



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN
ELECTROMECAÁNICA**

TEMA:

**“Diseño y construcción de un sistema prototipo para
oxigenación del agua mediante energía solar para la
Laguna Daniel Álvarez de la Ciudad de Loja”**

TESIS PREVIA LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

AUTORES:

OSCAR ALEXIS JIMBO JARAMILLO

JOSÉ LUIS ROA BUSTAMANTE

DIRECTOR:

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo. Mg. Sc

Loja - Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo. Mg. Sc.

**DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

CERTIFICA:

Haber asesorado y revisado durante todo el desarrollo de la presente Tesis titulada: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO PARA OXIGENACIÓN DEL AGUA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA LA LAGUNA DANIEL ÁLVAREZ DE LA CIUDAD DE LOJA”**, elaborada por los egresados: **Oscar Alexis Jimbo Jaramillo y José Luis Roa Bustamante**, previo a la obtención del grado de Ingeniero Electromecánico.

En tal virtud cumple los requisitos que exigen las normas de graduación de la Institución, por lo expuesto autorizo su presentación y defensa.

Loja, Febrero del 2011

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo. Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Todas las ideas, opiniones y recomendaciones vertidas en la presente tesis de ingeniería, son de absoluta responsabilidad de sus autores. Las transcripciones se hallan debidamente señaladas.

.....
Oscar Alexis Jimbo Jaramillo

.....
José Luis Roa Bustamante

AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, al Área de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y a todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo y su colaboración desinteresadamente para la ejecución del presente trabajo.

Además nuestra gratitud a los docentes de la carrera de Electromecánica quienes impartieron sus conocimientos para nuestra formación profesional, al Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo. Mg. Sc, director de Tesis por todos los conocimientos compartidos y su ayuda en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Bairon Solórzano por el apoyo profesional brindado, al señor Lauro Jiménez cuidador de la laguna Daniel Álvarez por su colaboración al prestarnos el bote para poder realizar las pruebas de la máquina, a nuestros familiares y a todas las personas que de alguna manera colaboraron para la culminación de esta tesis.

Los Autores

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la inteligencia para poder desarrollar este trabajo de tesis donde él fue mi guía e iluminación para cumplir este anhelado proyecto.

Dedico este trabajo con mucho cariño a mis padres que por su incondicional, esfuerzo y sacrificio me apoyaron durante mi formación profesional. A mis queridos hermanos, los cuales me inspiraron para poder concluir satisfactoriamente esta nueva meta en mi vida.

José Luis Roa Bustamante

Con mucho amor les dedico este trabajo a mis padres quienes fueron los actores principales para llegar a esta meta trazada quienes me supieron brindar su apoyo y por el esfuerzo incondicional durante toda mi formación académica, a mi hermano y en fin a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para la culminación de este trabajo.

Oscar Alexis Jimbo Jaramillo

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL	v
I. RESUMEN	1
1.1 SUMMARY	2
II. INTRODUCCIÓN	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 AIREACIÓN	5
3.1.1 Clasificación de los sistemas de aireación	5
3.2 SISTEMA DE AIREACIÓN	10
3.2.1 Generalidades	10
3.2.2 Determinación de los requerimientos de oxígeno	11
3.2.3 Transferencias típicas de oxígeno en aireadores	12
3.2.4 Operación y mantenimiento	12
3.3 LAGUNAS AIREADAS	13
3.3.1 Tipos de lagunas aireadas	13
3.4 MECANISMOS DE DISOLUCIÓN DE OXÍGENO	14
3.4.1 Método de aireación extendida en plantas paquete	15
3.4.2 Conceptos de algunos parámetros de control	15
3.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	31
3.5.1 Introducción	31
3.5.2 Energía solar fotovoltaica	32
3.5.3 Componentes de un sistema fotovoltaico	32
3.5.4 El panel fotovoltaico	34
3.5.5 Irradiación Solar	39
3.5.6 Baterías	41
3.5.7 Controlador de carga	47

3.5.8 Cables de conexión.....	51
3.6 COMPRESORES	53
3.6.1 Introducción.....	53
3.6.2 Compresores de corriente continua	54
3.6.3 Depósito de aire	55
3.6.4 Requisitos de potencia.....	56
3.7 FLOTADORES	58
3.7.1 Flotadores	58
3.8 RELÉS, PRESOSTATOS	61
3.8.1 Relés	61
3.8.2 Descripción de las partes de un relé	61
3.8.3 Tipos de relés.....	62
3.8.4 Presostato.....	64
3.8.5 Electroválvula.....	66
3.9 DIFUSORES	67
3.9.1 Difusión.....	67
3.9.2 Difusor.....	67
3.9.3 Fórmulas para el cálculo de difusores	67
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	70
4.1 METODOLOGÍA.....	70
4.2 PROPUESTA ALTERNATIVA	71
4.3 CÁLCULOS MATEMÁTICOS	72
4.3.1 Caudal de oxígeno de los compresores	72
4.3.2 Volumen del tanque de almacenamiento de aire	73
4.3.3 Tasa de transferencia de Oxígeno.....	73
4.3.4 Volumen de la laguna	75
4.3.5 Corrección de la tasa cte de remoción de substratos para 18 °C	75
4.3.6 Corrección de la tasa cte de respiración endógena para 18 °C	76
4.3.7 Concentración intermedia de materia Biodegradable DBO	76
4.3.8 Tiempo de retención hidráulico	76
4.3.9 Caudal medio de la laguna	77
4.3.10 Oxígeno requerido por toda la laguna	77
4.3.11 Volumen de agua que se puede airear con la máquina.....	78
4.3.12 Oxígeno requerido por el volumen de agua de 3752,8 m ³	78

4.3.13 Potencia total requerido para toda la laguna.....	79
4.3.14 Potencia unitaria de aireación.....	79
4.3.15 Cálculo del caudal de aire que sale por el difusor	79
4.3.16 Requisitos de energía para sistemas de difusión de aire comprimido	82
4.3.17 Cálculo de la capacidad de los paneles.....	83
4.3.18 Cálculo del tamaño de la batería	85
4.3.19 Cálculo de empuje del flotador.....	86
4.3.20 Selección del rodamiento para el ancla	87
4.3.21 Selección del relé, presostato y control de carga.....	87
V. RESULTADOS	88
5.1 VALORACIÓN ECONÓMICA	96
5.2 VALORACIÓN AMBIENTAL	97
VI. DISCUSIÓN.....	98
VII. CONCLUSIONES	104
VIII. RECOMENDACIONES	105
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	106
X. ANEXOS	109
ANEXO 1. ÍNDICE DE FIGURAS	109
ANEXO 2. ÍNDICE DE TABLAS.....	111
ANEXO 3. ABREVIATURAS	113
ANEXO 4. GUÍA DE INSTALACIÓN, MANEJO Y MANTENIMIENTO.....	116
ANEXO 5. PRIMER ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA	125
ANEXO 6. PRIMER ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA	126
ANEXO 7. PRIMER ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA.....	127
ANEXO 8. PRIMER ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA TRATADA	128
ANEXO 9. SEGUNDO ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA.....	129
ANEXO 10. SEGUNDO ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA.....	130
ANEXO 11. SEGUNDO ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA	131

