfico 1-5</b>	Diagrama de comparación costo beneficio. ....	63

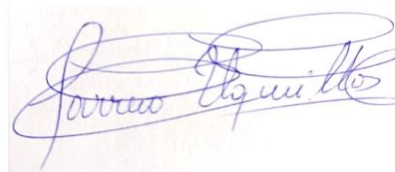
## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** PLAN DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE OXIGENACION MECÁNICO
- ANEXO B:** MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS DE LOS SISTEMAS DE OXIGENACIÓN
- ANEXO C:** MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL
- ANEXO D:** PRESUPUESTO DE IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE OXIGENACION POR RECIRCULACION
- ANEXO E:** PRESUPUESTO DE IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE OXIGENACION POR GRAVEDAD
- ANEXO F:** PRESUPUESTO DE IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE OXIGENACION MECANICO
- ANEXO G:** DATOS DE MEDICION DE OXIGENO DISUELTO DE CADA DIA
- ANEXO H:** ANÁLISIS POR VARIANZA PARA LA MEDICIÓN DE OXÍGENO DISUELTO
- ANEXO I:** FORMATO PARA REGISTRO DE DATOS DE OXIGENACIÓN
- ANEXO J:** CERTIFICADO DE APROBACION DEL PROYECTO DE TITULACION

## RESUMEN

El agua de los depósitos del invernadero de horticultura no tenían la cantidad de oxígeno disuelto necesario para que las plantas asimilen bien los nutrientes según investigaciones realizadas por el Ingeniero a cargo del invernadero de horticultura, por lo que se realizó un estudio de todos los métodos y sistemas de oxigenación más utilizados en la industria, se analizó las características principales de cada uno de ellos, y escogió los tres más adecuados para las condiciones de los tanques del invernadero. Los sistemas que se eligieron son: oxigenación por recirculación, por gravedad y mecánico, los mismos que se implementaron para que el oxígeno disuelto este por encima de los 7 mg/l, con un medidor, se realizó la toma de datos correspondientes en cada uno de ellos y se determinó que los tres aumentaron el oxígeno disuelto de tal manera que cumplen con las necesidades requeridas. Para brindar una recomendación de elección de los sistemas de oxigenación adecuados se tomaron en consideración dos factores importantes que son: el incremento de la cantidad de oxígeno disuelto y el factor económico. Considerando la parte técnica, el sistema que tiene una oxigenación más alta es el mecánico, mientras que por la parte económica el más rentable es el de gravedad, alternativa que se obtuvo después de realizar un análisis costo beneficio calculado, para identificar las alternativas más óptimas y que los costos para su puesta en marcha no sean elevados. Con un temporizador para programación de riego se implementó un sistema de control para que la cantidad de oxígeno disuelto se mantenga constante, para esto se hicieron algunas pruebas variando los tiempos de encendido y apagado, y se concluyó que el tiempo más óptimo de oxigenación es de 30 segundos cada 5 minutos, esto evita que se produzca una caída considerable de oxígeno disuelto. Para un funcionamiento adecuado de los sistemas es recomendable realizar un mantenimiento periódico según indica el plan de mantenimiento y operación.

**Palabras clave:** <INVERNADERO DE HORTICULTURA>, <OXÍGENO DISUELTO>, <SISTEMA DE OXIGENACIÓN>, <MEDIDOR DE OXÍGENO>, <TEMPORIZADOR DE PROGRAMACIÓN>, <INCREMENTO DE OXÍGENO>



23-06-2020  
0053-DBRAI-UPT-2020

## **ABSTRACT**

The water in the horticultural greenhouse tanks did not have the amount of dissolved oxygen necessary for the plants to assimilate the nutrients well according to research carried out by the engineer in charge of the horticultural greenhouse, so a study was made of all the oxygenation methods and systems most used in the industries, the main characteristics of each one of them were analyzed, and the three most suitable for the conditions of the greenhouse tanks were chosen. The systems that were chosen are: recirculation, gravity and mechanical oxygenation, the same ones that were implemented so that the dissolved oxygen is above 7 mg/l, with a monitor the corresponding data was taken in each one of them and it was determined that all three increased the dissolved oxygen in such a way that fulfill the required needs. In order to provide a recommendation for the choice of appropriate oxygenation systems, two important parameters were taken into consideration: the increase in the amount of dissolved oxygen and the economic parameter. Considering the technical part, the system that has a higher oxygenation is the mechanical one, while the economic part the most profitable one is the gravity one, alternative that was obtained after a calculated cost-benefit analysis, to identify the optimal alternatives and that costs for its implementation are not high. With a timer for irrigation programming, a control system was implemented so that the amount of dissolved oxygen remains constant. For this purpose, some tests were made varying the on and off times, and it was concluded that the optimum oxygenation time is 30 seconds every 5 minutes, this prevent a considerable drop in dissolved oxygen. For a correct operation of the systems it is recommended to carry out a periodical maintenance and operation plan.

**Keywords:** <HORTICULTURAL GREENHOUSE>, <DISSOLVED OXYGEN>, <OXYGENATION SYSTEM>, <OXYGEN TESTER>, <PROGRAMMING TIMER>, <INCREASED OXYGEN >

## **1. INTRODUCCION**

El oxígeno disuelto en el agua es primordial para la vida de plantas, peces y otros organismos, por lo que es importante mantener la cantidad de oxígeno en el rango requerido por las especies que habitan este entorno, ya que no todas las especies necesitan la misma cantidad de oxígeno, algunas necesitan más que otras (Oroxón Fuentes, 2017, p. 7).

El insuficiente oxígeno disuelto puede causar que los seres no se desarrollen de la forma esperada notándose reducciones de tamaño, incluso pueden aparecer enfermedades que pueden causar hasta la muerte (Oroxón Fuentes, 2017, p. 8).

Sí el agua no contiene la cantidad de oxígeno disuelto suficiente para que las especies que se encuentran en ella pueda desarrollarse adecuadamente, se puede optar por los diferentes métodos que existen (Oroxón Fuentes, 2017, p. 9). Las principales características de estos son, mantener el agua en movimiento por lo que rompen la tensión superficial y absorber más oxígeno de la atmósfera de esta manera también mezclan totalmente el agua por lo que la cantidad de oxígeno disuelto es el mismo en todo el recipiente o estanque ya que siempre existe más cantidad de en la superficie. También crean burbujas que causan ondulaciones por ende aumenta el área de contacto entre el agua y el aire (García Moreno, 2010, p. 12).

En Ecuador estos sistemas de oxigenación son utilizados principalmente para la crianza de peces y camarones lo que ha dado muy buenos resultados, ya que con los mecanismos estudiados fácilmente se llega a 5mg/l que es la cantidad necesaria para que estas especies se desarrollen con normalidad y sin enfermedades (García Moreno, 2010, p. 11). Para que estos animales crezcan de buena manera existen otros factores como la temperatura, salinidad y presión atmosférica, pero el factor más crítico es el oxígeno disuelto por eso la importancia de tener un buen método de oxigenación (Oroxón Fuentes, 2017).

Ahora lo que se quiere es implementar estos sistemas para el cultivo de plantas, ya que de esta manera se utilizará en menos cantidad los fertilizantes, pesticidas y otros químicos que afectan al consumidor.

### **1.1. Antecedentes**

El Ingeniero Mecánico al tener variedad de conocimientos técnicos y tecnológicos que pueden ser utilizados en diferentes áreas de ingeniería vinculándose de manera directa o indirecta con el sector agrónomo, en el desarrollo de nuevos mecanismos y sistemas para la mayor y mejor calidad de producción agroindustrial.

Una baja concentración de oxígeno disuelto en el agua es considerado como perjudicial para el incremento de la vida en las fuentes de agua, afectando el correcto crecimiento de peces y plantas que requieren de una correcta cantidad de oxígeno para un mejor desarrollo (Boy y Handson, 2010). En los estanques o pozos de almacenamiento de agua de regadío durante el día las plantas producen oxígeno mediante la fotosíntesis, tan rápidamente que la concentración de oxígeno disuelto en el agua sobrepasa la de saturación, por otra parte, en la noche la respiración de plantas y otros microorganismos presentes en el agua da un resultado de una baja considerable en la concentración de oxígeno disuelto (Boyd, 1998).

Para la transferencia de oxígeno entre la atmósfera y el agua es sumamente importante el mezclado del líquido por medio de aireadores mecánicos, sistemas hidráulicos naturales o impulsados por alguna otra fuente de energía. Este mezclado hace a la superficie irregular rompiendo la tensión superficial del agua y por lo tanto incrementa el área de transferencia, además produce el movimiento de la masa de agua y distribuye el oxígeno desde la superficie hacia otras partes del cuerpo de agua, por otra parte, la agitación del agua por medio de algún sistema de oxigenación, reduce la estratificación vertical de la temperatura y las sustancias químicas (Boyd, 1998)

Es de gran importancia recalcar que, en los sistemas de agua de regadío, la aireación y la disponibilidad de oxígeno disuelto es uno de los mayores factores relevantes tanto para la oxidación y circulación de materia en el estanque como para un adecuado desarrollo de los productos agrícolas que se nutren del agua de dicho estanque (Boyd, 2011). También hay que tener presente que el oxígeno disuelto se ve afectado por la temperatura, ya que si ésta aumenta hay menor solubilidad de oxígeno y viceversa, es decir, la elevación de la temperatura puede llegar a desoxigenar una fuente hídrica (Daza y Patino, 2016).

## **1.2. Planteamiento del problema**

En vista de que la economía de la provincia de Chimborazo depende en gran parte de su agricultura, se necesita tener productos de alta calidad para poder competir en el mercado nacional, para lo cual se realizan distintos tipos de investigaciones para mejorar la producción agrícola de la misma. Para ayudar a este desarrollo se ha optado por estudiar la incidencia del oxígeno del agua en el crecimiento de las plantas, siendo necesario desarrollar sistemas mecánicos o hidráulicos que permitan oxigenar el agua en los estanques de regadío para tener una adecuada y correcta calidad de agua, requiriendo un parámetro de oxígeno disuelto en agua dentro de un rango de 7-14 mg/L. cumpliendo estos parámetro de oxígeno, se puede realizar futuras investigaciones en el desarrollo de productos agrícolas.

### **1.3. Justificación**

Para la elaboración de este proyecto se toma en cuenta la falta de oxígeno en el agua y su control, como aplicación práctica de este trabajo es la implementación de un prototipo de un sistema de oxigenación, el mismo que generara beneficios productivos ya que se mejorara el desarrollo del producto agrícola en el invernadero de Agronomía. Esta propuesta tecnológica se realiza con el fin de ayudar al mejoramiento de la producción agraria.

Después de implementar los tres sistemas en las pozas del invernadero se obtendrá la correlación de eficiencias de cada uno de los casos mediante un análisis estadístico y experimental, entonces se demostrará el sistema más eficiente para oxigenar el agua que se utilizara para el regadío de las plantas en el invernadero.

Para realizar este proyecto se va a utilizar un método experimental, que tiene que ver con la búsqueda del sistema de oxigenación más eficiente, además se utilizará las metodologías activas ya que consiste en el auto aprendizaje y también con una base de conocimientos sólida en lo científico y técnico adquirido.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. *Objetivo general***

Diseñar e Implementar tres tipos de sistemas de oxigenación para depósitos de agua de riego en el invernadero de horticultura en la Facultad de Recursos Naturales

#### **1.4.2. *Objetivos específicos***

- Estudiar los métodos de oxigenación del agua mediante revisión de material bibliográfico y seleccionar las 3 mejores alternativas para satisfacer la demanda de oxígeno disuelto requerida por el agua de riego en el invernadero.
- Implementar los sistemas de oxigenación seleccionados en las piscinas de agua de alimentación para cumplir con la cantidad de oxígeno disuelto mayor a 7mg/l, en el invernadero mediante la selección e instalación de los equipos adecuados para cada sistema.
- Realizar las pruebas experimentales en los tres sistemas, midiendo la cantidad de oxígeno disuelto para recomendar el método que de los resultados más altos
- Realizar un análisis basado en los costos de equipos, instalación de los sistemas y el beneficio económico de la producción de plantas generada por cada método de oxigenación, para seleccionar el sistema de oxigenación más rentable.

- Implementar un sistema de control utilizando un temporizador de programación de riego para que la cantidad de oxígeno disuelto requerido se mantenga en el rango recomendado para el crecimiento normal de las plantas.

### **1.5. Alcance**

El alcance de este proyecto es implementar los tres sistemas de oxigenación, para poder alcanzar el oxígeno disuelto en el agua requerido (7mg/l-14mg/l), que es el necesario para que las plantas del invernadero de horticultura se desarrollen y asimilen los nutrientes de una mejor manera. Medir el oxígeno antes y después de realizar la oxigenación para validar la implementación de los sistemas, por medio de esta medición identificar qué sistema brinda mayor incremento de oxígeno disuelto y analizar que plantas son las que tienen mejor desarrollo.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Generalidades**

#### **2.1.1 *El Agua***

El agua es uno de los elementos más importantes para los seres vivos, ya que todos dependemos del agua para vivir, esta sustancia puede estar en estado sólido, líquido o gaseoso. La fórmula molecular del agua es H<sub>2</sub>O por lo que está compuesta por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno (Oroxón Fuentes, 2017, p. 1).

#### **2.1.2 *Calidad del agua***

Para analizar la calidad del agua, primero se investiga el uso que se le da, dependiendo de las necesidades, debe reunir ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas. Es así que estos parámetros tienen un máximo y un mínimo, por ejemplo; para criar peces estos parámetros son muy importantes y de control riguroso ya que si las propiedades no están dentro del rango los peces no se desarrollan de la forma esperada, mientras que para obtener energía hidráulica este control no es tan importante. Entonces se examina si el agua reúne las características necesarias para su uso y por ende su calidad (Oroxón Fuentes, 2017, p. 2).

#### **2.1.3 *El Oxígeno***

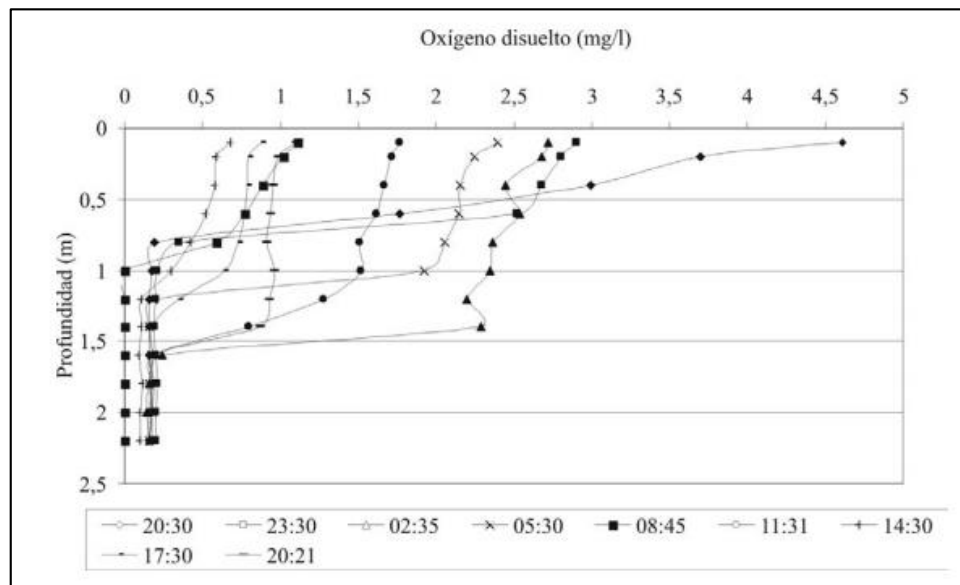
El oxígeno es un elemento gaseoso muy importante para todos los seres vivos de la tierra, ya que este elemento es esencial en los procesos de respiración de casi todas las células vivas, por lo que este elemento nos permite respirar y permanecer con vida a todos los seres que habitamos en el planeta. El oxígeno se encuentra en el aire y es al más abundante después del nitrógeno en la atmosfera terrestre, ya que es 21% de su volumen y 23% de su masa. Normalmente el oxígeno es un gas inodoro, incoloro e insípido, pero cuando se condensa es un líquido que se torna de color azul claro (Avecillas Arellano, 2014, p. 7).

La mayoría de las moléculas importantes que son parte de los seres vivos como las proteínas, carbohidratos, etc. Y los compuestos orgánicos principales como huesos y dientes, todos estos contienen oxígeno que se producen principalmente por plantas, algas y cianobacterias (Avecillas Arellano, 2014, p. 7).

### 2.1.4 Oxígeno Disuelto

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en un líquido, comúnmente se lo analiza en el agua. La mayor cantidad de oxígeno que se disuelve proviene del aire, pero si no es suficiente existen sistemas y métodos para oxigenar el agua. Los niveles bajos de este elemento pueden ayudarnos a identificar el grado de contaminación del agua. La cantidad de oxígeno disuelto en agua depende de algunos factores como; temperatura, presión atmosférica, salinidad entre otros (Oroxón Fuentes, 2017, p. 3).

Normalmente la mayoría de oxígeno disuelto en el agua, se encuentra en la superficie, esto debido a que dicha superficie es la que está en contacto con la atmósfera, por lo que mientras más profundidad del agua menos cantidad de oxígeno llega. Esta es una de las razones por las cuales ocupamos los diferentes métodos de oxigenación, ya que por medio de estos también se mezcla el agua para que la cantidad de oxígeno que esta disuelto sea homogéneo en todo el estanque.



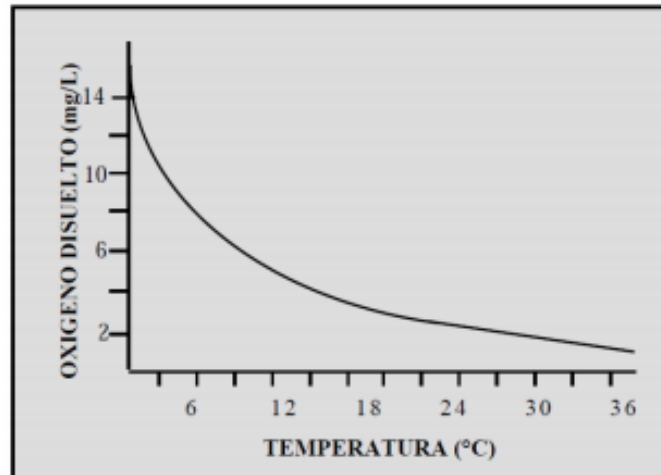
**Gráfico 1-2.** Efecto de la profundidad sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua

**Fuente:** (Benjumea Hoyos & Wills Toro, 2007, p. 58)

#### 2.1.4.1 Efectos de la temperatura

La solubilidad de un gas en un líquido depende de la temperatura, así de esta manera la cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua es afectada por dicha temperatura, ya que a menor temperatura mayor es la cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua, esto es porque mientras más fría el agua, las moléculas se encuentran más unidas por lo que pueden retener mayor cantidad de soluto (Avecillas Arellano, 2014, p. 10).