ANEXO 12. SEGUNDO ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA TRATADA	132
ANEXO 13. RECOPIACIÓN DE PARÁMETROS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN ANÁLISIS DEL AGUA	133
ANEXO 14. NIVELES DE EFLUENTES PARA LA ACUICULTURA	134
ANEXO 15. RODAMIENTOS RADIALES RÍGIDOS EN 1HILERA DE BOLAS	135
ANEXO 16. PLANOS	136
ANEXO 17. PROYECTO DE TESIS	137

I. RESUMEN

El presente trabajo de tesis se centró en el diseño y construcción de un sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar para la Laguna Daniel Álvarez de la Ciudad de Loja. Para el diseño de la tesis se utilizó una metodología bien estructurada, tomando como punto de partida el modelo matemático desarrollado por Eckenfelder Jr y O'Connor, además de diversa bibliografía que nos permitió el cálculo del panel, de la batería, del controlador de carga, y la selección de los relés, el presostato y la electroválvula. En base al diseño de la tesis se construyó el aireador de agua mediante difusión de burbujas con abastecimiento de energía a partir de un sistema fotovoltaico.

Se realizaron dos análisis del agua cruda y tratada de la laguna Daniel Álvarez, ambos análisis se los realizó en la UMAPAL, a partir de lo cual se obtuvo resultados de los parámetros tanto físicos-químicos como microbiológicos del agua cruda y tratada.

Se determinó en el primer análisis físico – químico, que en el agua tratada hubo un aumento del nivel de pH en un 5%, de la turbiedad en un 12%, de los sólidos suspendidos en un 15% y los sulfuros en un 64%, y hubo una reducción en el color en un 7%, en la alcalinidad total en un 45%, del DQO en un 31%, de la conductividad eléctrica en un 33%, de los cloruros en un 63% y de los sulfatos en un 100%, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

En el segundo análisis físico – químico, se mantienen la misma tendencia que en el primero, en el agua tratada hubo un aumento del nivel de pH en un 6% y de los sulfuros en un 38%, y hubo una reducción de la turbiedad en un 9%, del color en un 36%, de alcalinidad total en un 55%, los sólidos suspendidos en un 28%, DQO en un 58%, la conductividad eléctrica en un 14%, los cloruros en un 75%, los sulfatos en un 100%, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

Fundamentándonos en estos análisis, se pudo comprobar que el agua de la laguna está contaminada con una gran cantidad de sustancias y microorganismos dañinos, y que el proceso de aireación realizado a través del sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar que se construyó, permite la reducción no en su totalidad pero sí en un alto porcentaje de los niveles de contaminantes físicos-químicos entre un 9 a 60 % y microbiológicos entre un 22 a 93 %.

1.1 SUMMARY

The present thesis work was centered in the design and construction of a system prototype for oxygenation of the water by means of solar energy for the Lagoon Daniel Álvarez of the City of Loja.

For the design of the thesis a well structured methodology was used, taking as starting point the mathematical pattern developed by Eckenfelder Jr and O'Connor, besides diverse bibliography that allowed us the calculation of the panel, of the battery, of the load controller, and the selection of the relays, the pressure switch and the electro valve. Based on the design of the thesis the aerator of water was built by means of diffusion of bubbles with energy supply starting from a photovoltaic system.

They were carried out two analysis of the raw and treated water of the lagoon Daniel Álvarez, both analyses were carried out them in the UMAPAL, starting from that which was obtained results of the parameters so much physical-chemical as microbiological of the raw and treated water.

It was determined in the first physical analysis - chemical that there was an increase of the level of pH in 5% in the treated water, of the turbidity in 12%, of the solids suspended in 15% and the sulphides in 64%, and there was a reduction in the color in 7%, in the total alkalinity in 45%, of the DQO in 31%, of the electric conductivity in 33%, of the chlorides in 63% and of the sulfates in 100%, all these data in connection with the obtained values of the raw water.

A second analysis of the water of the lagoon the one was made which was oxygenated by the aerator of water by means of diffusion of bubbles that you builds, the sample of this analysis was of about 8000 ml and I am carried out it in the UMAPAL, starting from that which was obtained results of the physical so much analyses - chemical as microbiological of the raw and treated water.

Basing us in these analyses, it could be proven that the water of the lagoon is polluted with a great quantity of substances and harmful microorganisms, and that the aeration process carried out through the system prototype for oxygenation of the water by means of solar energy that was built, not allows the reduction in its entirety but yes in a high percentage of the levels of physical-chemical pollutants among a 9 to 60% and microbiological among a 22 to 93%.

II. INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los problemas que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de contaminantes que se desechan en el agua, siendo el agua un compuesto vital que está escaseando debido a la contaminación de las fuentes. A pesar de que un 70% de la superficie de la tierra es agua, la mayor parte de ella es salina, sólo aproximadamente un 3% de toda el agua del mundo es agua dulce. Además, la mayor parte de esta agua dulce no se encuentra generalmente disponible, aproximadamente unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se encuentra inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible.

Debido a esta baja cantidad de agua, ha surgido la necesidad de tratar las aguas residuales. Para que esto se lograra se recurre a muchos métodos de los cuales los más utilizados son los que involucran microorganismos debido a que son económicos, eficientes y no generan subproductos contaminantes.

A principios de los 70, se empezaron a hacer instalaciones de lagunas aireadas, con la finalidad de encontrar un sistema más fiable y efectivo que los sistemas de lagunas naturales para el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Uno de los problemas que motivó esa búsqueda incesante de nuevas tecnologías fue el componente de los vertidos industriales de las aguas residuales que aumentaba sin cesar, coincidiendo con los ciclos económicos de expansión, la industria crecía y los municipios cercanos también, eso motivó que los vertidos a las depuradoras cada vez estaban acompañados de nuevos compuestos menos tolerantes con el medio ambiente y por tanto más contaminados.

Dada la importancia del tratamiento del agua residual, surge la necesidad de realizar estudios que sean de ayuda para mejorar este proceso. Muchos tratamientos biológicos se realizan en condiciones aeróbicas, en las cuales los microorganismos utilizan el oxígeno para degradar la materia orgánica, surgiendo la necesidad de suplir esta demanda de oxígeno por medio de aireadores.

Para lugares en donde no cuentan con un medio técnico para la oxigenación de agua como son lagos, lagunas, etc., la utilización de energías alternativas en nuestro caso la energía solar es de gran ayuda, para aquellos que se dediquen al cultivo de peces o para parques

turísticos que cuenten con lagunas que requieren de un aireador para la oxigenación del agua la misma que puede ser a través de un sistema fotovoltaico.

El propósito del presente trabajo es el diseño y construcción de un sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar para la Laguna Daniel Álvarez de la Ciudad de Loja, la realización de este proyecto nos permite desarrollar los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera de Ingeniería Electromecánica y contrastar la teoría con la práctica. Además se evita la contaminación del medio ambiente por tratarse de una energía totalmente limpia y 100% renovable, tiene un bajo costo de operación y la garantía que el sistema funciona a largo plazo.

Los objetivos que se plantearon para lograr la consecución de la presente tesis con éxito fueron:

- Sistematizar la información técnica y bibliográfica necesaria para elaborar una propuesta metodológica que permita la realización de este proyecto.
- Diseñar mediante una metodología confiable, el sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar empleada a un aireador.
- Construir un sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar.
- Realizar pruebas experimentales para demostrar la validez, confiabilidad y seguridad del equipo.
- Socializar los resultados de la investigación

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 AIREACIÓN

La transferencia de gas o aireación es un fenómeno físico, en el cual las moléculas del gas se intercambian entre el líquido y el gas a través de la inter fase existente entre esos elementos. Este cambio resulta del aumento de la concentración del gas o de los gases en la fase líquida hasta la saturación del líquido sobre determinadas condiciones de presión, temperatura, etc. Podrá también ocurrir lo contrario, es decir, un decrecimiento cuando la fase líquida está súper saturada.

La transferencia de oxígeno en la masa líquida tiene la principal finalidad de abastecer una cantidad necesaria y suficiente para que haya una autodepuración de las aguas residuales por medio de la oxidación biológica de la materia orgánica.

El oxígeno se puede transferir al líquido de las siguientes maneras:

- De las burbujas hacia el agua
- De la atmósfera hacia las gotas de agua
- De la atmósfera hacia el agua mediante una interfase, cuyo movimiento puede variar de laminar a turbulento

En el proceso de transferencia de oxígeno al agua, es muy importante observar que:

- La mezcla es esencial para optimizar la transferencia de oxígeno.
- Los dispositivos de aireación tienen un potencial para transferir la masa de oxígeno cuya eficiencia depende de la aplicación del dispositivo correcto.
- Los parámetros utilizados para asegurar la transferencia de oxígeno deben ser compatibles con el sistema de estudio.
- La demanda bioquímica de oxígeno o (DBO) removida no es una medida de oxígeno transferido.

3.1.1 Clasificación de los sistemas de aireación

3.1.1.1 Aireadores Mecánicos

La aireación mecánica, se consigue utilizando la energía mecánica para provocar la ruptura del agua en gotas, el aumento de la transferencia del oxígeno se logra por incremento en el área de la inter fase aire - agua. Estos pueden ser: de eje vertical y horizontal.

En el de eje vertical, la transferencia del oxígeno se logra por la exposición de gotas de agua a la atmósfera, por turbulencia del agua y por arrastre de aire. En el de eje horizontal la transferencia de oxígeno es por turbulencia superficial, por arrastre de aire y por bombeo horizontal. Estos pueden ser eléctricos o a combustión, y también los hay híbridos, ejemplo la bombas pulverizadoras y los aireadores de turbina. (Galli Merino & Sal Facundo, 2007)

3.1.1.2 Bombas Verticales

Consiste en un motor eléctrico sumergible, con un impulsador adherido a su eje, su potencia va de 1 KW a 100 KW, pero en acuicultura raramente más grande que 3 KW. Un ejemplo de esto es la bomba aspersora Crisafulli movido con motor de tractor que se muestra en la (Fig.1).

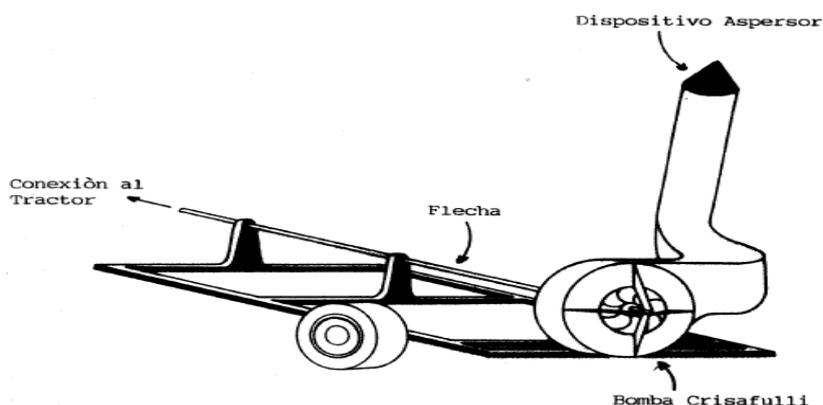


Fig. 1 Bomba aspersora Crisafulli movido con motor de tractor

3.1.1.3 Bomba Pulverizadora

Consiste de una bomba de alta presión que descarga agua por una serie de orificios o ranuras (diferentes formas) (Fig. 2) en una pipa múltiple, la potencia va de 7.5 a 15 KW.

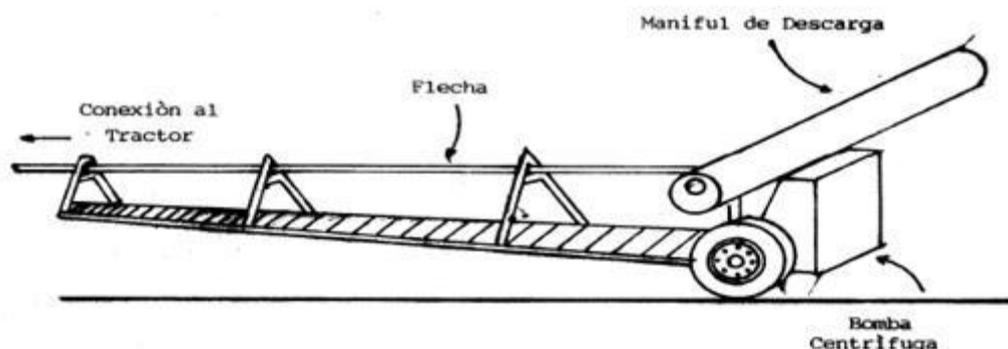


Fig. 2 Aireador tipo bomba centrífuga

3.1.1.4 Aireación por aire difuso

El proceso de transferencia de oxígeno por aire difuso se lleva a cabo mediante aspersores especiales, discos cerámicos porosos que reciben aire inyectado por medio de tuberías a presión, asentadas en el fondo de las lagunas aireadas mecánicamente (Fig. 3 a y b). Los aireadores por aire difuso se usan en grandes plantas de tratamiento de aguas residuales que utilizan el proceso de lodos activados. (Rolim Mendoça, 1999)