Como podemos apreciar en el gráfico 1, cierta cantidad de agua que se encuentre a 0°C tiene aproximadamente 15mg/L de oxígeno disuelto, pero si la temperatura aumenta a 36°C la cantidad de oxígeno disuelto baja a aproximadamente 2mg/L. Entonces cuando exista un aumento de temperatura excesivo, es más complicado oxigenar el agua.



**Gráfico 2-2.** Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua.

**Fuente:** ( Arroyo Correa & Millán Barrera , 2012)

#### 2.1.4.2 Efectos de la presión atmosférica

La solubilidad del oxígeno también depende de la presión atmosférica, pero no por lo que comúnmente se cree; que, a mayor altura sobre el nivel del mar, "menor es la presión atmosférica y por ende menos cantidad de oxígeno existe en el aire", ya que esto es falso porque al aire siempre va a tener la misma cantidad de oxígeno en cualquier lugar que tenga hasta una altura de 100Km, aproximadamente el 21%. Si no que la presión atmosférica afecta a la cantidad de oxígeno disuelto debido a q mientras mayor es la presión de un gas sobre un líquido, mayor es la cantidad de gas que absorbe el líquido (Avecillas Arellano, 2014, p. 11). Entonces mientras más alto estemos la cantidad de oxígeno que se disuelve en la sangre es menor, por esta razón son los estragos y efectos de la altura en las personas.

#### 2.1.5 Solubilidad

Es la capacidad que tiene un elemento o sustancia para disolverse en otra, se le conoce como soluto al elemento que se va a disolver, y como disolvente a la sustancia en la cual se introduce el soluto. Hay que tomar en cuenta que algunas sustancias no aceptan como disolvente a otras, como por ejemplo en el agua se pueden disolver el alcohol, el oxígeno; pero el aceite o la gasolina no se pueden disolver en esta sustancia. A pesar de esto el agua es líquido donde más elementos o sustancias se pueden disolver por lo que es considerado el disolvente universal. El agua también

puede actuar como soluto en algunas sustancias salinas que forman disoluciones iónicas. El soluto si introduce en el disolvente cuando la solución esta insaturada ya que acepta a dicho soluto sin dificultades, cuando la solución ya está saturada el disolvente ya no acepta más soluto, en ciertas ocasiones la solubilidad supera el máximo que se permite de la solución, entonces decimos que esta solución esta sobresaturada (Oroxón Fuentes, 2017, p. 6).

### 2.1.6 Parámetros del fluido

#### 2.1.6.1 Principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli relaciona principalmente la velocidad y la presión de un fluido de régimen estacionario e incompresible, esta ecuación es una de las más simples, pero más útiles en el estudio de la mecánica de fluidos debido a que ayuda a resolver muchos de los problemas de la hidráulica. La ecuación de Bernoulli es aplicable a sistemas donde las pérdidas de calor, entropía, efectos de viscosidad entre otros son despreciables en comparación a los efectos que ejerce la gravedad sobre el fluido y la presión (Cengel & Cimbala, 2012).

La ecuación de Bernoulli se puede evaluar en 2 puntos diferentes sobre una misma línea de flujo siendo así la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Donde

$P_1$  y  $P_2$  Presión en el punto 1 y 2 respectivamente

$V_1$  y  $V_2$  Velocidad en el punto 1 y 2 respectivamente

$z_1$  y  $z_2$  Altura en el punto 1 y 2 respectivamente

$g$  Gravedad

$\rho$  Densidad del fluido

#### 2.1.6.2 Presión

El parámetro presión se define como la fuerza de un fluido o un gas que se acciona de manera perpendicular sobre un área determinada, siendo la ecuación que domina este parámetro la siguiente:

$$\Delta P = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Cabe recalcar que el valor de la presión incrementa a medida que aumenta la profundidad a la que se encuentre el punto de análisis del fluido (Cengel & Cimbala, 2012, pp. 66-70).

### 2.1.6.3 Densidad

El parámetro o propiedad densidad se define como la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo o un fluido, la ecuación que rige este parámetro es:

$$\rho = \frac{\Delta M}{\Delta V}$$

La densidad de un líquido o de un sólido es generalmente despreciables, ya que su variación es demasiado pequeña debido a que estos son incompresibles, no así en los gases en donde la densidad de este depende de la presión y la temperatura a la que se encuentre el mismo. (Cengel & Cimbala, 2012, p. 37)

### 2.1.6.4 Velocidad

El parámetro velocidad se define como la relación entre la variación de distancia o espacio recorrido por una partícula en un determinado tiempo, la ecuación que rigiere este sistema es la siguiente:

$$V = \frac{\Delta e}{\Delta t}$$

En un fluido la mayor velocidad se la encuentra en la parte superior del mismo, disminuyendo su velocidad a medida que aumenta la profundidad, esto debido a la fricción que existe entre las capas del fluido. En algunos casos de grandes profundidades llega a ser la velocidad cero en los puntos más profundos. (Cengel & Cimbala, 2012)

### 2.1.6.5 Flujo Volumétrico

El parámetro de flujo volumétrico establece la medición de una cantidad de volumen que circula o fluye a través de una sección transversal en un determinado tiempo, siendo la ecuación de flujo volumétrico la siguiente (Cengel & Cimbala, 2012, p. 174):

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

## 2.2 Sistemas de oxigenación del agua

### 2.2.1 Sistema de oxigenación por aireador mecánico

#### 2.2.1.1 Principio de funcionamiento de oxigenación por aireador mecánico

Los aireadores mecánicos incrementan la rapidez que existe al intercambiar oxígeno entre el aire

atmosférico y el agua, al aumentar la superficie de contacto y así mejorar la difusión del oxígeno en el agua (Boyd, 2015).

Se utiliza la energía mecánica del motor para mezclar el agua y así el oxígeno sea distribuido de manera uniforme a lo largo y ancho de todo el estanque, también logramos que el agua se rompa en gotas y eso ayuda a que, entre mayor cantidad de oxígeno. (Tilley, et al., 2011, p. 103)

Estos sistemas proporcionan un promedio de transferencia de oxígeno de 1.9 KgO<sub>2</sub>/kW.h siendo así un sistema con gran eficiencia razón por la cual son uno de los más utilizados debido también a su costo relativamente económico. (Ronzano & Danpena, 2010).

#### 2.2.1.2 Componentes del sistema

##### i. Motor

Componente importante de una máquina o equipo, que sirve para transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica.

##### ii. Tipos de motor que puede utilizar un aireador mecánico

###### a) Motores de energía eléctrica

El principio de este tipo de motor es básicamente convertir la energía eléctrica en mecánica, en las bobinas del motor se crean campos magnéticos que generando fuerzas que logran mover el rotor, que está fijado al estator logrando un movimiento giratorio (Valladares, 2017). Al obtener este movimiento, de manera conjunta gira las paletas del mecanismo del aireador realizándose la ruptura de la membrana de la capa superficial e iniciando el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua.

###### b) Motores de combustión interna

Este tipo de motores trabajan transformando la energía química que se obtiene del combustible que se quema dentro de la cámara de combustión del motor, en energía mecánica la cual es transmitida a través de un mecanismo hacia la aplicación particular que se requiera del motor.

Existen diferentes tipos de motores de combustión interna, dependiendo el ciclo con el que trabaje y también el tipo de combustible que utilice (Diésel o gasolina), dependiendo la aplicación para la que se los quiera utilizar se seleccionara el tipo de motor, lo cual afectara el costo final de la aplicación (Córdova, 2013, p. 8).

#### 2.2.1.3 Tipos de aireadores mecánicos

##### a) Sistema de oxigenación por aireador flotante

Este sistema va a funcionar por medio de un motor, que va a ser rotar un eje en donde van a estar fijadas la serie de paletas, dichas paletas son las que van a mover, mezclar y romper el agua y de esta manera aumentar el área de contacto entre el aire y agua, lo que ayuda a una mejor oxigenación. La ventaja de este sistema es que las paletas se pueden montar y desmontar con

mucha facilidad y hay q tomar en cuenta que estas deben ser de un material ligero y que no se oxide con facilidad, por lo que se recomienda utilizar un polímero (Merino & Sal, 2007, p. 5).

#### b) Aireador Difusores-Hélices

Este tipo de aireadores trabaja con el efecto Venturi, ya que estos tienen un eje hueco, donde existe un agujero por donde entra aire, este eje está conectado a un motor eléctrico el cual lo hace rotar, al final del eje se encuentran una hélice y un difusor. El aire que se introduce por el agujero antes mencionado, debe pasar por el difusor para que se introduzca en el agua en forma de pequeñas burbujas, la hélice ayuda a que el agua se mezcle y se oxigene de manera uniforme. Entonces para que este aireador funcione correctamente debe flotar de tal manera que la parte del agujero no se sumerja para que, entre el aire sin dificultades, pero la parte del difusor y hélice si deben estar totalmente sumergido, por lo que se demostró con algunas investigaciones que la inclinación óptima ya que existe mayor intercambio de oxígeno es de 30° (Merino & Sal, 2007, p. 4).

#### c) Aireadores de Turbina

Estos aireadores son impulsados por un motor que es el encargado de hacer girar a la turbina, el rodete aspira verticalmente el agua desde el fondo del estanque, para luego por medio de los alabes expulsar el agua hasta la superficie del estanque, donde se crea una zona de turbulencia, que aumenta el área de la superficie de contacto del agua con la atmósfera y además tienen una capacidad de circulación muy alta, lo que ayuda a que el oxígeno disuelto sea homogéneo por todo el estanque (Merino & Sal, 2007, p. 7).

Existen aireadores con turbinas lentas, por lo que es necesario colocar un reductor de velocidad entre el motor y la turbina, la característica principal de estos es que son muy eficientes. Además, existen también aireadores de turbina rápida que están conectados directamente al motor y contienen una hélice que es la encargada de bombear y proyectar el agua, lo que hace que el agua se mezcle de una manera un poco más eficiente (Merino & Sal, 2007, p. 7).

### ***2.2.2 Sistema de oxigenación superficie lenta***

#### *2.2.2.1 Principio de funcionamiento de sistema de oxigenación superficie lenta*

Los sistemas de oxigenación de superficie lenta se forman básicamente de un eje en posición vertical similar a los que usan las turbinas de manejo de gran caudal, estos equipos suelen ser de rueda abierta o cerrada generalmente de flujo radial, en estos se aseguran unas palas en un plato que unido al eje que permite una mejor aireación. Por el contrario, en los oxigenadores de flujo axial las palas de aireación se conectan directamente al eje. La velocidad promedio que generan estos equipos es de 4-6 m/s. (Ronzano & Danpena, 2010).

Estos aireadores se los instala en estanques con profundidades considerables mayor a igual a 5 metros, se instala una plataforma para que soporte todo el peso del aireador la que este es robusto y considerablemente pesado, en la parte inferior del aireador se recomienda ubicar un tranquilizador anti vórtice.

También se los puede montar en plataformas que floten en estanques donde el nivel del líquido pueda variar al incrementar o bajar el caudal, a pesar de que el aporte de oxígeno disuelto en estos estanques es bastante bueno con un inyección promedio de 1,4 KgO<sub>2</sub>/kWh son poco utilizados porque su costo es bastante elevado (Ronzano & Danpena, 2010).

### **2.2.3 Sistema de oxigenación por bomba aireadora**

#### *2.2.3.1 Principio de funcionamiento de oxigenación por bomba aireadora*

Estas bombas inyectan aire desde la profundidad de los estanques, lo que provoca que se formen burbujas y el intercambio de oxígeno se dé cuando estas burbujas llegan a la superficie. Además, ayuda que el agua se mezcle y que el oxígeno que se disuelve se distribuya de forma homogénea por todo el estanque y también ayudan a que la suciedad se elimine constantemente. Esta bomba debe funcionar continuamente las 24 horas del día (Rivera, 2018, p. 4). Este sistema se recomienda a grandes profundidades mayores o igual a 3 m razón por cual su transferencia de oxígeno es alrededor de 1 KgO<sub>2</sub>/kWh. Estos equipos son de instalación bastante sencilla pero de un alto costo de adquisición y mantenimiento lo que los hace que sean usados en menor aplicaciones, principalmente se los puede usar en los sistemas de aguas residuales. (Ronzano & Danpena, 2010).

### **2.2.4 Sistema de oxigenación por gravedad**

#### *2.2.4.1 Principio de funcionamiento de oxigenación por gravedad*

Este tipo de sistemas utilizan la energía cinética para introducir el oxígeno en el agua, esto principalmente se ve en las cascadas, que rompen el chorro de agua aumentando el área de contacto del agua y del aire, debido a que mayor cantidad de área de contacto, mayor cantidad de oxígeno podemos introducir en el agua (Merino & Sal, 2007, p. 7).

El sistema de oxigenación por gravedad es de bastante fácil instalación muy económico y relativamente bastante silencioso genera burbuja finas y medias lo cual permite generar una transferencia promedio de oxígeno de 1 KgO<sub>2</sub>/kWh, las profundidades que puede trabajar este sistema es de máximo 2 metros, son muy utilizados en piscinas de producción de peces. (Ronzano & Danpena, 2010).

### **2.2.5 Sistema de oxigenación por bomba vertical**

#### *2.2.5.1 Principio de funcionamiento de oxigenación por bomba vertical*

Estos sistemas de oxigenación por bomba vertical trabajan succionando el fluido y arrojándolo



en la tensión superficial del estanque rompiendo la misma y permitiendo el intercambio de oxígeno, así también existe la oxigenación en las gotas que caen al estanque intercambiando el oxígeno con el aire del ambiente (Marcillo, 2011)

Estas bombas tienen una eficiencia relativamente baja con una transferencia de  $0,7 \text{ KgO}_2/\text{kWh}$ , es medianamente costosa pero su instalación y mantenimiento son muy económicos no se recomiendan estas sistemas para usar en producción acuícola o donde la oxigenación sea un parámetro importante, sus principales aplicaciones y usos es para decoración de jardines y piletas entre otros. (Marcillo, 2011)

## **2.2.6 Sistema de oxigenación por recirculación**

### *2.2.6.1 Principio de funcionamiento de oxigenación por recirculación*

Este tipo de sistemas de oxigenación básicamente funciona al generar burbujas dentro del tanque, específicamente en el fondo del mismo, estas burbujas son las que proporcionan el oxígeno al agua desde el momento de su formación hasta la implosión de las mismas en la capa superficial del fluido, transfiriendo de esta manera el oxígeno presente en la burbuja hacia el agua.

El tamaño de la burbuja influye de manera muy importante afectando la eficiencia del sistema en el cual la mayor cantidad de oxígeno disuelto se obtendrá al generar burbujas de menor diámetro.

- Si la burbuja es de diámetro pequeño 1mm o menor se la denomina como burbuja fina (Consideradas las más eficientes).
- Si la burbuja es de 3mm se la considera burbujas medianas
- Si la burbuja es de 6mm o mayor se las considera burbujas grandes.

Dependiendo el tipo de aplicación para las que se requiera la burbuja se debe seleccionar el tamaño de las mismas mencionados anteriormente (Sanchez, 2002, p. 1).

Además, se conoce que las burbujas finas proporcionan una mayor área de contacto, lo cual favorece al intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua del tanque. Una razón por la cual las burbujas grandes son menos eficientes es debida a la implosión que genera un flujo turbulento en el tanque (Miletta B., 2011).

Estos sistemas tienen una transferencia de oxígeno de aproximadamente  $0.9 \text{ KgO}_2/\text{kWh}$  (Ronzano & Danpena, 2010), son bastante económicos y muy fáciles de implementar.

### *2.2.6.2 Tipos de difusores*

Los difusores son equipos utilizados de manera más frecuente para oxigenar agua, estos equipos aumentan el oxígeno disuelto y el movimiento mismo del agua, permitiendo al agua incrementar su calidad microbiana y a su vez la calidad de la misma.

En el mercado existe una gran cantidad de difusores de burbujas los cuales varían sus características y parámetros dependiendo las aplicaciones específicas que se requiera, pero la

principal forma de categorizarlos es de acuerdo a su porosidad teniendo los siguientes tres tipos:

- a) Difusores porosos
- b) Difusores no porosos
- c) Blowers

a) Difusores porosos

Este tipo de difusores se los construye de diferentes materiales para mejorar sus propiedades, entre los materiales más comunes están el aluminio, propileno, uretano, silicona entre otros, los cuales aportan diferentes tipos de propiedades al difusor (Larson, 2010, p. 14).

Geométricamente se los hace en forma de casquete circular, planchas, cilindros, pero los más comunes son en forma de discos (Magnus, 2016).

En los difusores también se puede encontrar materiales cerámicos los cuales son muy buenos para mejorar los procesos de tratamiento de aguas, pero los difusores de este material necesitan un flujo de aire bastante alto para impedir que partículas de polvo e impurezas tapen los poros de estos difusores (Roman & Muresan, 2015, p. 315).

b) Difusores no porosos

Los difusores no porosos generan burbujas de diámetros grandes (burbujas grandes), estos difusores son menos eficientes en la transferencia de oxígeno debido al tamaño mismo de las burbujas (Syazwan, 2015). A pesar de no ser tan populares por su eficiencia estos difusores son utilizados en tanques de aireación, ecualización, entre otras aplicaciones (Sekizawa, et al., 1985).

c) Blowers

Debido a los diferentes requerimientos de las aplicaciones de los blowers o también conocido como sopladores, se requiere distintos parámetros de flujos y presiones para cada una de ellas, siendo necesaria realizar diferentes consideraciones técnicas para diseñar y seleccionar blowers que satisfagan las características de flujos de aire y presión requeridos para cada aplicación (Abergeldie, 2014).