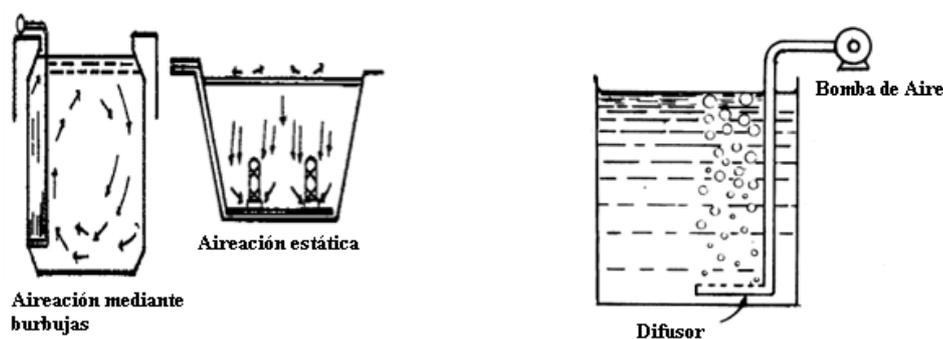


Fig. 3 a Aireación estática y por burbujas **Fig. 3 b** Aireación por aire difuso

3.1.1.5 Aireadores Difusores - Hélices

Se basan en el efecto Venturi, estos aireadores consisten en un eje hueco que rota por acción de un motor eléctrico. Un difusor y una hélice están localizados al final del eje, sumergidos en el agua. Esta unidad flota de manera tal que parte de ella está fuera del agua donde contiene un hoyo por el cual entra el aire, este pasa a través del difusor y entra al agua en forma de finas burbujas (Fig.4). La potencia de estos va de 0.37 a 11 KW. Los investigadores Boyd y Martinson indican que el ángulo de inclinación que produce un máximo de intercambio de oxígeno es 30 grados.

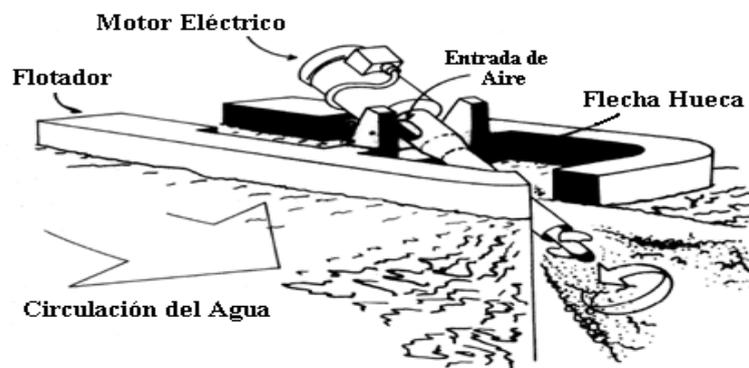


Fig. 4 Aireador difusor – hélice “venturi”

3.1.1.6 Aireadores de Paleta

Este consiste en un eje rotatorio propulsado por un motor eléctrico con una serie de paletas (Fig. 5), de cierta forma aparatosos, bajo poder de oxigenación, potencia 1.5 KW. Hay una variante que utiliza la toma de fuerza de motores a combustión.



Fig. 5 Aireador de paletas flotante con motor eléctrico

3.1.1.7 Aireadores de Turbina

Existen turbinas lentas con reductor de velocidad y turbinas rápidas con toma directa del motor.

3.1.1.7.1.1 Turbinas lentas

El aireador de turbina lenta (Fig. 6), se caracterizan por la presencia de un reductor entre el motor (1500 rpm) y la turbina (400 a 700 rpm), es interesante para la acuicultura por su eficacia, y la posibilidad de colocarlas en los tanques de cultivo sin necesidad de protecciones para los peces.

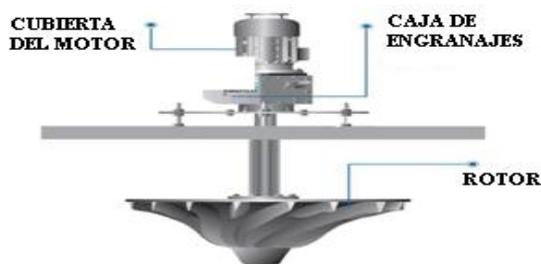


Fig. 6 Aireador de turbina lenta

3.1.1.7.1.2 Turbinas rápidas

Tienen toma directa del motor y están provistas de una hélice que bombea y proyecta el agua (Fig. 7). Las hay disponibles en el mercado mundial, desde 47 a 103 KWh/Kg de

oxígeno lo que las hace muy potentes para tanques poco profundos. Presentan el inconveniente de tener que aislar la hélice de los peces, con lo que el motor debe ser reversible para limpiar la rejilla de protección.

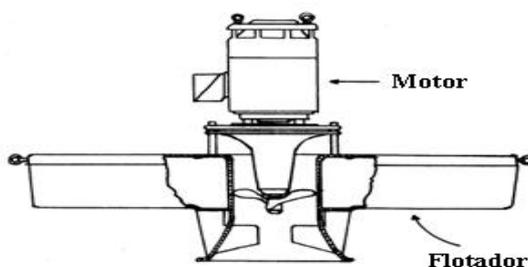


Fig. 7 Aireador de superficie de alta velocidad

3.1.1.8 Tubo en U

Consta de un tubo en forma de U (Fig.8), en el cual el agua viaja hacia abajo por uno de los extremos del tubo y hacia arriba y afuera por el otro. Se inyecta aire al agua a través de un difusor.

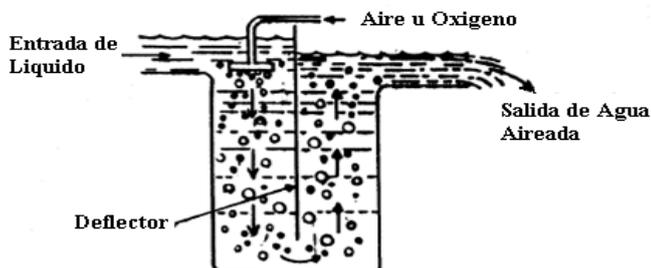


Fig. 8 Aireador difusor tipo tubo en U

3.1.1.9 Conos de aireación

Consiste en un cono invertido sumergido en agua (Fig. 9), donde el agua con aire inyectado a través de un difusor, es bombeada hacia abajo.

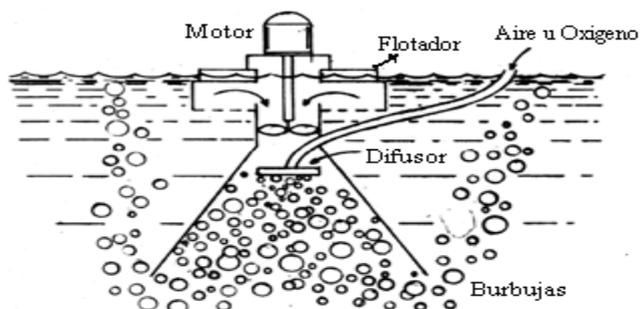


Fig. 9 Aireador de flujo descendente con inyección de aire

3.1.1.10 Aireadores por Gravedad

Los aireadores por gravedad utilizan la energía liberada cuando el agua pierde altitud al aumentar el área superficial aire-agua, por lo tanto se incrementa la concentración de oxígeno del agua. Estos son ampliamente usados en acuicultura, debido a que son de fácil diseño y económicos. Comúnmente se los denomina aireadores de cascada o cataratas.