### **2.3 Métodos de medición de oxígeno disuelto en agua**

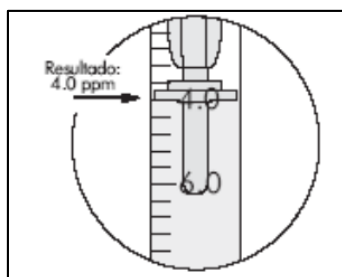
Existen varios métodos para la medición de oxígeno disuelto en agua que se los hace en laboratorios, estos son muy laboriosos y debe tener mucha precisión ya que un pequeño error en uno de los pasos a seguir produce errores más grandes y graves en los resultados finales. Por esta razón y para mayor comodidad y precisión existen medidores de oxígenos digitales que nos da la cantidad de oxígeno disuelto en agua sin mucho trámite y sin peligro de cometer errores. A continuación, se describen algunos métodos para medir el oxígeno disuelto en agua (Lallana, 2008, p. 3).

### 2.3.1 Método de Winkler

Para este método necesitamos tomar la muestra de agua en una botella, por lo que se empieza primero enjuagando el recipiente con agua de la misma muestra, después se la sumerge bien cerrada, hasta que llega un punto en que se va a quitar la tapa de la botella para que esta se llene, a continuación, apretamos la botella para que salgan las burbujas con todo el aire contenido y se vuelve a colocar la tapa mientras la botella sigue sumergida (Lallana, 2008, p. 3).

Una vez que tenemos la muestra de agua, quitamos la tapa del recipiente para introducir los reactivos; entonces colocamos aproximadamente 8 gotas de Sulfato Manganoso y 8 gotas de yoduro de potasio Alcalino Acidico, a continuación, cerramos la botella para darle vueltas y se mesclen los componentes hasta que se forme un precipitado, dejamos que repose la botella hasta que el precipitado se asiente por lo general hasta un poco más debajo de los hombros del recipiente. Después añadimos Ácido Sulfámico en polvo con una cuchara de 1 gramo, volvemos a mezclar los componentes con la botella cerrada, ahí nos podemos dar cuenta si la muestra contiene oxígeno disuelto, ya que si lo contiene la solución tendrá un color amarillo claro y anaranjado (Peña Pulla, s.f., p. 8).

En la última etapa se debe llenar el tubo de titulación con la muestra de la botella, hasta la línea que indiqué 20ml, enseguida se tapa el tubo y se inserta el émbolo, después colocamos el titulador en el tapón de la botella que la solución de titulación de Tiosulfato de Sodio este en 0.025N, giramos la botella para quitar el embolo hasta que la parte inferior coincida con el cero en la escala, colocamos la botella en su posición habitual para poder retirar el titulador, la punta del titulador la introducimos en la apertura de la tapa de tubo de titulación, debemos presionar el embolo para que se introduzca la solución de titulación hasta que este color llegue a ser amarillo claro, giramos el tubo para mezclar todo el contenido, retiramos suavemente el titulador y la tapa, nuevamente añadimos aproximadamente 8 gotas de solución indicadora y la muestra debe hacerse de color azul, volvemos a tapar el tubo e insertamos la punta del titulador en la apertura de la tapa del tubo, seguimos titulando hasta que la solución pierda el color azul y quede incolora. Entonces el resultado se lo mide en ppm y es el valor que indica la división de la escala que coincide con la escala de la punta del titulador (Peña Pulla, s.f., p. 11).



**Figura 1-2.** Resultado del método Winkler

**Fuente:** (Peña Pulla, s.f.)

### **2.3.2 Medidores de Oxígeno Digitales**

A diferencia del método anterior y de todos los métodos químicos, aquí nos evitamos muchos procedimientos que pueden causar error el momento de medir el oxígeno disuelto, aparte que no se necesita tener mucho conocimiento de química como en el caso anterior. Normalmente estos medidores constan de una sonda para introducir en el agua y así el valor del oxígeno disuelto nos sale en la pantalla del instrumento, existen algunos medidores de oxígeno disuelto con diferentes escalas de precisión e incluso algunos también miden el ph y la temperatura del agua, pero para eso hay que analizar las necesidades y el presupuesto disponible.

## **2.4 Sistemas de control**

### **2.4.1 Temporizador**

El temporizador es un elemento que conecta o desconecta la salida del mismo después de un determinado tiempo previa programado, este elemento puede ser controlado con un micro controlador (fácilmente con un arduino) (García Vega, 2014).

Existen dos tipos principales de temporizadores los de conexión y desconexión:

**Conexión:** los contactos se liberan al recibir una tensión por un determinado tiempo

**Desconexión:** los contactos se liberan al dejar de recibir una tensión por un determinado tiempo

#### **Tipos de temporizadores**

- Temporizador magnético
- Temporizador térmico
- Temporizador neumático
- Temporizador electrónico

##### *2.4.1.1 Temporizador magnético*

Trabajan principalmente con un núcleo magnético y un perfil circular (Tubo) de cobre con un espesor de varios milímetros rodeando todo el perímetro del núcleo, el mismo es fijado en el frente o atrás de la armadura formando una camisa (García Vega, 2014).

##### *2.4.1.2 Temporizador térmico*

Consta de un transformador conectado directamente a la red (el primario) y el secundario se conecta a una lámina bimetálica (elemento principal del temporizador) en serie, debe estar en

cortocircuito para que se genere el calentamiento de la lámina antes mencionada (García Vega, 2014).

#### 2.4.1.3 *Temporizador neumático*

Básicamente trabaja con un fuelle que realiza un movimiento de compresión al accionar un electroimán de un rele que se encuentra conectado al mismo, cuando el fuelle regresa a la posición original el aire ingresa nuevamente por una pequeña sección transversal, que dependiendo el área de la misma determina la temporización (García Vega, 2014).

#### 2.4.1.4 *Temporizador electrónico*

Al cargarse o descargarse un condensador electrolítico conectado en serie con una resistencia, funcionando de esta manera como principio básico de este tipo de temporizador (García Vega, 2014).

### 2.4.2 *Contactor*

Es un elemento que básicamente su función es abrir o cerrar circuitos principalmente de motores eléctricos, el principio con el que trabaja este tipo de elementos es con un electroimán (bobina), que al ingresar la energía eléctrica abre los dos contactos cerrados y cierra los dos contactos abiertos, poniendo de esta manera al contactor en estado de enclavado.

Estos elementos pueden ser monofásicos o trifásicos, para el caso de los trifásicos se los puede conectar variando de dos maneras delta en donde las bobinas quedan alimentadas con los voltajes entre fases generalmente 230V o estrella en donde el voltaje en las bobinas queda en un valor de voltaje elevado a un tercio, generalmente 127V.

Para elegir un contactor de manera eficiente hay que tener en cuenta la potencia y voltaje nominal de la carga, tipo de arranque del motor, condiciones de trabajo del motor, entre otros aspectos. (Tarazana, 2018).



**Figura 2-2.** Contactor

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 2.4.3 Relé

Un relé es un dispositivo electrónico encargado de cerrar y abrir el paso de la corriente eléctrica entonces este funciona como un interruptor, pero es necesario aclarar que este dispositivo no realiza el trabajo de manera directa, sino que el encargado de conectar y desconectar el sistema es un equipo de maniobra y corte. La función principal del relé es que con poco voltaje e intensidad controla circuitos de potencia más alta (Zapata & Mejía, 2003, p. 2).



**Figura 3-2.** Relé

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 2.5 Sistemas de Transmisión

Como su nombre lo indica los sistemas de transmisión son los encargados de transmitir energía mecánica desde una máquina hacia los diferentes elementos de trabajo de un sistema, transformando momentos, fuerzas y velocidades (Flores Garcia, s.f., p. 19).



**Figura 4-2.** Clasificación de las Transmisiones mecánicas

Fuente: (Vanegas, 2009)

## 2.5.1 *Correas*

Este sistema es uno de los más utilizados ya que son capaces de transmitir el movimiento a distancias relativamente grandes, gracias a la flexibilidad de las correas y con ayuda de poleas pueden conectar varios elementos, y así por medio de una polea conductora se genera movimiento en varios componentes de máquina, donde se puede modificar la velocidad y el sentido del movimiento (Nieto Quijorna, 2007, p. 53).

### 2.5.1.1 *Ventajas de las correas*

- Genera poco ruido.
- Absorbe choque y vibraciones que generalmente se producen al poner en marcha el sistema.
- Se puede conectar árboles paralelos o cruzados.
- El sistema es económico y fiable ya que muy pocas veces falla.
- No es necesario lubricar el sistema.
- Transmite movimiento a distancias grandes.

### 2.5.1.2 *Desventajas de las correas*

- No soporta cargas muy elevadas.
- Necesita tensarse bien, sino va a provocar deslizamiento.
- Se generan mayores cargas axiales.

### 2.5.1.3 *Tipos de correas*

Las correas tienen algunas disposiciones de montaje y diferentes características que nos permiten identificarlas, por lo que vamos a hacer una clasificación de acuerdo a este tipo de características.

#### a) *Correas planas*

Este tipo de correas son utilizadas principalmente cuando se tienen poleas pequeñas, ya que estas correas son muy flexibles y se acoplan de manera fácil al contorno de las poleas. Debido a su flexibilidad también las utilizan cuando se quiere transmitir el movimiento a ejes cruzados y para cambiar el sentido de giro del eje. Las correas planas no producen ningún tipo de ruido, tienen alta resistencia al choque y son muy económicas, pero necesitan de tensiones muy altas (Nieto Quijorna, 2007, p. 53).



**Figura 5-2.** Correas Planas

Fuente: (Flórez García & Vanegas Useche, 2010)

b) Correas en V

Debido al diseño que tienen este tipo de correas nos ayuda a evitar ciertos problemas como la inestabilidad y las tensiones muy altas. A estas correas se las llama de esa forma debido a que tiene algunas secciones en forma de V, que se introducen en las ranuras de las poleas y de esta manera se transmite la potencia y el movimiento de una forma más segura (Nieto Quijorna, 2007, p. 54).

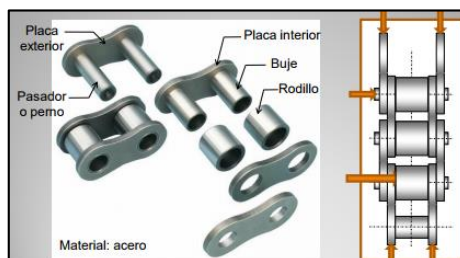


**Figura 6-2.** Correas en V

Fuente: (Flórez García & Vanegas Useche, 2010)

**2.5.2 Cadenas**

Este sistema de transmisión es utilizado cuando se requiere una eficiencia más alta, ya que en este sistema no existe ni deslizamiento ni arrastre por lo que son más confiables, además este tiene la facilidad de mover varios árboles a partir de una sola fuente de potencia. Y también son utilizados como sistemas de elevación y de transporte (Budynas & Nisbett, 2008, p. 887).



**Figura 7-2.** Cadenas y sus partes

Fuente: (Vanegas, 2009)



#### 2.5.2.1 *Ventajas de las cadenas*

- Eficiencias muy altas hasta el 98%
- Transmite el movimiento a grandes distancias.
- Se puede transmitir el movimiento a varios ejes con la misma cadena.
- Soporta cargas un poco más elevadas.
- Se requiere menor tensión inicial, por lo que existe menor carga en los ejes.

#### 2.5.2.2 *Desventajas de las cadenas*

- Solo puede transmitir el movimiento a ejes paralelos.
- Provoca ruidos
- Costo un poco elevado de sus elementos.
- Requiere lubricación y procesos de mantenimiento cuidadosos.

#### 2.5.2.3 *Tipos de cadenas*

Las cadenas generalmente se dividen en la aplicación que son utilizadas, así tenemos:

- Cadenas de carga
- Cadenas de tracción
- Cadenas de transmisión de potencia

### 2.5.3 *Engranajes*

El sistema de engranajes es utilizado cuando se requiere transmitir el movimiento de un eje a otro pero que se encuentren a distancias cortas, consta de dos ruedas dentadas que están acopladas entre ellas. Cuando la rueda más pequeña (piñón) se encarga de mover a la rueda más grande (rueda) el sistema es un reductor de velocidad, pero si sucede lo contrario y la rueda mueve el piñón el sistema se convierte en un multiplicador de velocidad (Nieto Quijorna, 2007, p. 20).

#### 2.5.3.1 *Ventajas de los engranajes*

- La potencia que se puede transmitir por este sistema puede ser muy alta.
- La relación de transmisión de los engranajes es exacta por lo que se puede utilizar en maquinaria de precisión.
- El espacio que ocupa el sistema es pequeño.
- En comparación a otros sistemas son muy resistentes.
- Es económico, fiable y fácil de diseñar.

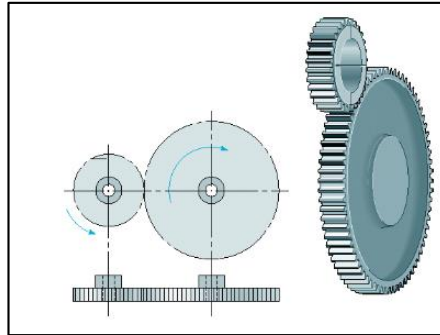
#### 2.5.3.2 *Desventajas de los engranajes*

- No se puede transmitir la potencia a distancias grandes.
- Si trabaja a velocidades altas causa mucho ruido.

### 2.5.3.3 Tipos de engranajes

#### a) Engranajes rectos

Este tipo de engranajes es el más sencillos de todos, los dientes son paralelos al eje de rotación y son utilizados para transferir el movimiento de un eje paralelo a otro (Budynas & Nisbett, 2008, p. 654). Estos engranes transmiten gran cantidad de potencia con una eficiencia muy alta (Nieto Quijorna, 2007, p. 20).



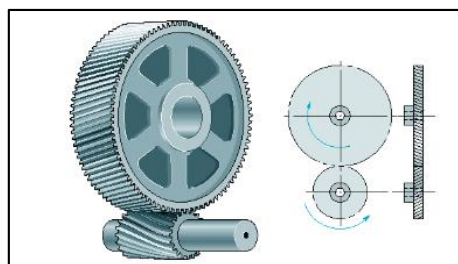
**Figura 8-2.** Engranajes Rectos

Fuente: (Nieto Quijorna, 2007)

#### b) Engranajes helicoidales

Los dientes de este tipo de engranajes son inclinados con respecto del eje de rotación, y al igual que los engranajes rectos transmiten movimiento de un eje paralelo a otro, pero en algunas oportunidades también son utilizados para transmitir movimiento a ejes que no son paralelos entre sí (Budynas & Nisbett, 2008, p. 654).

Los engranajes helicoidales trabajan de manera más suave que los engranajes rectos, debido a que sus dientes entran de manera progresiva a la zona donde se acoplan, y por lo tanto cuando trabajan a velocidades altas no provocan tanto ruido como los rectos, además un engranaje helicoidal que tenga el mismo tamaño que un engranaje recto puede transmitir mayor cantidad de carga. (Nieto) Pero como desventajas frente a los engranajes rectos tenemos que los engranajes helicoidales producen un empuje lateral en el eje y además su eficiencia es un poco más baja (Nieto Quijorna, 2007, p. 20).

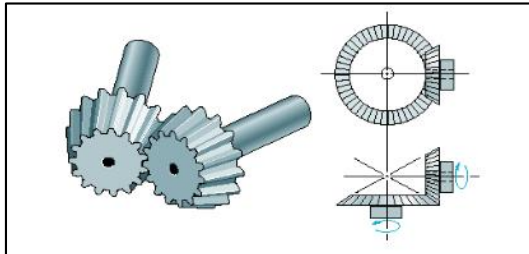


**Figura 9-2.** Engranajes Helicoidales

Fuente: (Nieto Quijorna, 2007)

### c) Engranajes cónicos

Los dientes de este tipo de engranajes como su nombre mismo lo indica están formados sobre una superficie cónica y son utilizados para transmitir el movimiento entre ejes que se intersecan. Este tipo de engranajes al igual que los rectos puede transmitir gran cantidad de potencia con una eficiencia muy alta (Budynas & Nisbett, 2008, p. 654).

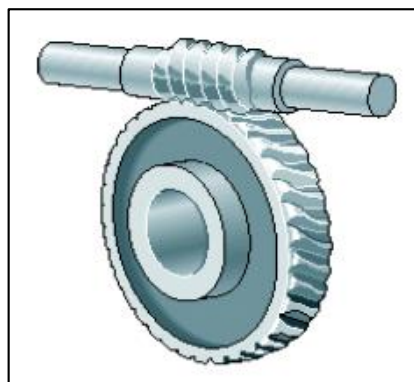


**Figura 10-2.** Engranajes Cónicos

Fuente: (Nieto Quijorna, 2007)

### d) Tornillo Sinfín

Este sistema es el más complejo de todos y está formado por un tornillo que tiene dientes helicoidales y por una rueda dentada, en este caso el tornillo siempre es el que va a conducir a la rueda, por lo que el movimiento de la rueda depende del sentido de giro del tornillo sinfín y si sus dientes fueron cortados a izquierda o derecha (Budynas & Nisbett, 2008, p. 655). En este mecanismo los ejes siempre van a estar perpendiculares uno del otro y es utilizado principalmente cuando se requieren reducir altas velocidades, pero a cargas bajas, ya que este sistema no soporta gran cantidad de carga (Nieto Quijorna, 2007, p. 21).



**Figura 11-2.** Tornillo Sinfín

Fuente: (Nieto Quijorna, 2007)

## 2.6 Cojinetes y Rodamientos

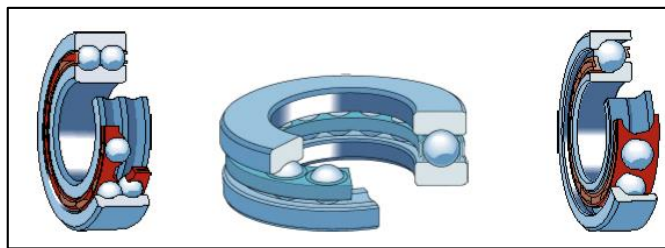
Los cojinetes y rodamientos son elementos mecánicos que tienen como función principal apoyar y guiar a elementos mecánicos que están en constante movimiento (giratorio, oscilatorio o de

deslizamiento). Estos ayudan a que mejore la precisión y eficiencia del sistema también a que el mantenimiento sea un poco más sencillo (Nieto Quijorna, 2007, p. 35).

## 2.6.1 Tipos de rodamientos

### 2.6.1.1 Rodamiento de bolas

Se los denomina de esta manera ya que estos rodamientos están empleados por bolas de acero, esta clase de rodamientos son los más comunes y más utilizados debido a que soportan cargas radiales y axiales, por lo que su funcionamiento es muy suave incluso a velocidades altas y ayuda a mejor la eficiencia en los equipos de movimiento rotativo. Para mejorar la capacidad de estos rodamientos se puede aumentar la cantidad o el tamaño de las bolas y a su vez la pista de los rodamientos también debería ser más grande o aumentar el número de hileras de los rodamientos (Nieto Quijorna, 2007, p. 35).

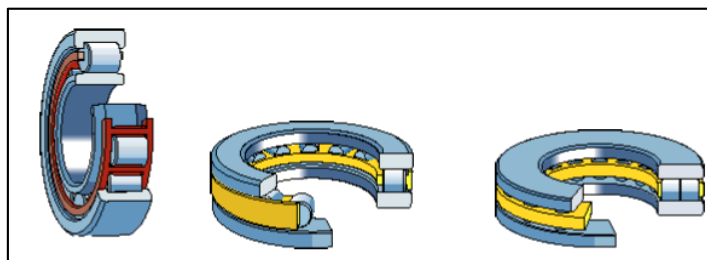


**Figura 12-2.** Rodamiento de Bolas

Fuente: (Nieto Quijorna, 2007)

### 2.6.1.2 Rodamiento de Rodillos Cilíndricos

Estos rodamientos son utilizados cuando se necesita que soporte una carga radial muy alta, ya que debido al cambio de las bolas por cilindros y por ende los cambios correspondientes en el diseño hace que estos rodamientos sean más resistentes a dichas cargas radiales, este tipo de rodamientos normalmente constan de una sola hilera (Nieto Quijorna, 2007, p. 36).



**Figura 13-2.** Rodamientos de Rodillos Cilíndricos

Fuente: (Nieto Quijorna, 2007)

## 2.7 Métodos estadísticos de varianza

### 2.7.1 Prueba de Tukey

Esta prueba tiene como objetivo principal realizar una equiparación entre las medias de distintos tratamientos para realizar un análisis de varianza, dando paso de esta manera a clasificar si los resultados son significativos o no significativos, esta prueba no es la única para realizar comparaciones de muestras de medias, pero si es la más conocida y utilizada.

Para realizar esta prueba es necesario que el experimento sea balanceado (la muestra estadística sea del mismo tamaño en cada uno de los tratamientos) si el experimento no es balanceado (la muestra estadística no es del mismo tamaño en cada uno de los tratamientos) se debe aplicar otros métodos como por ejemplo el Tukey-Kramer. (Perez, 2019)

Esta prueba es de gran importancia cuando el interés principal es relacionar los promedios de las medias obtenidas de cada tratamiento que se analice, para aplicar esta prueba se calcula un parámetro W el cual se indica en la siguiente ecuación (Perez, 2019):

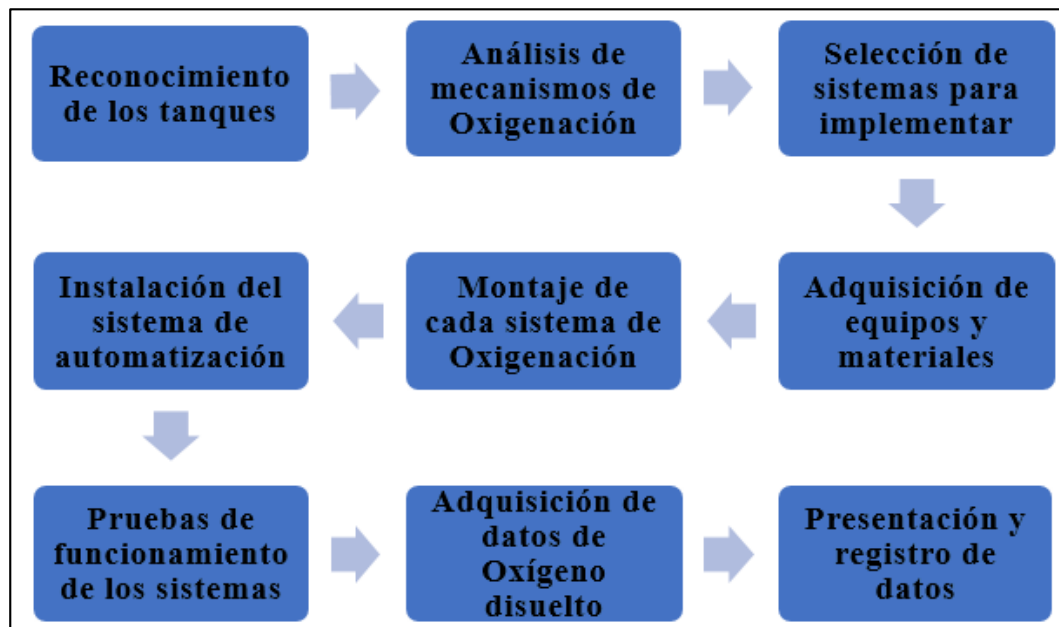
$$W = q * \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

Donde:

<b>q:</b>	Factor de las tablas de Tukey
<b>MSE:</b>	Cuadrado medio del error obtenido mediante análisis de ANOVA
<b>r:</b>	Número de repeticiones en cada tratamiento

### 3. METODOLOGIA

En este capítulo se detalla la implementación de cada sistema, cada una de sus partes y la función que cumple dentro del respectivo sistema de oxigenación, también se explica cómo funciona el medidor de oxígeno y los componentes por los que está formado.



**Figura 1-3.** Diagrama de proceso de implementación de los sistemas de oxigenación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

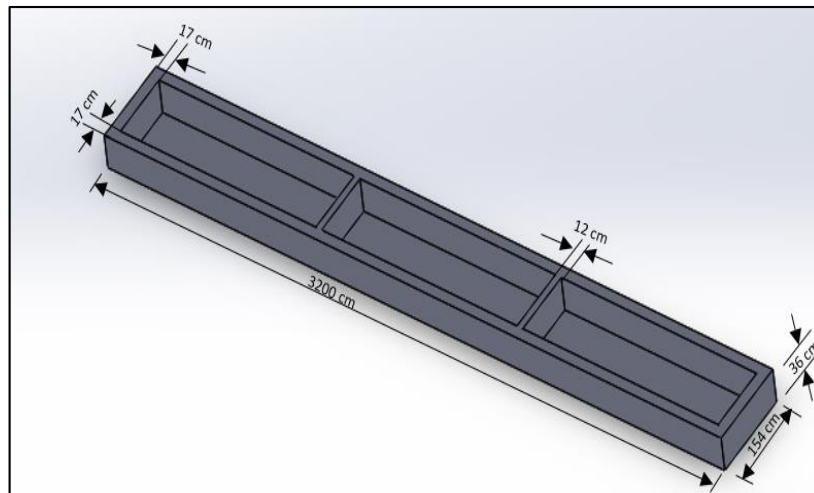
#### 3.1.Reconocimiento de los tanques reservorio

El reconocimiento de los tanques empieza obteniendo las dimensiones de los mismos, con un flexómetro se procede a medir el largo, ancho, profundidad y espesores que se detalla en la figura 2-3, también se observó que los depósitos son hechos de concreto. Los tanques se encuentran en una temperatura caliente debido a que se encuentran dentro del invernadero de horticultura.



**Figura 2-3.** Tanques Reservorio

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Figura 3-3.** Dimensiones de los Tanques

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.2. Diseño experimental

Para realizar la selección y posterior implementación de los sistemas de oxigenación más óptimos para las condiciones de los tanques en el invernadero de horticultura se analiza las características de los diferentes tipos de sistemas para evaluar las más relevantes, los sistemas de oxigenación más utilizados son los siguientes

#### 3.2.1 *Sistemas de oxigenación*

Los detalles de funcionamiento de cada uno de los sistemas se dieron en el capítulo 2, marco teórico, en este apartado vamos a detallar las características de mayor impacto de cada sistema según se puede apreciar en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Características de los sistemas de oxigenación.

<b>Tipos de Sistema de Oxigenación</b>	<b>Características</b>
<b>Oxigenación por gravedad</b>	Económico
	Fácil de instalar
	Relativamente silencioso
	Genera burbujas finas
	Promedio de transferencia de Oxígeno 1KgO <sub>2</sub> /kw.h
	Profundidad máxima de Oxigenación 2m
<b>Oxigenación mecánico</b>	Económico
	Promedio de transferencia de Oxígeno 1.9 KgO <sub>2</sub> /kw.h
	Fácil de instalar
	Fácil mantenimiento
<b>Oxigenación recirculación</b>	Económico
	Promedio de transferencia de Oxígeno 0.9 KgO <sub>2</sub> /kw.h
	Genera burbuja fina
	Fácil de instalar
<b>Oxigenación por bomba inyección de aire</b>	Costosa
	Recomendable a grandes profundidades
	Promedio de transferencia de Oxígeno 1 KgO <sub>2</sub> /kw.h
	Fácil de instalar
	Alto costo de mantenimiento
<b>Oxigenación bomba vertical</b>	Medianamente Costosa
	Promedio de transferencia de Oxígeno 0.7 KgO <sub>2</sub> /kw.h
	Fácil de instalar
	No recomendable para estanques de producción
<b>Oxigenación por superficie lenta</b>	Costosa
	Promedio de transferencia de Oxígeno 1.4 KgO <sub>2</sub> /kw.h
	Difícil instalación
	Recomendable a grandes profundidades

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.2.2 Análisis de las características entre los sistemas de oxigenación

Las características mostradas de cada sistema indican las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de oxigenación, de estas características se ha seleccionado los tres factores más importantes según el criterio de los autores de este documento, estos parámetros son:

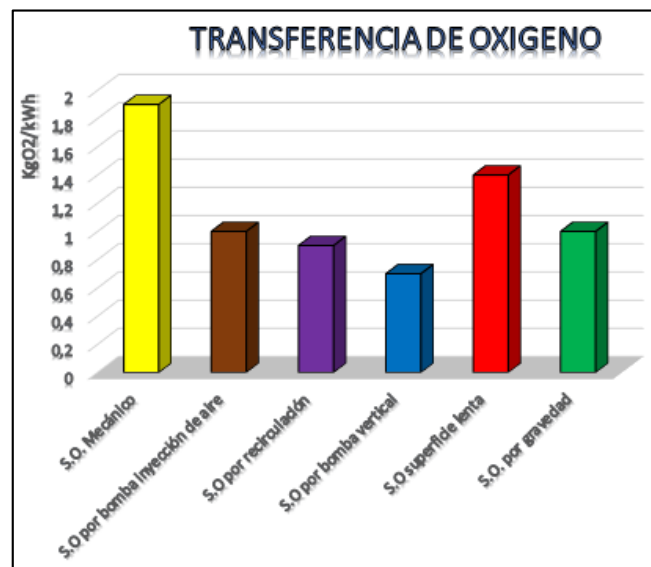


- 1) Transferencia de Oxígeno disuelto
- 2) Costo de implementación del sistema
- 3) Facilidad de implementación

A continuación, se muestra la comparación entre cada uno de los sistemas en los tres parámetros de mayor relevancia para la selección de los sistemas más óptimos para el invernadero de horticultura.

### 3.2.2.1 Comparación de la transferencia de oxígeno entre los sistemas de oxigenación.

La transferencia de Oxígeno disuelto se considera como un parámetro de gran importancia ya que es indispensable para cuantificar la cantidad de oxígeno disuelto que puede transferir el sistema al volumen de agua que este mueve.



**Gráfico 1-3.** Diagrama de comparación de la transferencia de oxígeno entre los sistemas de oxigenación.

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Según como se puede apreciar en el gráfico 1-3 al comparar los valores de la cantidad de oxígeno que puede transferir cada uno de los sistemas de oxigenación, se concluye que los tres sistemas más óptimos para transferir oxígeno del aire al agua son los siguientes:

- 1) Sistema de oxigenación mecánico
- 2) Sistema de oxigenación de superficie lenta
- 3) Sistema de oxigenación por gravedad

### 3.2.2.2 Comparación del costo de implementación entre los sistemas de oxigenación.

Costo de implementación del sistema es relevante en todo tipo de proyectos y en estos sistemas también lo es, se busca un sistema más económico con mayores eficiencias en la transferencia de oxígeno y con un tiempo de vida más prolongado en un constante funcionamiento.

Para realizar la comparación según el costo de implementación se toma la siguiente calificación como se indica en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Cuantificación de la calificación para el costo de implementación.

Costoso	1
Medianamente costoso	2
Económico	3

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Gráfico 2-3.** Diagrama de comparación del costo de implementación entre los sistemas de oxigenación.

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Al apreciar en la gráfico 2-3 y comparar los valores del costo económico de implementación, se concluye que los tres sistemas más económicos de implementar son los siguientes:

- 1) Sistema de oxigenación mecánico
- 2) Sistema de oxigenación por recirculación
- 3) Sistema de oxigenación por gravedad

### 3.2.2.3 Comparación de la facilidad de implementación entre los sistemas de oxigenación.

El parámetro facilidad de implementación analiza y considera la dificultad de implementar el sistema en las condiciones que se tiene los tanques y también la facilidad de encontrar los elementos y equipos necesarios para la construcción e implementación del sistema.

Para realizar la comparación según la facilidad de implementación se ha tomado la siguiente calificación como se indica en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Cuantificación de la calificación para la facilidad de implementación

Difícil implementación	1
Fácil implementación	2

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Gráfico 3-3.** Diagrama de comparación de la facilidad de implementación entre los sistemas de oxigenación.

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Observando en la gráfico 3-3 y comparando su facilidad de implementación, se concluye que los sistemas más económicos de implementar son los siguientes:

- 1) Sistema de oxigenación mecánico
- 2) Sistema de oxigenación por bomba de inyección de aire
- 3) Sistema de oxigenación por recirculación
- 4) Sistema de oxigenación por bomba vertical
- 5) Sistema de oxigenación por gravedad

### 3.2.3 Selección de los sistemas de oxigenación para el invernadero de horticultura

Una vez analizados los sistemas de oxigenación por sus principales características, ventajas, desventajas, y comparado cada uno de estos según los tres parámetros mencionados y analizados en el apartado 3.2.2, los sistemas de oxigenación a implementar más adecuados y óptimos para el invernadero de horticultura son los siguientes

- Sistema de oxigenación mecánico
- Sistema de oxigenación por recirculación
- Sistema de oxigenación por gravedad

### 3.2.4 Equipo para la medición de oxígeno disuelto

Es un equipo eléctrico de marca Milwaukee que consta de las siguientes partes:

- Monitor
- Sonda
- Protector de la sonda
- 5 Membranas
- Empaques
- Solución Electrolite
- Destornillador de calibración (propio del equipo)



**Figura 4-3.** Medidor de Oxígeno

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 4-3:** Características del medidor de Oxígeno

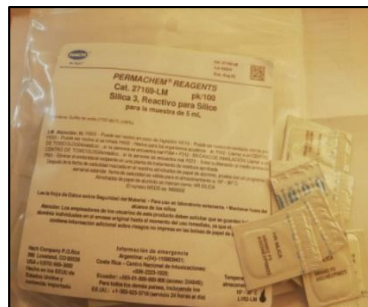
Modelo	Mw600 Milwaukee
Rango	0 a 19 mg/l
Exactitud	+/- 1.5%
Dimensiones	145 x 80 x40 mm
Batería	1 x 9V 70 hrs
Peso	220 g

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.2.4.1. Calibración del equipo de medición

Para calibrar el equipo se procede a seguir los pasos que están en el manual; Se conecta la sonda al monitor, se quita la protección roja y negra, se coloca la membrana en la sonda, pero antes de eso se introduce el empaque en la membrana y la se llena de la solución electrolite. Se procede a encender el monitor y a dejar la sonda colgada unos minutos, a continuación, se toma el destornillador y aplastando la tecla CAL se ajusta la calibración a 100 (perilla 100%), y así el equipo quedaría listo para usar, solamente se introduce la sonda en el agua y se lee el valor en el monitor.

Para asegurarse de que el equipo este bien calibrado y de valores reales de oxígeno disuelto, se disuelve silica 3 en el agua, esta provoca que se desoxigene totalmente, se realiza la medición comprobando el valor de cero. También como se observa en la figura 4-3 se utiliza un método químico en laboratorio de calidad de agua para comparar los valores de una muestra, la comparación da valores muy similares ente el medidor y el método químico. Entonces de esta forma se confirma que nuestro medidor si da datos reales de oxígeno disuelto.



**Figura 5-3.** Silica 3

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Figura 6-3.** Medición de oxígeno disuelto por método químico

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3. Implementación del sistema de oxigenación por recirculación

#### 3.3.1 Principio y síntesis del funcionamiento del sistema por recirculación

El sistema por recirculación trabaja de tal forma que al circular el agua por el sistema de tuberías instalados en el interior del tanque reservorio la misma sale por las perforaciones realizadas con los diámetros especificados, con una presión y velocidad suficiente para romper la capa superficial del agua en el tanque y de esta manera permitir el intercambio de oxígeno entre el agua y el aire del medio ambiente.

#### 3.3.2 Equipos y materiales

##### 3.3.2.1 Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga es el corazón del sistema por recirculación, cumpliendo la función de mover el fluido a través de la tubería y haciendo que el mismo salga con una cierta velocidad y presión en cada uno de los puntos de descarga.



**Figura 7-3.** Bomba Centrífuga del sistema por recirculación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 5-3:** Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga

Potencia	1,5 HP
Caudal máximo	50 l/min
Altura máxima	55 m

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

##### 3.3.2.2 Tubería de succión

La tubería de succión permite el ingreso del agua a la bomba centrífuga.