Según su diseño se los puede clasificar como: aireadores de represas en cascada, sencillos de caída libre, de rueda con paleta (Fig.10).

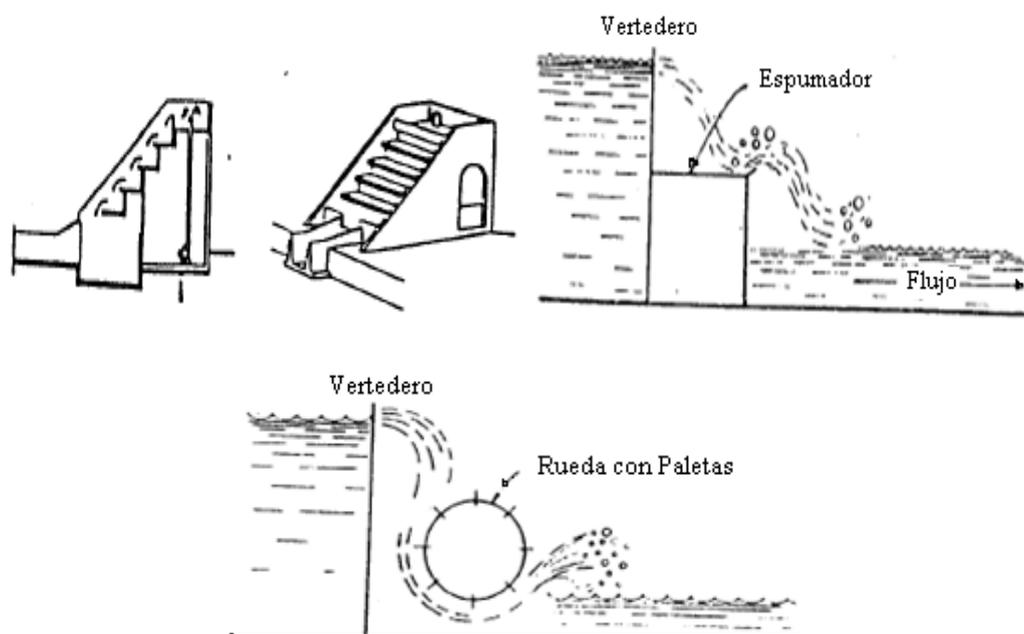


Fig. 10 Aireador de represas en cascada, sencillo de caída libre y de rueda con paleta

3.2 SISTEMA DE AIREACIÓN

3.2.1 Generalidades

Los requerimientos de oxígeno en sistemas biológicos son el resultado de tres demandas principales.

- Demanda Bioquímica de oxígeno DBO carbonácea
- Demanda Bioquímica de oxígeno DBO nitrogenada
- Demanda Bioquímica de oxígeno DBO inorgánica

El diseñador debe estimar no solo la demanda de oxígeno total causada por estas fuentes sino también las variaciones temporales y especiales de las demandas en el sistema de

reactores a ser aireados. En especial deben calcularse las demandas máximas que se generan por los cambios de caudal y concentración en la planta. El diseñador debe seleccionar el tipo de aireador que necesite de acuerdo a las características propias de su diseño (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de aireadores

DIFUSORES POROSOS	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS RECOMENDADAS
Difusores de placa	Cuadrados. Lado = 30 cm, Espesor = 2.5 a 3.8 cm
Difusores con forma de domo	Diámetro = 18 cm, Altura = 3.8 cm, Espesor del medio = 15 cm (bordes) y 19 cm (parte superior)
Difusores con forma de disco	Diámetro = 18 – 24 cm, Espesor = 13 a 19 mm
Difusores de tubo	Longitud del medio poroso = 50 a 60 cm, Diámetro externo = 6.4 a 7.6 cm
DIFUSORES NO POROSOS	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS RECOMENDADAS
Tubería perforada	Diámetro del orificio = 0.3 – 0.8 cm
Burbujeadores	
Difusores con válvula en el orificio	
Aireadores de tubo estático	
Mangueras perforadas	
Aireación por chorro	
Mecanismos aspiradores	
Aireación con tubo U	

Fuente: (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.2.2 Determinación de los requerimientos de oxígeno

Para determinar la capacidad de oxigenación del proceso deberán tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

- La cantidad de oxígeno del proceso deberá calcularse para las condiciones de operación del mes más caliente y deberá ser suficiente para abastecer oxígeno a la síntesis de la materia orgánica (remoción de DBO), para la respiración endógena y para la nitrificación. En casos en los cuales se produce desnitrificación (diseño especial en zanjas de oxidación), se descontará el aporte de oxígeno por este concepto.

Para sistemas de aireación mecánica deberán observarse las disposiciones siguientes:

- La capacidad instalada de energía para aireación se deberá determinar relacionando los requisitos de oxígeno del proceso (KgO_2/KWh) al rendimiento del aireador seleccionado (KgO_2/KWh) ambos en condiciones estándar, con la respectiva corrección por eficiencia en el motor y reductor de velocidad, el número de motores deberá ser par y de igual tamaño, con una capacidad igual a la de fabricación estándar.

- Debe asegurarse que el rendimiento de los aireadores haya sido determinado en un tanque con agua limpia y una densidad de energía entre 30 y 50 W/m³. Los rendimientos normalmente estarán expresados en KgO₂/KWh y las siguientes condiciones: nivel del mar, 0% de saturación y temperatura de 20° C.
- La capacidad instalada al eje, deberá ser la indicada anteriormente, pero sin las eficiencias del motor y el reductor de velocidad.
- La densidad de energía (W/m³) se determinará relacionando la capacidad instalada al eje con el volumen de cada tanque de aireación. (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.2.3 Transferencias típicas de oxígeno en aireadores

En la Tabla 2 aparecen las tasas de transferencia típicas de oxígeno recomendadas.

Tabla 2. Rangos típicos de transferencia de oxígeno

TIPO AIREADOR	ESTÁNDAR	CAMPO
Aireadores Mecánicos	Kg O ₂ /KW h	Kg O ₂ /KW h
Centrifuga Superficial (baja velocidad)	1.2 – 3.0	0.7 – 1.4
Centrifuga Superficial con tubo succionador	1.2 – 2.8	0.7 – 1.3
Axial superficial (Alta velocidad)	1.2 – 2.2	0.7 – 1.2
Turbina abierta con succión hacia abajo	1.2 – 2.4	0.6 – 1.2
Turbina cerrada con succión hacia abajo	1.2 – 2.4	0.7 – 1.3
Turbina sumergida con tubo burbujeador	1.2 – 2.0	0.7 – 1.1
Impeler superficial	1.2 – 2.4	0.7 – 1.1
Cepillo superficial y pala	0.9 – 2.2	0.5 – 1.1
Difusores de aire	lit/segundo	Pérdidas en cm
Domo de cerámica	0.24 – 1.2	15 – 63
Disco de cerámica (22 cm de diámetro)	0.3 – 1.4	13—48
Tubo de medio poroso	1 – 2.8	
Tubo con funda flexible	1 – 2.8	
Funda flexible tipo disco I (22 cm de diámetro)	1 – 2.8	23 – 58
Funda flexible tipo disco II (23 cm de diámetro)	1 – 2.8	
Funda flexible tipo disco III (74 cm de diámetro)	1 – 1.94	23 – 61
Burbujeador	3.8 – 5.6	15 – 23
Tubo perforado	3-7 – 11.3	7.6 – 33
Orificio con válvula	2.8 – 5.6	13 – 30

Fuente: (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.2.4 Operación y mantenimiento

La operación efectiva de un equipo de aireación puede minimizar el consumo de energía y maximizar el rendimiento. La operación y mantenimiento debe enfocarse en:

- a. El control de la concentración de oxígeno en el líquido que va a airearse.
- b. Suministro de por lo menos la mínima intensidad de mezclado requerida.

c. Inspección y servicio del equipo de aireación para garantizar una operación ininterrumpida.

3.3 LAGUNAS AIREADAS

Las lagunas aireadas serán empleadas como primera unidad de un sistema de tratamiento, en casos donde la disponibilidad de terreno es limitada, o para el tratamiento de residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales.

3.3.1 Tipos de lagunas aireadas

Se distinguen los siguientes tipos de lagunas:

3.3.1.1 Lagunas aireadas de mezcla completa

Mantienen la biomasa en suspensión, con una alta densidad de energía instalada ($> 15 \text{ W/m}^3$) recomendado en la mayoría de los autores como el requerido para mantener todos los sólidos en suspensión, el nivel de potencia NP mínimo para mantener los sólidos en suspensión está comprendido entre 2,8 y $3,9 \text{ W/m}^3$. Se consideran como un proceso incipiente de lodos activados sin separación y recirculación de lodos y sin evidente presencia de algas, tanto el oxígeno disuelto como los sólidos suspendidos están uniformemente distribuidos en todo el volumen del estanque o laguna. Para estas unidades se deberán usar aireadores de baja velocidad de rotación. (Marrero & Gutiérrez, 2005)

3.3.1.2 Lagunas aireadas facultativas

Mantienen la biomasa en suspensión parcial con una densidad de energía instalada menor que las anteriores. El nivel de potencia NP de $0,75 \text{ W/m}^3$, es considerado como el mínimo permisible, es suficiente para mantener alrededor de 50 mg/lit de sólidos suspendidos, se recomienda 2 W/m^3 . Este tipo de laguna presenta signos de acumulación de lodos, observándose frecuentemente la aparición de burbujas de gas de gran tamaño en la superficie, por efecto de la digestión de lodos en el fondo. En climas cálidos y con buena insolación se observa un apreciable crecimiento de algas en la superficie de la laguna. El oxígeno disuelto es el suficiente para satisfacer su demanda, pero sólo una fracción de los sólidos suspendidos se mantiene en suspensión. (Marrero & Gutiérrez, 2005)

3.3.1.3 Laguna facultativa con agitación mecánica

Se aplicarán exclusivamente a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos. Tienen una baja densidad de energía instalada (del orden de 0.1 W/m^3) la que sirve

para vencer los efectos adversos de la estratificación térmica, en ausencia del viento. Las condiciones de diseño en esta laguna son las de lagunas facultativas.

3.3.1.4 Lagunas de oxidación aireadas

Se emplean generalmente en climas variables, la fuente de oxígeno es principalmente la fotosíntesis y en invierno se complementa con aireación por difusión de aire comprimido en el fondo. Las condiciones de diseño de estas unidades serán las de lagunas facultativas con una profundidad reducida entre 1.0 a 1.5 m y una carga orgánica baja. (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.4 MECANISMOS DE DISOLUCIÓN DE OXÍGENO

La transferencia del O₂ del aire (20.946 % en la atmósfera) con el agua está en un equilibrio con el oxígeno atmosférico.

Cuando el agua se encuentra insaturada de oxígeno OD, el oxígeno atmosférico se trasfiere al agua y a la inversa si el agua se encuentra sobresaturada de OD.

La solubilidad del oxígeno en agua a 15 °C es de 47 ppm (suponiendo una atmósfera de oxígeno). Las concentraciones obtenidas en los tanques, por ejemplo, son bastantes más bajas generalmente entre 3 a 12 ppm. (Barnabé, 1991)

Hay una serie de obstáculos para lograr la disolución del oxígeno en el agua que se deben evitar mediante medios mecánicos:

- El enriquecimiento del aire con oxígeno aumenta las posibilidades de disolución de este.
- Un líquido el agua, y un gas el oxígeno, en contacto, están separados por una película o inter fase de naturaleza particular que se opone al paso de los constituyentes de una fase a otra. Como consecuencia la agitación del gas y/o el líquido aumentan las posibilidades de disolución.
- Cuanto menos tiempo están en contacto el aire y el agua menos se oxigena está. Como consecuencia, a mayor tiempo de permanencia de la fase gaseosa (burbujas) en el seno de la fase líquida, mayor será la disolución.
- Para un volumen dado de agua, cuanto mayor sea la inter fase líquido-gaseosa mayor será la disolución del oxígeno.
- Comprimiendo el aire, el agua aumenta el poder de disolución de todos los gases, representa una ventaja para el oxígeno, pero un inconveniente en el nitrógeno.

3.4.1 Método de aireación extendida en plantas paquete

El oxígeno es transferido a la corriente de desechos mediante difusión de aire, turbinas de agitación (*sparged turbina*), o dispositivos de atrape superficial. Cuando se utilizan sistemas de difusión de aire, los sopladores de baja presión o compresores fuerzan el aire a través de difusores ubicados en el fondo del tanque. La turbina de agitación usa una fuente de aire difuso y una mezcla externa, usualmente a partir de turbina sumergida de paletas planas. Una variedad de dispositivos de atrape superficial se usan en las plantas paquete para airear y mezclar el agua residual, el aire es atrapado y luego circulado por el licor mezclado por agitación violenta debida a la mezcla o al bombeo. La eficiencia de transferencia de oxígeno de estas pequeñas plantas paquete es normalmente reducida (3.4 a 16.9 Kg O₂/MJ, o 0.2 a 1.0 libras O₂/HP/hora) en comparación con los sistemas a gran escala que pueden transferir valores iguales o mayores a 50.7 KgO₂/MJ (3 libras O₂/HP/hora), esta diferencia se debe principalmente a la alta demanda de energía de las unidades pequeñas. El mezclado del tanque de aireación es también una consideración importante en el diseño de los dispositivos de transferencia de oxígeno. El criterio general para los requisitos de mezcla en los tanques de aireación es de 0.465 a 0.931 KW/m³ (0.5 a 1 HP/1,000 pies cúbicos) dependiendo de la geometría del reactor, y el tipo de aireación o la configuración del sistema de aireación. (Environmental Protection Agency, 2000)

3.4.2 Conceptos de algunos parámetros de control

Para interpretar y aplicar las fórmulas que vendrán a continuación se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

3.4.2.1 Absorción

Concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

3.4.2.2 Acidez

Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato de calcio.