**Figura 8-3.** Tubería de succión del sistema por recirculación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 6-3:** Especificaciones técnicas de la tubería de succión

Material	PVC
Diámetro	2 in
Longitud	1,5 m

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3.2.3 Tubería de descarga

La tubería de descarga envía el agua hacia la manguera que se encuentra en el tanque reservorio,



**Figura 9-3.** Tubería de descarga del sistema por recirculación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 7-3:** Especificaciones técnicas de la tubería de descarga



Material	PVC
Diámetro	0,5 in
Longitud	1,5 m




Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3.2.4 Accesorios

Los accesorios que utiliza el sistema son de diámetros requeridos por la tubería de succión y descarga respectivamente y de material PVC, los mismos se detallan en la tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Especificaciones técnicas de accesorios en las tuberías del sistema por recirculación

Cantidad	Denominación		Función
2	Unión universal		Las uniones universales se utilizaron para una mayor facilidad de desmontaje de la bomba cuando esta requiera de mantenimiento.
1	Unión tipo "T"		La unión tipo T es utilizada para ubicar un manómetro en la tubería de descarga.

3	Codo recto a 90°, 2 pulgadas		Los codos se utilizaron para cambiar la dirección del flujo del agua y llevar el mismo hasta la bomba.
3	Codo recto a 90° 1/2 pulgada		Los codos se utilizaron para cambiar la dirección del flujo del agua y llevar el mismo hasta la manguera de descarga.
1	Bushing de 1plg a 1/2 plg		Los bushing fueron utilizados para acoplar los diámetros de entrada y salida a la tubería y de succión y descarga.

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3.2.5 Manguera de descarga

La manguera de descarga lleva el fluido a lo largo de toda la tubería liberando el caudal en cada uno de las perforaciones realizadas con una separación de 2 metros entre sí, estas perforaciones permiten la salida del agua a una velocidad determinada, haciendo que de esta forma se pueda romper la capa superficial y se produzca la oxigenación.



**Figura 10-3.** Manguera de descarga del sistema por recirculación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 9-3:** Especificaciones técnicas de la manguera de descarga

Material	Polietileno (PE)
Diámetro nominal	16 mm
Diámetro interno	13,6 mm
Presión de rotura	1,2 MPa
Longitud total	32 m
Diámetro de perforaciones	1/16 plg

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



### 3.3.2.6 Manómetro

El sistema utiliza dos manómetros que marcan las presiones que se generan al ingresar al sistema, y al salir al sistema.



**Figura 11-3.** Manómetro del sistema por recirculación

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

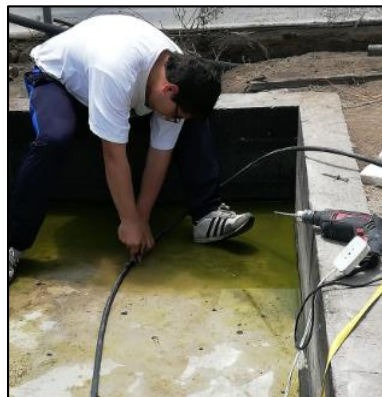
**Tabla 10-3:** Especificaciones técnicas del manómetro.

Rango de presión	0 - 150 psi
Rango de presión	0 – 10 bar

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3.3 Instalación del sistema

Para la instalación del sistema por recirculación se utiliza los equipos y materiales que se detallaron en el apartado 3.3.2, como se observa en las figuras 11-3 y 12-3 la manguera de descarga se sujeta al piso del tanque reservorio por medio de abrazaderas para posteriormente conectar a la bomba centrífuga y a su vez está conectada a la red de suministro eléctrico.



**Figura 12-3.** Instalación del sistema por recirculación

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Figura 13-3.** Instalación del sistema por recirculación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3.4 *Calculo de parámetros*

#### Nomenclatura

$A_T$ : Área del tubo

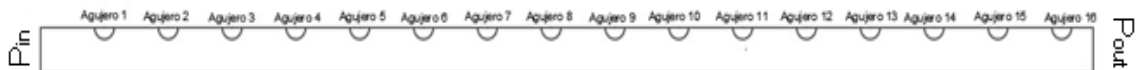
$A_a$ : Área del agujero

$Q_0$ : Caudal inicial (antes del primer agujero)

$v_1$ : Velocidad antes del primer agujero

$Q_1$ : Caudal en el primer agujero

$Q_{T1}$ : Caudal total en primer agujero



**Figura 14-3.** Instalación del sistema por recirculación

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 3.3.4.1 *Determinación de la variación de flujo*

##### Datos

Diámetro interno = 13,6 mm

Diámetro perforación = 1,5875 mm

Caudal IN = 41 L/min

$$A = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

$$A_T = \frac{\pi \times (13,6 \text{ mm})^2}{4} = 145,267 \text{ mm}^2$$

$$A_a = \frac{\pi \times (1,5875 \text{ mm})^2}{4} = 1,979 \text{ mm}^2$$

**Calculo del caudal parcial en el agujero 1**

$$Q_0 = 683333,33 \frac{mm^3}{s} = 41 \frac{l}{min}$$

$$Q_0 = A_T \times v_1$$

$$v_1 = \frac{Q_0}{A_T}$$

$$v_1 = \frac{683333,33 \frac{mm^3}{s}}{145,267 mm^2} = 4703,98 \frac{mm}{s}$$

$$Q_1 = A_a \times v_1$$

$$Q_1 = 1,979 mm^2 \times 4703,98 \frac{mm}{s} = 9309,18 \frac{mm^3}{s} = 0,559 l/min$$

Se realiza el mismo procedimiento para el cálculo del caudal parcial en cada uno de los agujeros, los valores obtenidos se indican en la tabla 11-3.

**Calculo del caudal total en el agujero 1**

$$Q_0 = Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{T3} + \dots + Q_{T16} \tag{1}$$

Con los caudales parciales obtenidos en cada agujero se obtiene la relación entre caudales que se indican en la tabla 11-3 para expresar la ecuación 1 en función del caudal total 1.

$$\frac{Q_1}{Q_n} = \frac{Q_{T1}}{Q_{Tn}} \tag{2}$$

$$Q_0 = Q_{T1} + \frac{1}{1,014} Q_{T1} + \frac{1}{1,028} Q_{T1} + \frac{1}{1,042} Q_{T1} + \frac{1}{1,056} Q_{T1} + \frac{1}{1,070} Q_{T1} + \frac{1}{1,085} Q_{T1} + \frac{1}{1,100} Q_{T1} + \frac{1}{1,116} Q_{T1} + \frac{1}{1,131} Q_{T1} + \frac{1}{1,147} Q_{T1} + \frac{1}{1,163} Q_{T1} + \frac{1}{1,179} Q_{T1} + \frac{1}{1,195} Q_{T1} + \frac{1}{1,212} Q_{T1} + \frac{1}{1,228} Q_{T1}$$

$$Q_0 = 14,467 Q_{T1}$$

$$Q_{T1} = 2,834 \frac{l}{min}$$

El valor obtenido del caudal total 1 se remplacea en la ecuación (2). Para obtener las relaciones de caudal, determinando el valor final de caudal total en cada uno de los puntos como se detalla en la tabla 11-3.

**Tabla 11-3:** Variación de caudales

	<b>Caudal Parcial l/min</b>	<b>Relación de caudal</b>	<b>Caudal total l/min</b>
<b>Agujero 1</b>	0,559	1	2,834
<b>Agujero 2</b>	0,551	1,014	2,795
<b>Agujero 3</b>	0,543	1,028	2,757
<b>Agujero 4</b>	0,536	1,042	2,719
<b>Agujero 5</b>	0,529	1,056	2,683
<b>Agujero 6</b>	0,522	1,070	2,648
<b>Agujero 7</b>	0,514	1,085	2,612
<b>Agujero 8</b>	0,508	1,100	2,576
<b>Agujero 9</b>	0,500	1,116	2,539
<b>Agujero 10</b>	0,499	1,131	2,506
<b>Agujero 11</b>	0,493	1,147	2,471
<b>Agujero 12</b>	0,486	1,163	2,437
<b>Agujero 13</b>	0,480	1,179	2,404
<b>Agujero 14</b>	0,473	1,195	2,372
<b>Agujero 15</b>	0,466	1,212	2,338
<b>Agujero 16</b>	0,460	1,228	2,308

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.3.4.2 Determinación de la variación de Presión

#### Nomenclatura

 $P_{in}$ : Presión de entrada $P_1$ : Presión en el agujero 1 $P_{out}$ : Presión de salida $V_{in}$ : Velocidad de entrada $V_1$ : Velocidad en el agujero 1 $\rho$ : Densidad del agua $H_{in-1}$ : Perdidas de la entrada en el agujero 1

z: Altura

Re: Reynolds

 $f_{te}$  : Factor de fricción $h_f$  : Perdidas por longitud $h_s$ : Perdidas por accesorios

#### Datos

Presión IN = 81 psi

Presión OUT = 69 psi

Caudal IN = 41 L/min

Densidad = 1000 Kg/m<sup>3</sup>

Rugosidad = 0,002 mm

Viscosidad dinámica =  $0,001065 \frac{Ns}{m^2}$

Longitud entrada = 2,46 m

K accesorios = 0,81

Velocidad entrada = 4,704 m/s

### Calculo de Reynolds, factor de fricción, perdidas por longitud y accesorios

$$Re = \frac{(4,703 \frac{m}{s})(0,0136m)(1000 \frac{Kg}{m^3})}{1,065 \times 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}} = 60069,53$$

$$f_{te} = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{0,002mm}{3,7 \times 13,6mm} \right) + \frac{5,74}{60069,53^{0,9}} \right]^2} = 0,020$$

$$h_f = 0,020 \left( \frac{2,46m}{0,0136m} \right) \left( \frac{(4,703 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) = 4,091m$$

$$h_s = 2(0,81) \left[ \frac{4,703^2}{2 \times 9,81} \right] = 1,827m$$

### Calculo de presión en el punto 1.

Reemplazando los valores en la ecuación (3) de Bernoulli se calcula el valor de la presión en el agujero 1

$$\frac{P_{in}}{\rho} + \frac{V_{in}^2}{2} + gZ_{in} - H_{in-1} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 \quad (3)$$

$$P_1 = 56,929mca$$

Se realiza el mismo procedimiento para el cálculo de presiones en cada uno de los agujeros, tomando en cuenta que para estos no existen perdidas por accesorios, solamente por longitud, los valores obtenidos se indican en la tabla 12-3.

**Tabla 12-3:** Variación de presión

	MCA	PSI
<b>Pin</b>	56,929	80,839
<b>Agujero 1</b>	54,370	77,205
<b>Agujero 2</b>	54,076	76,788
<b>Agujero 3</b>	53,782	76,371
<b>Agujero 4</b>	53,484	75,947
<b>Agujero 5</b>	53,185	75,523
<b>Agujero 6</b>	52,886	75,098
<b>Agujero 7</b>	52,590	74,678
<b>Agujero 8</b>	52,286	74,247

<b>Agujero 9</b>	51,990	73,825
<b>Agujero 10</b>	51,668	73,368
<b>Agujero 11</b>	51,363	72,936
<b>Agujero 12</b>	51,062	72,508
<b>Agujero 13</b>	47,757	67,816
<b>Agujero 14</b>	47,456	67,387
<b>Agujero 15</b>	47,154	66,958
<b>Agujero 16</b>	46,848	66,524
<b>Pout</b>	48,363	68,676

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4 Implementación del sistema de oxigenación por gravedad

#### 3.4.1 Principio y síntesis del funcionamiento del sistema por gravedad

El sistema por gravedad hace circular el agua por la tubería de descarga que se encuentra a una determinada altura sobre el nivel del tanque, descargándose el mismo a través de las perforaciones realizadas con los diámetros especificados, golpeando el agua con una presión y velocidad de tal forma que se rompa la tensión superficial, se genere burbujas y finalmente se produzca el intercambio de oxígeno entre el agua y el ambiente.

#### 3.4.2 Equipos y materiales

##### 3.4.2.1 Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga cumple la función de elevar el fluido a la altura necesaria para poder circular a través de la manguera de descarga, impulsando el fluido para que de esta manera pueda salir con velocidad capaz de romper la tensión superficial y exista la oxigenación.



**Figura 15-3.** Bomba Centrífuga del sistema por gravedad

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 13-3:** Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga

Potencia	0.5 HP
Caudal máximo	40 l/min
Altura máxima	40 m

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.2.2 Tubería de succión

La tubería de succión permite el ingreso del agua a la bomba centrífuga, para posteriormente enviar el agua al resto del sistema.



**Figura 16-3.** Tubería de succión del sistema por gravedad

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 14-3:** Especificaciones técnicas de la tubería de succión

Material	PVC
Diámetro	0,5 in
Longitud	1,5 m

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.2.3 Tubería de descarga

La tubería de descarga lleva el agua hacia la manguera de descarga que se encuentra a una altura de 40 cm sobre el nivel del tanque.



**Figura 17-3.** Tubería de descarga del sistema por gravedad

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 15-3:** Especificaciones técnicas de la tubería de descarga





Material	PVC
Diámetro	0,5 in
Longitud	1,5 m

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.2.4 Accesorios

Los accesorios que utiliza el sistema son de diámetros requeridos por la tubería de succión y descarga respectivamente.

**Tabla 16-3:** Especificaciones técnicas de accesorios en las tuberías del sistema por gravedad

Cantidad	Denominación		Función
2	Unión universal		Las uniones universales se utilizaron para una mayor facilidad de desmontaje de la bomba cuando esta requiera de mantenimiento.
1	Unión tipo "T"		La unión tipo T es utilizada para ubicar un manómetro en la tubería de descarga.
6	Codo recto a 90° 1/2 pulgada		Los codos se utilizaron para cambiar la dirección del flujo del agua y llevar el mismo hasta la manguera de descarga.
1	Bushing de 1plg a 1/2 plg		Los bushing fueron utilizados para acoplar los diámetros de entrada y salida a la tubería y de succión y descarga.

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.2.5 Soporte para manguera de descarga

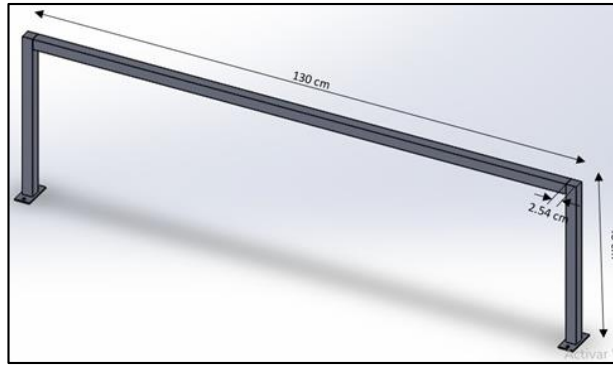
Los soportes para la manguera de descarga se construyen con perfil cuadrado, los cuales cumplen la función de soportar el peso de la manguera de descarga, en total son 12 soportes los que se construyen, los cuales se colocan a una separación de 2,3 m entre si cada uno.



**Figura 18-3.** Soporte del sistema

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020





**Figura 19-3.** Dimensiones del soporte

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 17-3:** Dimensiones del soporte

Material	Acero
Altura	40 cm
Largo	130 cm
Ancho	2,54 cm

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 3.4.2.6 Manguera de descarga

La manguera de descarga lleva el fluido a lo largo de toda la tubería liberando el caudal en cada uno de las perforaciones realizadas con una separación de 2 metros entre sí, estas perforaciones permiten la salida del agua a una velocidad determinada, haciendo que de esta forma se pueda romper la capa superficial y se produzca la oxigenación.



**Figura 20-3.** Manguera de descarga

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 18-3:** Especificaciones técnicas de la manguera de descarga

Material	Polietileno (PE)
Diámetro nominal	16 mm
Diámetro interno	13,6 mm
Presión de rotura	1,2 MPa
Longitud total	32 m
Diámetro de perforaciones	1/16 plg

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.2.7 Manómetro

El sistema utiliza dos manómetros que marcan las presiones que se generan al ingresar al sistema, y al salir al sistema.



**Figura 21-3.** Manómetro del sistema

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 19-3:** Especificaciones técnicas del manómetro.

Rango de presión	0 - 150 psi
Rango de presión	0 – 10 bar

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.3 Instalación del sistema

El sistema por gravedad utiliza los equipos y materiales mencionados en el apartado 3.4.2, los soportes de acero que se muestran en la figura 21-3 son colocados una distancia de 2.3m uno del otro y tienen una altura de 40 cm, como se observa en la figura 22-3 la manguera de descarga se coloca sobre estos soportes con cinchos de plástico de 20 cm de largo, la manguera se conecta a la bomba centrífuga de 0,5 Hp y esta bomba se conecta a la red eléctrica.



**Figura 22-3.** Instalación del sistema por gravedad

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Figura 23-3.** Sistema por gravedad

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.4.4 *Calculo de parámetros*

#### Nomenclatura

$A_T$ : Área del tubo

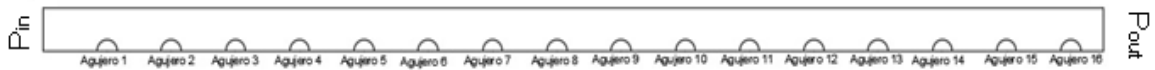
$A_a$ : Área del agujero

$Q_0$ : Caudal inicial (antes del primer agujero)

$v_1$ : Velocidad antes del primer agujero

$Q_1$ : Caudal en el primer agujero

$Q_{T1}$ : Caudal total en primer agujero



**Figura 24-3.** Sistema por gravedad

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 3.4.4.1 *Determinación de la variación de flujo*

#### Datos

Diámetro interno = 13,6 mm

Diámetro perforación = 1,5875 mm

Caudal IN = 33 L/min

$$A = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

$$A_T = \frac{\pi \times (13,6 \text{ mm})^2}{4} = 145,267 \text{ mm}^2$$

$$A_a = \frac{\pi \times (1,5875 \text{ mm})^2}{4} = 1,979 \text{ mm}^2$$

**Calculo del caudal parcial en el agujero 1**

$$Q_0 = 550000 \frac{mm^3}{s} = 33 \frac{l}{min}$$

$$Q_0 = A_T \times v_1$$

$$v_1 = \frac{Q_0}{A_T}$$

$$v_1 = \frac{550000 \frac{mm^3}{s}}{145,267 mm^2} = 3786,13 \frac{mm}{s}$$

$$Q_1 = A_a \times v_1$$

$$Q_1 = 1,979 mm^2 \times 3786,13 \frac{mm}{s} = 7492,75 \frac{mm^3}{s} = 0,449 \frac{l}{min}$$

Se realiza el mismo procedimiento para el cálculo del caudal parcial en cada uno de los agujeros, los valores obtenidos se indican en la tabla 20-3.