3.4.2.3 Adsorción

Transferencia de una masa gaseosa, líquida o de material disuelto a la superficie de un sólido.

3.4.2.4 Afluente

Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

S_o : Concentración de materia biodegradable en el afluente o demanda química de oxígeno (DQO).

3.4.2.5 Aguas crudas

Aguas residuales que no han sido tratadas.

3.4.2.6 Aguas residuales municipales

Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

3.4.2.7 Aguas residuales

Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria. La (Tabla 3) indica la composición típica de aguas residuales.

Tabla 3. Composición típica de las aguas residuales sin tratar

CONSTITUYENTE	CONCENTRACIÓN mg/lit *		
	FUERTE	MEDIA	DÉBIL
Sólidos totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentales ml/lit	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C (DBO ₅)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P):	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (Ca CO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

* A menos que se especifique otra unidad

Fuente: (Sanz, 2000)

3.4.2.8 Aguas servidas

Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lava platos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

3.4.2.9 Aireación

Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

3.4.2.10 Alcalinidad

La alcalinidad de muchas aguas superficiales depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. La determinación de la alcalinidad se utiliza en el control de los procesos de tratamiento de aguas, la alcalinidad del agua es la medida de su capacidad de neutralizar ácidos, también se utiliza el término capacidad de neutralización de ácidos (CNA).

La alcalinidad de las aguas naturales se debe primariamente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también pueden contribuir, en el medio acuoso su presencia cuantitativa nos indica vertimientos de textiles, curtiembre.

La medición de la alcalinidad, sirve para fijar los parámetros del tratamiento químico del agua, así como ayudarnos al control de la corrosión y la incrustación en los sistemas que utilizan agua como materia prima o en su proceso. Es un indicador de la calidad general del agua, si bien no existen riesgos de salud por alcalinidad, se supervisa para controlar el proceso de tratamiento. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

3.4.2.11 Ambiente aerobio

Proceso que requiere la presencia de oxígeno.

3.4.2.12 Ambiente anaerobio

Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

3.4.2.13 Análisis

Examen del agua, agua residual o lodos, efectuados por un laboratorio.

3.4.2.14 Bacteria

Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y des nitrificación.

3.4.2.15 Biodegradación

Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

3.4.2.16 Carga de diseño

Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (m/t).

3.4.2.17 Carga Másica

La tasa másica de carga o (TMC) que se indica en la (Tabla 4), debe calcularse dividiendo la tasa de sólidos totales aplicados, (Kg/día), entre el área superficial del tanque. Se deben usar los siguientes valores de TMC, para condiciones de caudal promedio y pico:

Tabla 4. Tasas de carga másica

TIPO DE TRATAMIENTO	CARGA MÁSCICA (Kg /m ² día)	
	CAUDAL PROMEDIO	CAUDAL PICO
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (incluyendo aireación extendida)	98 – 147	245
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	123 – 172	245
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	25 – 123	168
Sedimentación seguida por filtros percoladores	72 – 123	192
Sedimentación seguida por biodiscos		
Efluente secundario	100 - 144	245
Efluente nitrificado	72 – 123	192

Fuente: (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.4.2.18 Carga superficial

Caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento (m³/m² día), Kg DBO/(ha día).

3.4.2.19 Caudal medio

- Caudal medio anual de la laguna:

$$Q_{med} = \frac{V_{laguna}}{t} \quad (1)$$

t: Tiempo de retención hidráulico

- Volumen de la laguna:

$$V_{laguna} = \text{área} * Profundidad_{promed} \quad (2)$$

Profundidad_{promed}: Profundidad promedio de la laguna

- Volumen de agua que puede airear la máquina:

$$V_{airea\ máqui} = \frac{V_{laguna}}{\frac{O_2\ total}{m^o}} \quad (3)$$

$O_2\ total$: Oxígeno requerido por toda la laguna

m^o : Caudal másico producido por los tres compresores de corriente continua

- Caudal medio anual del volumen de agua que puede airear la máquina:

$$Q_{med\ 2} = \frac{V_{airea\ máqui}}{t} \quad (4)$$

3.4.2.20 Cloración

Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

3.4.2.21 Cloruros

La concentración de cloruros es una medida específica de la salinidad de las descargas de la industria petrolera. Los cloruros son los principales componentes de las salmueras de petróleo. El incremento de cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua, e impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado y puede matar a la vegetación circundante.

Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

3.4.2.22 Color

Las aguas superficiales pueden parecer altamente coloreadas debido a la presencia de materia pigmentada en suspensión, cuando en realidad el agua no tiene color. El material colorante resulta del contacto con residuo orgánico como hojas, agujas de coníferas y madera, en diversos estados de descomposición, está formado por una considerable variedad de extractos vegetales.

El color causado por la materia en suspensión es llamado color aparente y es diferente al color debido a extractos vegetales u orgánicos, que son coloidales, al que se llama color real. En el análisis del agua es importante diferenciar entre el color aparente y el real, además no permite el paso de la luz para el desarrollo de la biodiversidad, y su presencia

indicaría ineficiencia en el tratamiento de aguas y de la integridad del sistema de distribución, y aporta información sobre las bacterias y micro algas existentes. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

3.4.2.23 Coliformes

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias Gram de forma alargada capaz de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37 °C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5 °C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

3.4.2.24 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) o Demanda de oxígeno

Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Puesto que una degradación completa de la materia orgánica supondría un período superior a las 3-4 semanas. (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

La Tabla 5 nos indica los coeficientes cinéticos típicos presentes en lagunas.