**Calculo del caudal total en el agujero 1**

$$Q_0 = Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{T3} + \dots + Q_{T16} \tag{4}$$

Con los caudales parciales en cada agujero calculamos las relaciones entre caudales que se indican en la tabla 20-3 para dejar expresada la ecuación (4) en función de caudal total 1.

$$\frac{Q_1}{Q_n} = \frac{Q_{T1}}{Q_{Tn}} \tag{5}$$

$$Q_0 = Q_{T1} + \frac{1}{1,014} Q_{T1} + \frac{1}{1,028} Q_{T1} + \frac{1}{1,042} Q_{T1} + \frac{1}{1,056} Q_{T1} + \frac{1}{1,070} Q_{T1} + \frac{1}{1,085} Q_{T1}$$

$$+ \frac{1}{1,100} Q_{T1} + \frac{1}{1,116} Q_{T1} + \frac{1}{1,131} Q_{T1} + \frac{1}{1,147} Q_{T1} + \frac{1}{1,163} Q_{T1} + \frac{1}{1,179} Q_{T1}$$

$$+ \frac{1}{1,195} Q_{T1} + \frac{1}{1,212} Q_{T1} + \frac{1}{1,228} Q_{T1}$$

$$Q_0 = 14,467 Q_{T1}$$

$$Q_{T1} = 2,281 \frac{l}{min}$$

El valor obtenido del caudal total 1 se remplacea en la ecuación (5). Para obtener las relaciones de caudal, determinando el valor final de caudal total en cada uno de los puntos como se detalla en la tabla 20-3.

**Tabla 20-3:** Especificaciones técnicas del manómetro.

	<b>Caudal Parcial l/min</b>	<b>Relación de caudal</b>	<b>Caudal total l/min</b>
<b>Agujero 1</b>	0,449	1	2,281
<b>Agujero 2</b>	0,443	1,014	2,249

<b>Agujero 3</b>	0,437	1,028	2,219
<b>Agujero 4</b>	0,431	1,042	2,189
<b>Agujero 5</b>	0,426	1,056	2,160
<b>Agujero 6</b>	0,420	1,070	2,132
<b>Agujero 7</b>	0,414	1,085	2,102
<b>Agujero 8</b>	0,408	1,100	2,074
<b>Agujero 9</b>	0,403	1,116	2,044
<b>Agujero 10</b>	0,397	1,131	2,017
<b>Agujero 11</b>	0,392	1,147	1,989
<b>Agujero 12</b>	0,387	1,163	1,961
<b>Agujero 13</b>	0,381	1,179	1,935
<b>Agujero 14</b>	0,376	1,195	1,908
<b>Agujero 15</b>	0,371	1,212	1,882
<b>Agujero 16</b>	0,366	1,228	1,857

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 3.4.4.2 Determinación de la variación de Presión

##### Nomenclatura

$P_{in}$ : Presión de entrada

$P_1$ : Presión en el agujero 1

$P_{out}$ : Presión de salida

$V_{in}$ : Velocidad de entrada

$V_1$ : Velocidad en el agujero 1

$\rho$ : Densidad del agua

$H_{in-1}$ : Perdidas de la entrada en el agujero 1

$z$ : Altura

$Re$ : Reynolds

$f_{te}$  : Factor de fricción

$h_f$  : Perdidas por longitud

$h_s$ : Perdidas por accesorios

##### Datos

Presión IN = 34 psi

Presión OUT = 29 psi

Caudal IN = 33 L/min

Densidad = 1000 Kg/m<sup>3</sup>

Rugosidad = 0,002 mm

Viscosidad dinámica = 0,001065  $\frac{Ns}{m^2}$

Longitud entrada = 1,50 m

K accesorios = 0,81

Velocidad entrada = 3,786 m/s

**Calculo de Reynolds, factor de fricción, perdidas por longitud y accesorios**

$$Re = \frac{\left(3,786 \frac{m}{s}\right) (0,0136m) \left(1000 \frac{Kg}{m^3}\right)}{1,065 \times 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}} = 48348,64$$

$$f_{te} = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{0,002mm}{3,7 \times 13,6mm}\right) + \frac{5,74}{48348,64^{0,9}}\right]^2} = 0,021$$

$$h_f = 0,020 \left(\frac{1,50m}{0,0136m}\right) \left(\frac{\left(3,786 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}\right) = 1,695m$$

$$h_s = 2(0,81) \left[\frac{3,786^2}{2 \times 9,81}\right] = 1,184m$$

**Calculo de presión en el punto 1.**

Reemplazando los valores en la ecuación (3) de Bernoulli se calcula el valor de la presión en el agujero 1

$$\frac{P_{in}}{\rho} + \frac{V_{in}^2}{2} + gz_{in} - H_{in-1} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1$$

$$P_1 = 22,440 \text{ mca}$$

Se realiza el mismo procedimiento para el cálculo de presiones en cada uno de los agujeros, tomando en cuenta que para esto no existen perdidas por accesorios solamente por longitud, los valores obtenidos se indican en la tabla 21-3.

**Tabla 21-3:** Variación de presión

	<b>MCA</b>	<b>PSI</b>
<b>Pin</b>	23,896	33,933
<b>Agujero 1</b>	22,440	31,865
<b>Agujero 2</b>	22,350	31,737
<b>Agujero 3</b>	22,259	31,608
<b>Agujero 4</b>	22,168	31,479
<b>Agujero 5</b>	22,074	31,345
<b>Agujero 6</b>	21,983	31,215
<b>Agujero 7</b>	21,891	31,085
<b>Agujero 8</b>	21,799	30,955
<b>Agujero 9</b>	21,704	30,820
<b>Agujero 10</b>	21,612	30,689
<b>Agujero 11</b>	21,516	30,553
<b>Agujero 12</b>	21,421	30,418

<b>Agujero 13</b>	21,328	30,285
<b>Agujero 14</b>	21,232	30,149
<b>Agujero 15</b>	21,136	30,012
<b>Agujero 16</b>	21,039	29,876
<b>Pout</b>	20,313	28,845

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5 Implementación del sistema de oxigenación mecánico

#### 3.5.1 Principio y síntesis del funcionamiento del sistema mecánico

El funcionamiento de este sistema consiste en que los rodets parcialmente sumergidos deben rotar con una velocidad suficiente para agitar el agua, de esta manera se rompe la tensión superficial y se crean burbujas que son las que permiten que el oxígeno que se encuentra en el medio ambiente entre al agua, y gracias a que los rodets mezclan el agua el oxígeno disuelto es uniforme en todo el tanque.

#### 3.5.2 Equipos y materiales

##### 3.5.2.1 Motor

El motor es el encargado de que funcione todo el sistema de oxigenación mecánico, ya que del motor proviene toda la energía mecánica para que cada elemento pueda cumplir su función y que los aireadores puedan girar a la velocidad necesaria para romper la membrana.



**Figura 25-3.** Motor eléctrico

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 22-3:** Especificaciones Técnicas del motor

Potencia	0,5 HP
Velocidad	1720 RPM
Voltaje	110/220 V

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

##### 3.5.2.2 Reductor de velocidad

El reductor de velocidad que se utilizó en el sistema mecánico es de una relación de 40:1, por lo que la velocidad que entrega al sistema y con la que van a girar los rodets es de 43 RPM, es una

velocidad óptima para que el agua se oxigene y se mezcle uniformemente, y para que no salpique fuera del tanque.

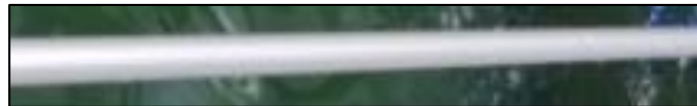


**Figura 26-3.** Reductor de velocidad

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.2.3 Ejes de transmisión

Se utiliza tres ejes de transmisión de 0,5 in de diámetro, 2 de ellos miden 130 cm y el otro mide 140 cm, la longitud de los ejes se debe a las dimensiones del tanque y el último es más largo ya que una polea esta acoplada para poder conectarse con el reductor de velocidad.



**Figura 27-3.** Eje de transmisión

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.2.4 Chumaceras

Las características de las chumaceras utilizadas, dependen exclusivamente de las dimensiones de los ejes, ya que el diámetro de 0,5 in y la separación entre chumaceras de 125 cm es para que puedan soportar a estos ejes.



**Figura 28-3.** Chumacera

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



### 3.5.2.5 Cadenas de transmisión

El sistema por cadena es el encargado de transmitir el movimiento del eje más largo hacia los otros dos, se toma la decisión del sistema de transmisión por cadenas, por la distancia larga que existe entre ejes (10m) y por las condiciones de trabajo, ya que las cadenas están cerca del suelo que es de tierra y en caso de un contacto indirecto con la tierra va a producirse un desgaste en el sistema y las cadenas son muy resistentes al desgaste.



**Figura 29-3.** Cadena de transmisión

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 23-3:** Especificaciones Técnicas de cadena de transmisión

Paso	1/2"x 1/8"
Longitud del pasador	8,7 mm
Resistencia a la tracción	850 Kgf
Capacidad del pasador	90 Kgf

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.2.6 Catalinas

Las catalinas con las que se trabaja están acopladas a los ejes y son de 4 in de diámetro, todas las catalinas son del mismo tamaño debido a que se necesita que todos los ejes giren a la misma velocidad (43 RPM).



**Figura 30-3.** Catalinas

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.2.7 Correas

Se emplea una banda modelo A28 de longitud 29cm para transmitir el movimiento del motor al reductor, y una banda modelo A22 de longitud 21,5cm para transmitir el movimiento de reductor al eje más largo, se decide usar bandas en esta parte del sistema debido a las altas revoluciones del motor (1720 RPM), porque en este caso las distancias eran cortas y además por la facilidad de acoplar las poleas a los ejes del motor y reductor.



**Figura 31-3.** Banda de transmisión

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.2.8 Poleas

Las poleas que se utilizan son de 2 in de diámetro, se emplea el mismo tamaño en todas las poleas, para que el reductor mantenga su relación de 40:1 y para que la velocidad que sale del reductor sea la misma que se va a transmitir a todos los ejes (43 RPM).

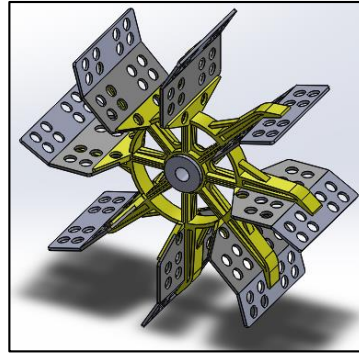


**Figura 32-3.** Polea

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.2.9 Rodetes

Se observa en la figura 32-3 para el diseño de los rodetes se lo hace mediante el software solidworks, para realizar el dibujo se basó en estudios realizados para estanques de peces y camarones, las dimensiones y el material se adaptan a las condiciones de trabajo.



**Figura 33-3.** Modelado de rodete

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Se aprecia en la figura 33-3 que los rodetes se imprimen en 3D con material PLA, por la facilidad y la exactitud a la hora de darle la forma (exactamente igual al diseño modela en soliwords).



**Figura 34-3.** Rodete impreso en 3D

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

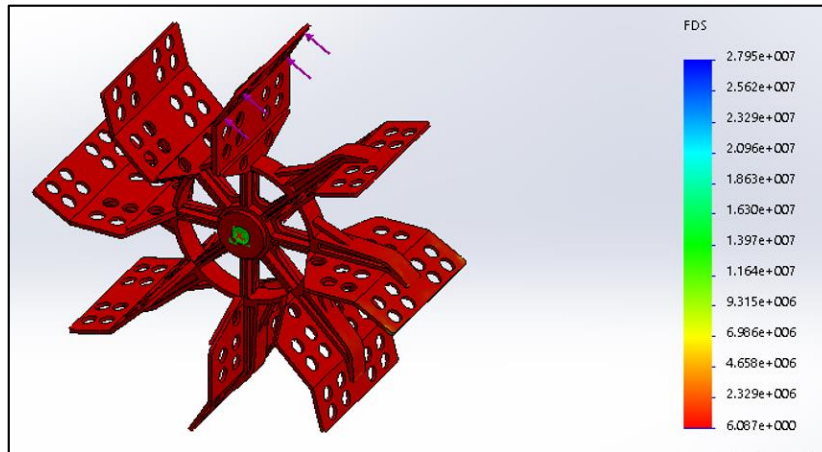
**Tabla 24-3:** Especificaciones técnicas del material PLA

Densidad	1,25 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	3,5 GPa
Elongación a la rotura	6%
Módulo de flexión	4 GPa
Resistencia a la flexión	80 MPa
Módulo de corte	2,4 GPa
Capacidad calorífica específica	1800 J/kg-K
Relación fuerza-peso	40 kN-m/kg
Resistencia a la tracción	50 MPa
Conductividad térmica	0,13 W/m-K

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Se observa en la figura 34-3 que previo a imprimir los rodetes se elabora una simulación en el mismo programa para identificar la fuerza máxima a la que pueden ser sometidos estos rodetes antes de fracturarse, dando diferentes valores a la fuerza para determinar el factor de seguridad que se obtiene con la fuerza respectiva, estos valores se detallan en la tabla 25-3. Con la

simulación se asegura que los aireadores si van a soportan las condiciones de trabajo a las que son sometidos y moverán la cantidad de agua requerida.



**Figura 35-3.** Simulación con 5kgf

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 25-3:** Factor de seguridad según la carga

Carga	Factor de seguridad
5Kgf	6,1
10Kgf	3
15Kgf	2
25Kgf	1,2
30Kgf	1,011
31Kgf	0,98

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.3 Instalación del sistema mecánico

Como se puede apreciar en la figura 34-3 para la instalación del sistema mecánico se ejecuta procedimientos de soldadura para unir las catalinas a los ejes, en la figura 35-3 se observa cómo se colocan las chumaceras a lo largo del tanque, además se desarrolla un trabajo de armado de cadenas, diseño y fabricación de una mesa para el anclaje y sujeción del motor, para finalmente montar los rodetes en sus ejes correspondientes, además de las cadenas y correas de transmisión en las catalinas y poleas respectivamente para generar el movimiento, finalmente se conecta a la red eléctrica y al sistema de automatización.



**Figura 36-3.** Ejes listos para el montaje en el sistema

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



**Figura 37-3.** Ubicación de chumaceras en el sistema

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.5.4 Dimensionamiento del eje

#### Nomenclatura

$P_{ot}$  = Potencia

$w$  = velocidad angular

$\Phi_p$  = diámetro de la polea

$\Phi_c$  = diámetro de la catalina

$\Phi_r$  = diámetro del rodete

$T$  = torque

$t$  = tensión

$z = \text{número de dientes de la catalina}$

$p = \text{paso de la cadena}$

$n = \text{factor de diseño}$

### Parámetros iniciales

$$Pot = 0,5 \text{ Hp} = 0,37285 \text{ KW}$$

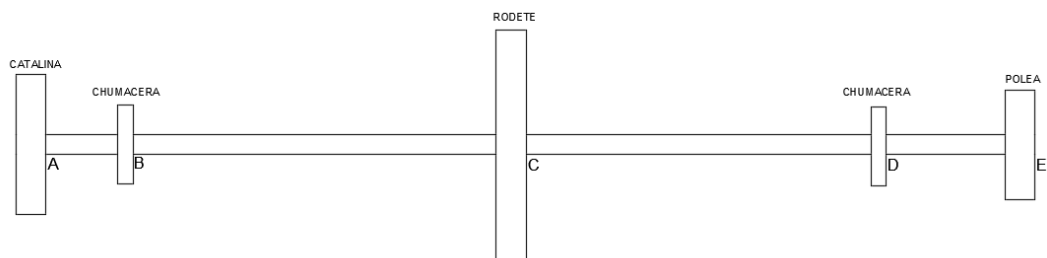
$$w = 43 \text{ rpm} = 4,503 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\phi_p = 2 \text{ in} = 50,8 \text{ mm}$$

$$\phi_c = 4 \text{ in} = 101,6 \text{ mm}$$

$$\phi_r = 400 \text{ mm}$$

$$z = 25$$



**Figura 38-3.** Diagrama de cuerpo libre del eje

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### Cálculo de las tensiones

$$T = \frac{Pot}{w}$$
$$\frac{t_1}{t_2} = e^{\theta\mu}$$

$$T_p = \frac{372,85 \text{ W}}{4,503 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 82,83 \text{ Nm}$$

$$T_r = T_c = 41,42 \text{ Nm}$$

$$t = t_1 + t_2 = 4842,516$$

$$t_z = t \cdot \cos(30) = 4193,79$$

$$T_p = (t_1 - t_2)r_p$$

$$t_2 = \frac{82,83 \text{ Nm}}{0,0508 \text{ m}} = 1614,17$$

$$t_1 = 3228,35$$

$$t_y = -t \cdot \sin(30) = -2421,26$$

$$\frac{t_1}{t_2} = 2$$

### Cálculo de la Fuerza del rodete

$$F_r = \frac{T_r}{r_r} = \frac{41,42Nm}{0,2m} = 207,1 N$$

### Cálculo de la fuerza de la cadena

$$v = \frac{zpw}{12} = \frac{25 \times 0,5in \times 43rpm}{12} = 44,79 \frac{ft}{min}$$
$$F = \frac{330000 Hp}{v} = \frac{33000 \times 0,25 Hp}{44,79 \frac{ft}{min}} = 184,192 lbf = 820,49N$$
$$F_c = 1,05F = 861,51N$$

Realizado los diagramas y cálculos respectivos tenemos las siguientes reacciones y momentos:

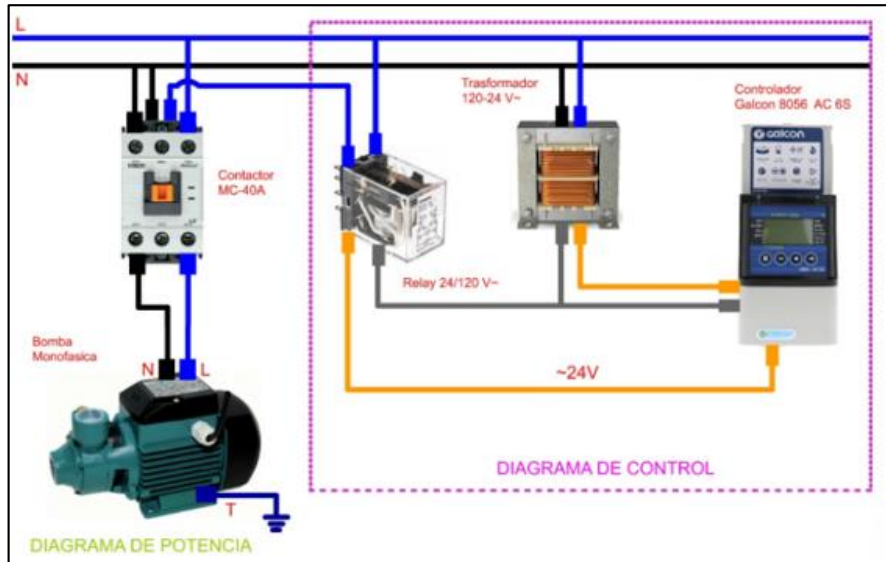
$$R_{BY} = 378,32N \qquad R_{BZ} = -4815,97N$$
$$R_{DY} = -2799,58N \qquad R_{DZ} = 1649,75N$$
$$M_B = 98,46 Nm$$
$$M_C = 531,78 Nm$$
$$M_D = 968,49 Nm$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{k_f \times Ma}{Se} \right)^2 + 3 \left( \frac{k_{fs} \times Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$
$$d = \left\{ \frac{16(1,5)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,6 \times (968,49 \times 10^3)}{140,7} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,4 \times (82,43 \times 10^3)}{393} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$
$$d = 12,3mm \approx 0,5 in$$

## 3.6 Sistema de control

### 3.6.1 Principio y síntesis del funcionamiento del sistema eléctrico

El sistema de control permite automatizar cada uno de los tres sistemas de oxigenación para que enciendan en un tiempo de 30 segundos cada 5 minutos, y permita mantener el nivel de oxígeno constante en el agua de los tanques reservorios, la programación del tiempo se lo realiza en el temporizador para programación de riego.



**Figura 39-3.** Diagrama de sistema de control

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.6.2 Equipos

#### 3.6.2.1 Temporizador para programación de riego

Este tipo de temporizador es comúnmente utilizado para riego en uso doméstico, permite operar hasta 6 válvulas de manera simultánea, y programar de manera independiente cada válvula, también de una duración de riego desde 1 segundo hasta 12 horas, además tiene la particularidad de percibir cortocircuito en las válvulas, desconectar las mismas y emitir un aviso en el monitor.



**Figura 40-3.** Temporizador para programación de riego

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 26-3:** Especificaciones técnicas del temporizador en los sistemas

Marca	Galcon
Modelo	8056-AC 6S
Voltaje de Entrada	110 AC
Voltaje de salida	24 VAC
Frecuencia	60 Hz



Corriente de salida	830 mA
Batería de respaldo	9V
Tiempo de encendido	40 seg
Tiempo de apagado	5 min

**Fuente:** (Pietrabella, 2017)

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.6.2.2 Relé

Los relés se pueden considerar como un interruptor automático ya que sirve para activar circuitos eléctricos con una pequeña potencia.

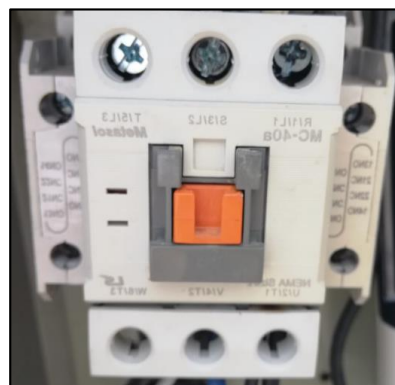


**Figura 41-3.** Relé del sistema de control

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.6.2.3 Contactor

El contactor es similar al relé en su principio de funcionamiento permitiendo controlar un amperaje de alto valor de un circuito eléctrico de manera automática, básicamente trabaja como un interruptor de alta potencia y elevado voltaje.



**Figura 42-3.** Contactor del sistema de control

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 27-3:** Especificaciones técnicas del contactor

Marca	Metasol
Modelo	MC-40a
Voltaje	230VAC
Corriente	40 A

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 3.7. Validación de los sistemas de oxigenación

Una vez que se implementa los sistemas, se procede a probar los mismos para verificar que todos sus componentes funcionen correctamente. Cuando los sistemas trabajan de manera adecuada se programa un encendido de 30 segundos cada 5 minutos para poder medir la cantidad de oxígeno disuelto después de airear los depósitos con cada sistema y comprobar que esté en el rango requerido (7 mg/l -14mg/l). Con los datos sacados se obtiene que efectivamente los sistemas cumplen con las necesidades requeridas.



**Figura 43-3.** Medición de oxígeno disuelto después de oxigenar

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

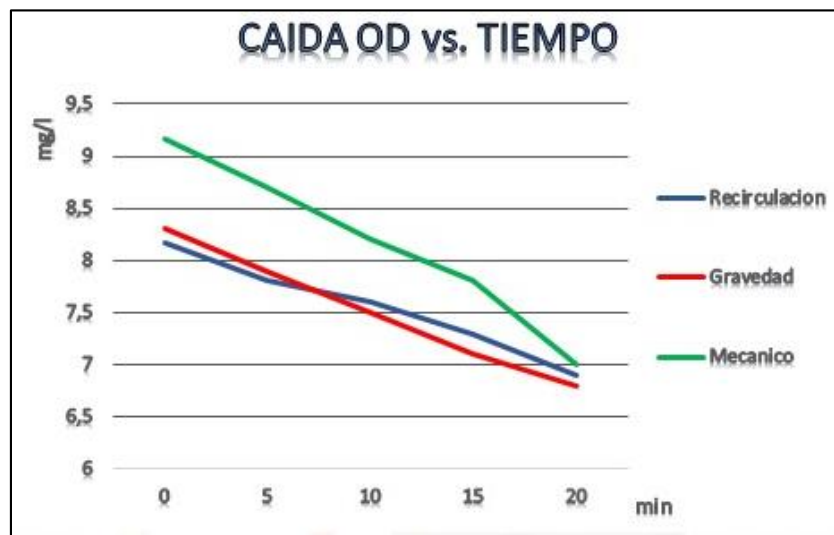
## 4. GESTION DEL PROYECTO

### 4.1 Resultados

En este capítulo se analiza los resultados de oxígeno disuelto obtenidos por cada uno de los sistemas de oxigenación, los datos se recopilan con el instrumento de medición por un lapso de 6 días en distintas horas del día, para de esta manera comprobar que el valor de oxígeno disuelto permanece constante durante todo el día. Además, con la ayuda de métodos estadísticos (Método de tukey al 5%) se indicará cuál de los 3 sistemas proporciona mejor oxigenación.

#### 4.1.1 Análisis del tiempo óptimo de oxigenación

Para realizar este análisis se toma los datos de oxígeno disuelto durante 20 minutos después de oxigenar el agua, y así determinar el tiempo más óptimo de oxigenación para que el agua tenga una cantidad de oxígeno disuelto constante. Como se aprecia en el gráfico 1-4 el oxígeno disuelto disminuye considerablemente transcurrido un lapso de tiempo sin oxigenar el agua.

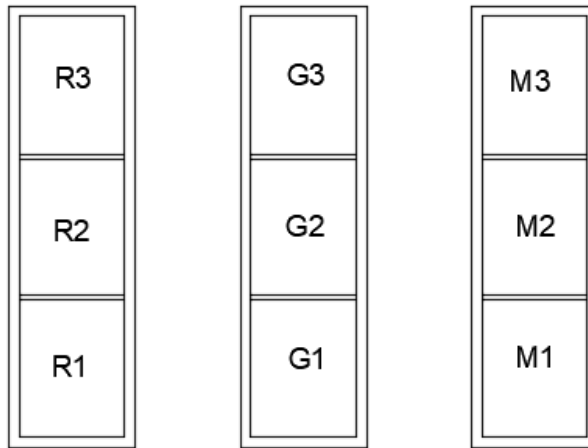


**Gráfico 1-4.** Caída de oxígeno disuelto respecto al tiempo.

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.1.2 Cantidad de oxígeno disuelto en agua sin oxigenar

Las mediciones se realizan en distintas partes de cada uno de los tanques (inicio, medio y final), con la finalidad de demostrar que el oxígeno disuelto a lo largo de los mismos es uniforme como se muestran en la tabla 1-4 y a su vez tener datos con mayor precisión.



**Figura 1-4.** Esquema de tanques Reservorio

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 1-4:** Valor de oxígeno disuelto de cada división en los tanques antes de oxigenar

Sistemas	Divisiones	OD
Recirculación	R1	6,4 mg/l
Recirculación	R2	6,4 mg/l
Recirculación	R3	6,9 mg/l
Gravedad	G1	6,4 mg/l
Gravedad	G2	6,2 mg/l
Gravedad	G3	6,2 mg/l
Mecánico	M1	6,5 mg/l
Mecánico	M2	6,3 mg/l
Mecánico	M3	6,4 mg/l

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

La tabla 2-4 muestra que se obtiene un Coeficiente de variación de 3.03%, indica también que no existen diferencias significativas según Ronald Fisher entre los datos obtenidos del oxígeno disuelto antes de oxigenar el agua, este resultado se obtiene mediante el análisis de varianza.

**Tabla 2-4:** Análisis por varianza para la medición de oxígeno disuelto antes de oxigenar

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	Valor de probabilidad(p)
Repeticiones	0,06	2	0,03	0,82	0,5017
Sistemas	0,14	2	0,07	0,79	0,2779
Error	0,15	4	0,04		
Total	0,35	8			
<b>C.V.</b>	<b>3,03%</b>				

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**Tabla 3-4:** Significado de los valores de probabilidad

Si $p > 0,01$ y $> 0,05$	No significativo
Si $> 0,01$ p $< 0,05$	Significativo
Si p $< 0,01$ y $< 0,05$	Muy significativo

Fuente: Ronald Fisher

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

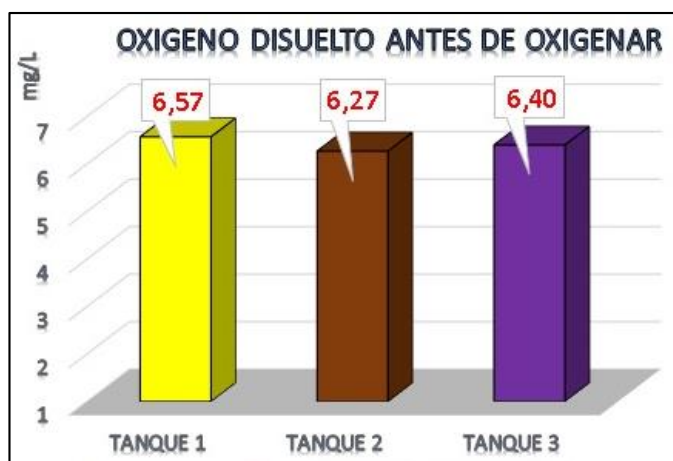
El análisis de varianza por el método de tukey al 5% demuestra que existe un solo grupo A, con una media de oxígeno disuelto de 6.57 para el tanque 1, una media de 6.40 para el tanque 3 y una media de 6.27 para el tanque 2.

**Tabla 4-4:** Valor según la prueba de Tukey al 5% antes de oxigenar

Sistemas	Medias	Grupos
Tanque 1	6,57 mg/l	A
Tanque 3	6,40 mg/l	A
Tanque 2	6,27 mg/l	A

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Como se aprecia en el gráfico 2-4 el valor de oxígeno disuelto en cada uno de los tanques es menor al rango requerido ( $< 7\text{mg/l}$ ), también se puede observar que los tanques empiezan con un valor bastante similar de oxígeno disuelto, lo cual indica que se empieza en condiciones prácticamente iguales.



**Gráfico 2-4.** Cantidad de oxígeno disuelto en cada tanque antes de oxigenar

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.1.3 Cantidad de oxígeno disuelto en agua después de oxigenar día 1

Los datos que se obtienen para realizar el análisis de varianza se encuentran detallados en el anexo E.

La tabla 5-4 muestra que obtenemos un Coeficiente de variación de 0.78%, indica también que existen diferencias significativas de oxígeno disuelto entre los sistemas de oxigenación, este resultado se obtiene mediante el análisis de varianza.

**Tabla 5-4:** Análisis por varianza para la medición de oxígeno disuelto después de oxigenar 1 día

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	Valor de probabilidad (p)
Repeticiones	0,02	2	0,01	1,75	0,2844
Sistemas	1,77	2	0,88	199	0,0001
Error	0,02	4	0,0044		
Total	1,80	8			
<b>C.V.</b>	<b>0,78%</b>				

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

El análisis de varianza por el método de tukey al 5% demuestra que existen dos grupos, en el grupo A se encuentra el sistema mecánico que es el que intercambia mayor cantidad de oxígeno con una media de 9.17 mg/l. En el grupo B se encuentra el sistema de oxigenación por gravedad con una media de 8.30 mg/l y el sistema de oxigenación por recirculación con una media de 8.17 mg/l.

El sistema de recirculación y gravedad se encuentran en el mismo grupo debido a que entre estos dos sistemas no existe una variación significativa.

**Tabla 6-4:** Valor según la prueba de Tukey al 5% después de oxigenar 1 día

Sistemas	Medias	Grupos
Mecánico	9,17 mg/l	A
Gravedad	8,30 mg/l	B
Recirculación	8,17 mg/l	B

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Como se aprecia en el gráfico 3-4 el valor de oxígeno disuelto en cada uno de los tanques con su respectivo sistema está dentro del rango requerido (7 – 14 mg/l).

Se observa también que el sistema que más oxígeno incrementa es el mecánico, razón por la cual las plantas que se alimenten con esta agua tendrán una mejor asimilación de nutrientes y se desarrollaran de mejor manera.



**Gráfico 3-4.** Cantidad de oxígeno disuelto en cada tanque después de oxigenar 1 día

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

Los datos de oxígeno disuelto en el agua se toman durante 6 días consecutivos por una hora diaria. Al observar los datos se aprecia que los mismos llevan una tendencia bastante similar de la cantidad de oxígeno disuelto en los 6 días de estudio, dando unos resultados de coeficiente de variación CV, significancia y agrupación muy semejantes según el análisis estadístico que se realiza, concluyendo el estudio con los valores de oxígeno que se muestran en la tabla 7-4.

**Tabla 7-4:** Valor de oxígeno disuelto en 6 días de estudio

	<b>S.O. Mecánico</b>	<b>S.O. Gravedad</b>	<b>S.O. Recirculación</b>
<b>Día 2</b>	9,20 mg/l	8,33 mg/l	8,10 mg/l
<b>Día 3</b>	9,33 mg/l	8,40 mg/l	7,90 mg/l
<b>Día 4</b>	9,16 mg/l	8,48 mg/l	7,83 mg/l
<b>Día 5</b>	9,15 mg/l	8,61 mg/l	7,81 mg/l
<b>Día 6</b>	9,17 mg/l	8,56 mg/l	8,09 mg/l

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

El análisis de varianza del día dos al día seis se detalla en el anexo F

## 4.2 Análisis de costos

En este capítulo se detallan los gastos directos e indirectos de cada uno de los sistemas de oxigenación implementados en el invernadero de horticultura.

### 4.2.1. Costos de instrumentos de medición

**Tabla 1-5:** Costos de instrumentos de medición

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Medidor de oxígeno disuelto	390
<b>TOTAL</b>		<b>390</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

### 4.2.2. Costos del Sistema de Oxigenación por recirculación

#### 4.2.2.1. Costos directos del Sistema Oxigenación por recirculación

**Tabla 2-5:** Costos directos del sistema de oxigenación por recirculación

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Bomba Centrifuga 1,5 Hp	92,36
1	Tubería (Succión y descarga)	5
9	Accesorios	10
16	Manguera	5
2	Manómetros	5
1	Broca de 1/16 in	1
15	Abrazaderas	5
<b>TOTAL</b>		<b>123,36</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020



#### 4.2.2.2. Costos indirectos del sistema Oxigenación por recirculación

**Tabla 3-5:** Costos indirectos del sistema de oxigenación por recirculación

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Transporte	5
1	Imprevistos	10
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.2.3. Costo total del sistema Oxigenación por recirculación

**Tabla. 4-5:** Costo total del sistema Oxigenación por recirculación

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Costo directo	123,36
1	Costo indirecto	15
<b>TOTAL</b>		<b>138,36</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.3. Costos del Sistema de Oxigenación por gravedad

##### 4.2.3.1. Costos directos del Sistema Oxigenación por gravedad

**Tabla. 5-5:** Costos directos del sistema de oxigenación por gravedad

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Bomba Centrifuga 0,5 Hp	80
1	Tubería (Succión y descarga)	5
9	Accesorios	10
16	Manguera	5
2	Manómetros	5
1	Correas	1
1	Broca de 1/16 in	1
12	Soportes	100
<b>TOTAL</b>		<b>207</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

4.2.3.2. *Costos indirectos del sistema Oxigenación por gravedad*

**Tabla. 6-5:** Costos indirectos del sistema de oxigenación por gravedad

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Transporte	5
1	Imprevistos	10
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

4.2.3.3. *Costo total del sistema Oxigenación por gravedad*

**Tabla. 7-5:** Costo total del sistema Oxigenación por gravedad

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Costo directo	207
1	Costo indirecto	15
<b>TOTAL</b>		<b>222</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

**4.2.4. Costos del Sistema de Oxigenación Mecánico**

4.2.4.1. *Costos directos del Sistema Oxigenación Mecánico*

**Tabla. 8-5:** Costos directos del sistema de oxigenación mecánico

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Motor eléctrico de 0,5	89,29
1	Caja Reductora	80,36
2	Bandas	5
2	Poleas de 2 in	5
14	Chumaceras	84
3	Eje	10
12	Catalinas	27,6
15	Cadenas	48
3	Rodetes	300
1	Pintura anticorrosiva	10
1	Mesa de soporte	50
1	Mecanizado	50
<b>TOTAL</b>		<b>759,25</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.4.2. Costos indirectos del sistema Oxigenación Mecánico

**Tabla. 9-5:** Costos indirectos del sistema de oxigenación mecánico

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Transporte	5
1	Imprevistos	10
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.4.3. Costo total del sistema Oxigenación Mecánico

**Tabla. 10-5:** Costo total del sistema Oxigenación Mecánico

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Costo directo	759,25
1	Costo indirecto	15
<b>TOTAL</b>		<b>774,25</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.5. Costos del Sistema eléctrico

##### 4.2.5.1. Costos directos del sistema eléctrico

**Tabla 11-5:** Costos directos del sistema eléctrico

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Temporizador	180
1	Contactador	36
1	Relé	3
1	Regleta	2
1	Break	5
1	Cajas Break	12
1	Cajas Equipo	16
<b>TOTAL</b>		<b>254</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

##### 4.2.5.2. Costos indirectos del sistema eléctrico

**Tabla. 12-5:** Costos indirectos del sistema eléctrico

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
1	Transporte	5
1	Imprevistos	10
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.5.3. Costo total del sistema eléctrico

**Tabla. 13-5:** Costo total del sistema eléctrico

Cantidad	Descripción	Costo
1	Costo directo	254
1	Costo indirecto	15
<b>TOTAL</b>		<b>269</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.6. Costos totales

**Tabla. 14-5:** Costo total

Cantidad	Descripción	Costo
1	Medidor de oxígeno disuelto	390
1	S.O. por recirculación	138,26
1	S.O. por gravedad	222
1	S.O. mecánico	774,25
1	Sistema eléctrico	269
<b>TOTAL</b>		<b>1820,51</b>

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

#### 4.2.7. Relación Costo-Beneficio de los sistemas de oxigenación

Para sacar la relación costo-beneficio se suma todos los costos de equipos, materiales, transporte e imprevistos, también se proyectó los ingresos esperados para un año. Una vez calculado el costo total y el ingreso total se aplica las siguientes ecuaciones según nos indica (Castañer Martínez, 2014).

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\text{Ingreso total}}{\text{Costo total}}$$

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Ingreso total} - \text{Costo total}}{\text{Costo total}} \times 100$$

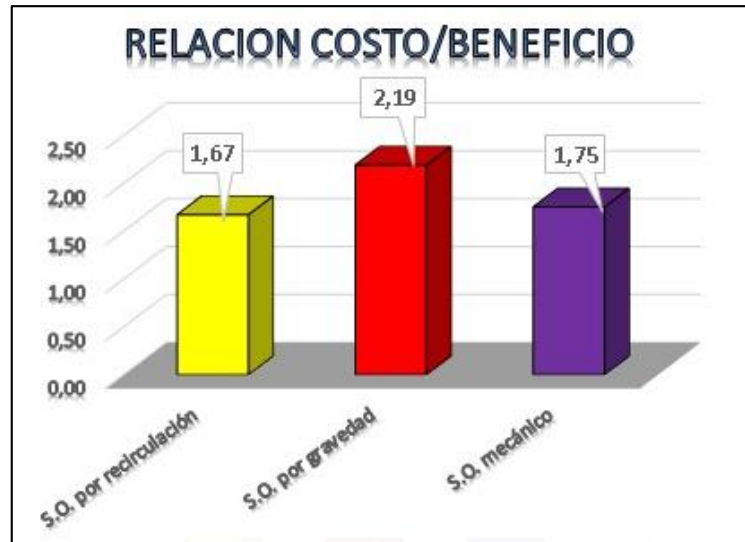
De esta manera se obtiene la rentabilidad de cada uno de los sistemas, y con esto se puede tomar la decisión de implementar el sistema que ofrece mayor beneficio.

**Tabla. 15-5:** Comparación de los Sistemas de Oxigenación por la relación Costo-Beneficio

Sistemas de Oxigenación	Relación beneficio/costo	Rentabilidad (%)
Sistema gravedad	2,19	118,78
Sistema mecánico	1,75	75,13
Sistema recirculación	1,67	67,05

Realizado por: Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

En la tabla 15-5 se nota que el sistema más apropiado económicamente es el sistema por gravedad con una rentabilidad del 118.78% con un valor económico de 2.19 dólares de ingreso, seguido por el sistema mecánico con 75.13% y con un valor económico de 1.75 dólares de ingreso, finalmente se tiene al sistema por recirculación con una rentabilidad de 67.05 % con un valor económico de 1.67 dólares de ingreso.



**Gráfico 1-5.** Diagrama de comparación costo-beneficio

**Realizado por:** Flores, Christian; Ortiz, Juan; 2020

## **5. CONCLUSIONES**

-La revisión bibliográfica permitieron conocer detalladamente las características principales de los sistemas de oxigenación más utilizados para aeración y tratamientos de aguas residuales permitiendo así seleccionar las 3 mejores alternativas para las condiciones del invernadero, que son por recirculación, por gravedad y mecánico.

-Al realizar el análisis estadístico entre los tres sistemas de oxigenación implementados se determinó, que el sistema mecánico es el que más oxígeno incrementa, con un promedio de oxígeno 9,2 mg/l, el oxígeno que se incrementó tardó aproximadamente cuatro horas en llegar a esa cantidad y estabilizase

-Desde la perspectiva económica el sistema que presenta una mayor ganancia, proyectado a un año de producción, es el sistema de oxigenación por gravedad con una rentabilidad bastante alta del 118,78%, esto debido al costo muy barato de este sistema, además presenta una relación costo beneficio del 2,19.

-Los tres sistemas de oxigenación implementados lograron cumplir el requerimiento, cada uno entregando un valor diferente de oxígeno disuelto al agua, pero todos ellos sobre el nivel de oxígeno mínimo de 7mg/l, para que las plantas asimilen de mejor manera los nutrientes y obtengan un mejor desarrollo.

-Para mantener constante la cantidad de oxígeno disuelto en los tanques se determinó un tiempo adecuado de oxigenación de treinta segundos cada cinco minutos impidiendo de esta manera el desvanecimiento del mismo, logrando esto con la adición de un sistema de automatización para los tres sistemas.

## **6. RECOMENDACIONES**

-Para implementar los sistemas de oxigenación siempre se debe primero analizar las condiciones de trabajo, principalmente las dimensiones de los estanques ya que es importante conocer la profundidad del estanque y el volumen de agua a oxigenar para seleccionar los equipos adecuados, también hay que identificar la cantidad de oxígeno requerido ya que de esa cantidad depende el tiempo de oxigenación.

-Colocar mayor cantidad de rodetes a lo largo del tanque reservorio con el objetivo de que se distribuya de mejor manera la oxigenación y se cubra una mayor área de contacto entre el agua y el oxígeno del ambiente, de preferencia cada 3 metros ya que es aproximadamente la distancia de

alcance que tiene un rodete y es también donde se encuentra ubicado los puntos de apoyo de la cadena de transmisión.

-Realizar un mantenimiento periódico a los sistemas para evitar taponamientos en las mangueras daños en las bombas o atascamientos en las cadenas de transmisión, así como también cuando sea necesario pintar con recubrimientos superficiales los ejes para evitar la corrosión y un desgaste prematuro de los mismos.

-Tener en cuenta también los distintos parámetros que se necesitan para tener una buena calidad de agua como son el nivel de PH y la salinidad, ya que conjuntamente con el oxígeno disuelto crean un ambiente adecuado para la vida en el agua.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABERGELDIE**, *Aeration Control for Medium Sized Continuous Activated Sludge Plant* [blog]. [Consulta: 13 Agosto 2019]. Disponible en: <https://abergeldie.com.au/>

**ARROYO CORREA, Víctor Manuel, & MILLÁN BARRERA, Cecilia.** Acoplamiento de mecanismos de DBO en un modelo CFD para cuerpos de agua [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México DF-México. 2012. pp. 8-12 [Consulta: 2019-08-06]. Disponible en: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1499/HC-1209.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**AVECILLAS ARELLANO, Luis Andrés.** Caracterización Físico-Químico del Estero Salado [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil-Ecuador. 2014. pp. 10-18. [Consulta: 2019-08-13]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3502/1/1093.pdf>

**BENJUMEA, C. ;& WILLS, Á.** “Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander”. *Facultad de Ingeniería de Antioquia* [en línea], 2007, (Colombia), pp 48-65. [Consulta: 10 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43004105>

**BOYD, Claude.** *Global Aquaculture Alliance* [blog]. 2015. [Consulta: 6 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/efficiency-of-mechanical-aeration/>

**BUDYNAS, Richard; & NISBETT, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8ª ed. México DF-México: McGRAW-HILL, 2008, pp. 654-887.



**CENGEL, Yunus; & CIMBALA, John.** *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones.* 2ª ed. México DF-México: McGRAW-HILL, 2012, pp. 37-174

**CASTAÑER, Juan.** *Análisis de costo beneficio.*[blog]. 2014. [Consulta: 25 Enero 2020]. Disponible en: <[http://gis.jp.pr.gov/Externo\\_Econ/Talleres/PresentationCB\\_JP\\_ETI.pdf](http://gis.jp.pr.gov/Externo_Econ/Talleres/PresentationCB_JP_ETI.pdf)>

**CÓRDOVA, E.** (2013). Estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica (Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato). Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/4338/1/Tesis%20I.%20M.%20170%20-%20C%C3%B3rdova%20Morales%20Edison%20Iv%C3%A1n.pdf>

**FLORES GARCIA, Juan Carlos.** *Sistemas de Transmisión Mecánica* [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad mayor de San Andrés, Facultad técnica, Carrera de Electromecánica. La Paz-Bolivia. pp. 17-23 [Consulta: 2020-02-03]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15454/EG-1080-%20Flores%20Garc%C3%ADa%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**FLÓREZ GARCÍA, Luis Carlos; & VANEGAS USECHE, Libardo.** *Transmisiones por correas* [blog]. Pereira-Colombia, 2010. [Consulta: 27 Enero 2020]. Disponible en: <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap-3-Transm-por-correas.pdf>

**GARCÍA MORENO, Héctor Daniel.** Evaluación de transferencia de oxígeno en el sistema de tratamiento con lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria en la Ciudad de México [En línea] (Trabajo de titulación). (Mestría) Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. México DF-México. pp. 11-18. [Consulta: 2020-02-03]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3715/garciamercardo.pdf?sequence=1>

**GARCÍA VEGA, Mayté.** *EcuRed* [blog]. 2014. [Consulta: 21 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Temporizadores&oldid=2405187>

**LALLANA, Víctor.** *Cátedra de Fisiología Vegetal* [blog]. [Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: [http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV\\_2010/mat\\_did/Metodo%20para%20medir%20fotosintesis\\_UT2.pdf](http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/Metodo%20para%20medir%20fotosintesis_UT2.pdf)

**LARSON.** *A Digital Control System for Optimal Oxygen Transfer Efficiency.* [blog]. Los Ángeles-USA, 2010 [Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: <https://ww2.energy.ca.gov/2009publications/CEC-500-2009-076/CEC-500-2009-076-APB.PDF>

**MAGNUS, A.** *Performance Assessment of Wastewater Treatment Plants* [en línea]. Lund-Suecia: Media-Tryck, 2016. [Consulta: 12 agosto 2019]. Disponible en: [https://lucris.lub.lu.se/ws/files/17264781/Arnell\\_M\\_PhD\\_thesis\\_final\\_w\\_cover.pdf](https://lucris.lub.lu.se/ws/files/17264781/Arnell_M_PhD_thesis_final_w_cover.pdf)

**MARCILLO, Fabricio.** *Uso de aireación en camarones* [blog]. [Consulta: 8 agosto 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/barcillo/aireacion-de-camaron-en-ecuador>.

**MERINO, Oscar; & SAL, Facundo.** *Tratamiento de agua* [blog]. Manabí-Ecuador, 2007. [Consulta: 6 agosto 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/AnnyZapata/000003-sistemas-de-recirculacin-y-tratamiento-de-agua-2007>

**MILETTA, B. et al.** "Study of Air Bubble Formation for Wastewater Treatment", *ASME International Design Engineering Technical Conference* [En línea], 2011, (United State of America)18(2),pp. 3-6. [Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/267489088\\_Study\\_of\\_Air\\_Bubble\\_Formation\\_for\\_Wastewater\\_Treatment](https://www.researchgate.net/publication/267489088_Study_of_Air_Bubble_Formation_for_Wastewater_Treatment)

**NIETO, A.** *Elementos de máquinas.* [En línea], Castilla-La Mancha-España: Ediciones Gigam, 2007, [Consulta: 31 Enero 2020]. Disponible en: <https://docs.google.com/file/d/0B-87D9cxiLfiNzVaYXhlMEhhamc/edit>

**OROXÓN FUENTES, José Lisandro.** Diseño de Oxigenador de agua programable para estanques [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. 2017. pp. 1-36. [Consulta: 2019-08-05]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/129372865.pdf>

**PEÑA PULLA, Evelyn.** *Oxígeno Disuelto* [Blog]. Guayaquil. [Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/2/Oxigeno%20disuelto%20Evelyn%20Pe%C3%B1a.pdf>

**PEREZ, Ricardo.** *Prueba de Tukey* [Blog]. 2019. [Consulta: 15 Enero 2020]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/prueba-de-tukey/?fbclid=IwAR0nqtPGQWsu1ZBW16gKmE0kxopFSKfhQLrB5Gh-a3yOMcD8SyWtuTCtYEE>

**PIETRABELLA, Gonzalo.** *Insumos de riego* [Blog]. [Consulta: 02 Enero 2020]. Disponible en: [http://www.insumosderiego.com.ar/riego\\_agricola\\_parques\\_jardines\\_agro\\_aspersion\\_goteo\\_galcon.php?titulo=programador-riego-galcon-computarizado-4-zonas-24-230-vac-programador-galcon-8054-ac4s-2-wire&ELID=4145%20\[%C3%9Altimo%20acceso:%20Enero%202020\]>](http://www.insumosderiego.com.ar/riego_agricola_parques_jardines_agro_aspersion_goteo_galcon.php?titulo=programador-riego-galcon-computarizado-4-zonas-24-230-vac-programador-galcon-8054-ac4s-2-wire&ELID=4145%20[%C3%9Altimo%20acceso:%20Enero%202020]>)

**RIVERA, E.** *Acua-Linda* [en línea]. Rosario-Argentina, 2018. [Consulta: 9 Agosto 2019]. Disponible en: <https://www.innovacionciudadana.org/laboratorios/wp-content/uploads/2019/01/Acualinda.pdf>

**ROMAN, Marius; & MURESAN Mircea.** “Process optimization of Aeration in the Biological Treatment using fine bubble difuser”. *Revista Internacional Educativa* [En línea], 2015, (Rumania) 38(1), pp. 3-4. [Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en: [https://ie.utcluj.ro/files/acta/2015/Number3/MPS2015\\_Roman.pdf](https://ie.utcluj.ro/files/acta/2015/Number3/MPS2015_Roman.pdf)

**RONZANO, E. & DANPENA, J.** *Sistemas de aireación* [Blog]. 2010. [Consulta: 30 Agosto 2019]. Disponible en: [http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/sistemas\\_aireacion.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/sistemas_aireacion.pdf)

**SANCHEZ, D.** “Aireación mediante difusión o burbujeo”, Nicovita [En línea], 2002, (Perú) 7(2), pp. 1-2. [Consulta: 12 Agosto 2019]. [Consulta: 12 Agosto 2019]. Disponible en : [http://www.nicovita.com/extranet/Boletines/ago\\_2002\\_02.pdf](http://www.nicovita.com/extranet/Boletines/ago_2002_02.pdf)

**SEKIZAWA, T. et al.** “Air Diffuser Performance in Activated Sludge Aeration Tanks”. *Water Pollution Control Federation*, vol. 57, n°1(1985), (United State of America), pp. 53-59.

**SYAZWAN ARIFF BIN, Mohd Yunus.** Design and Develop an Efficient Aeration System for Tasik UTEM – Aeration Device [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Malasia Malacca, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2015. pp. 5-20. [Consulta: 2019-08-13]. Disponible en: [https://pdfs.semanticscholar.org/bfa9/8532651d0d1d79952169a5bf32ab9e10bf1a.pdf?\\_ga=2.187584040.1682345316.1583449433-301469116.1583449433](https://pdfs.semanticscholar.org/bfa9/8532651d0d1d79952169a5bf32ab9e10bf1a.pdf?_ga=2.187584040.1682345316.1583449433-301469116.1583449433)

**TARAZONA, P.** *Contactora* [Blog]. 2018. [Consulta: 21 Agosto 2019]. Disponible en: Available at: <<https://www.areatecnologia.com/electricidad/contactora.html>>

**TILLEY, E. et al.** “Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento”. *Alianza por el agua* [En línea], 2011, (España), pp. 103-110. . [Consulta: 4 Septiembre 2019]. Disponible en: [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium\\_Spanish\\_pdfs/compendio1\\_sp.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio1_sp.pdf)

**VALLADARES, Steven.** *Tipos de Motores, 6 Clasificaciones Para Entenderlos Mejor* [Blog]. Venezuela. 2017. [Consulta: 23 Agosto 2019]. Disponible: <https://www.mundodelmotor.net/tipos-de-motores/>

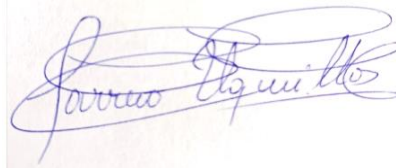
**VANEGAS, Libardo.** *Transmisión por cadenas* [Blog]. Pereira. 1 Septiembre, 2009. [Consulta: 30 Enero 2020]. Disponible: <<http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap-4-Transm-por-cadenas.pdf>>

**ZAPATA, Carlos; & MEJIA, German.** “Coordinación de relés de sobrecorriente en sistemas radiales”. *Scientia Et Technica*, [En línea], 2003, (Colombia) 1(22),pp. 1-2. [Consulta: 3 Enero 2020].

Disponible

en:

[https://www.academia.edu/26537190/Coordinaci%C3%B3n\\_De\\_Rel%C3%A9s\\_De\\_Sobrecorriente\\_en\\_Sistemas\\_Radiales\\_Utilizando\\_Programaci%C3%B3n\\_Lineal](https://www.academia.edu/26537190/Coordinaci%C3%B3n_De_Rel%C3%A9s_De_Sobrecorriente_en_Sistemas_Radiales_Utilizando_Programaci%C3%B3n_Lineal)



23-06-2020

0053-DBRAI-UPT-2020