Tabla 5. Coeficientes cinéticos típicos en lagunas

Valores de parámetros cinéticos determinados para lagunas aireadas tratando aguas servidas domesticas							
AUTOR	Coefficiente de temperatura θ	K lit/mg/día (20°C)	K' = KXv día ⁻¹ (20°C)	Y Kg SSV por Kg DBO removida	b día ⁻¹	a' Kg O ₂ por Kg DBO removida	b día ⁻¹
Metcalf & Eddy	1.05 – 1.12		2 - 10	0.4-0.8	0.025-0.1	0.75	
McKinney	1.05 – 1.1	0.08		0.5	0.2		
Valencia	1.06			0.49-0.64	0.005	0.52	
Yáñez	1.1			0.35-0.65	0.08-0.14	0.4-1.4	
*CRWR	1.08	0.21	8	0.65	0.075	0.53	
Balasha	1.03-1.04	0.031	6.7	0.6	0.06	0.44	0.25
Arceivala	1.035	0.017-0.038		0.5-0.7	0.075-0.125	0.3-0.52	0.05-0.14
Benfield & Randall				0.5 0.67	0.056 0.05		
Alem & Muñoz		0.052		0.7	0.08		
Konzell-Katsiri				2.7-4.8			
Mena et al.		0.028-0.032-0.05	4-8 6-10	0.8-1.0 0.65	0.14-0.20 0.12		

* Center for Research in Water Resorces – Austin – Texas

Fuente: (Patri, 2004)

- Concentración intermedia de materia biodegradable DBO:

$$S_1 = \frac{k_d}{Yk} + \left(\frac{X_{v,a(2)} * S_e}{Y} \right)^{0.5} \quad (5)$$

Y : Coeficiente de producción de lodos

$X_{v,a(2)}$: Concentración de sólidos suspendidos volátiles

S_e : Concentración de materia biodegradable DBO en el efluente

- Corrección de la Tasa cte de remoción de substrato:

$$k = k_{20^{\circ}C} * \theta^{T-20} \quad (6)$$

θ : Coeficiente de temperatura

T : Temperatura en la superficie de la laguna

- Corrección de la Tasa cte de respiración endógena:

$$k_d = k_{d20^{\circ}C} * \theta^{T-20} \quad (7)$$

3.4.2.25 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. Los resultados de un ensayo de DQO se pueden obtener en un período de tiempo de aproximadamente 3 horas, frente a los 5 días de la DBO₅. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que tengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

Para explicar los valores altos de DQO, se debe verificar que no existan excesos de materias químicas oxidantes y en caso de no haber valores altos, se deberá al mal funcionamiento de las lagunas. (León, 1996)

S_o : Demanda química de oxígeno DQO

3.4.2.26 Descomposición anaerobia

Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

3.4.2.27 Desechos peligrosos

Desechos potencialmente dañinos para el ambiente, debido a su toxicidad, alta capacidad de combustión, corrosividad, reactividad química u otra propiedad nociva.

3.4.2.28 Desinfección

Dstrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

3.4.2.29 Digestión aerobia

Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

3.4.2.30 Digestión anaerobia

Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

3.4.2.31 Eficiencia de tratamiento

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente. Para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje, o también se lo puede calcular el rendimiento de un aireador en Kg de oxígeno sobre Kilovatios hora, la Tabla 6 nos indica algunos valores de eficiencia para diferentes tipos de aireadores.

Tabla 6. Valores típicos de eficiencia en diferentes equipos de aireación

TIPO DE EQUIPAMIENTO	EFICIENCIA (lbO ₂ /CVh)
Difusores de burbuja fina	2.3 – 2.5
Difusores de burbuja gruesa	1.3 – 2.0
Difusores de burbuja media	1.5 – 2.0
Aireadores superficiales (baja velocidad)	1.8 – 2.5
Aireadores superficiales (alta velocidad)	1.2
Aireadores de chorro	1.8 – 2.1
Turbinas sumergidas	1.3 – 2.1

Fuente: (JVillaseñor, 2006)

3.4.2.32 Efluente

Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

3.4.2.33 Laguna aerobia

Término a veces utilizado para significar “laguna de alta producción de biomasa”. Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

3.4.2.34 Laguna aireada

Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se supe el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido, la (Tabla 7) muestra rangos de profundidad para lagunas aireadas. Es una simplificación del

proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas: 1. Laguna aireada de mezcla completa, 2. Laguna aireada facultativa, 3. Laguna facultativa con agitación mecánica y 4. Laguna de oxidación aireada.

Tabla 7. Rangos de profundidad para laguna aireada

TIPO DE LAGUNA AIREADA	PROFUNDIDAD, m
Aireada de mezcla completa	3 – 5 (4.6 Para climas templados y fríos)
Aireada Facultativa	1.50 (Para climas cálidos)
Oxidación aireada	1 – 1.5 (promedio 1.2)

Fuente: (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

- Potencia total requerida para toda la laguna:

$$P_t \text{laguna} = \frac{O_2 \text{ total}}{24N} \times 10^{-3} \quad (8)$$

N : Tasa de transferencia de Oxígeno

- Potencia unitaria de aireación:

$$P_u = \frac{P_t \text{laguna}}{V_{\text{laguna}}} \times 10^3 \quad (9)$$

Tabla 8. Valores de la potencia unitaria para lagunas aireadas facultativas

POTENCIA UNITARIA (W/m ³)	REFERENCIA
≥ 1	Rich (1980)
0.8 – 1.1	Arceivala (1973)
≥ 0.75	Arceivala (1981)
≥ 0.79	Eckenfelder, Jr. (1980)
≥ 3	Metcalf y Eddy (1979)

Fuente: (Rolim Mendonça, 1999)

3.4.2.35 Laguna anaerobia

Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

3.4.2.36 Mortalidad de bacterias

Medida de descomposición de la población bacteriana. Normalmente se expresa por un coeficiente cinético de primer orden. Una elección para determinar la reducción bacteriana será considerando mezcla completa.

3.4.2.37 Muestra puntual

Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

3.4.2.38 Oxígeno disuelto

Concentración de oxígeno medida en un líquido por debajo de la saturación (Tabla 9 y 10), normalmente se expresa en mg/lit.

Tabla 9. Valores de nivel de saturación del Oxígeno C_{ss} (mg/lit)

°C	C_{ss} (mg/lit)	(1.025) ^(T-20)	°C	C_{ss} (mg/lit)	(1.025) ^(T-20)	°C	C_{ss} (mg/lit)	(1.025) ^(T-20)
0	14.62	0.611	17	9.74	0.929	34	7.20	1.412
1	14.23	0.625	18	9.54	0.952	35	7.10	1.440
2	13.84	0.642	19	9.35	0.976	36	7.00	1.485
3	13.48	0.658	20	9.17	1.000	37	6.90	1.520
4	13.13	0.674	21	8.99	1.025	38	6.80	1.560
5	12.80	0.691	22	8.83	1.051	39	6.70	1.600
6	12.48	0.708	23	8.68	1.077	40	6.60	1.640
7	12.17	0.726	24	8.53	1.104	41	6.50	1.680
8	11.87	0.744	25	8.38	1.132	42	6.40	1.720
9	11.59	0.762	26	8.22	1.150	43	6.30	1.765
10	11.23	0.782	27	8.07	1.189	44	6.20	1.810
11	11.08	0.801	28	7.92	1.218	45	6.10	1.855
12	10.83	0.821	29	7.77	1.249	46	6.00	1.900
13	10.50	0.842	30	7.63	1.280	47	5.90	1.950
14	10.37	0.852	31	7.50	1.312	48	5.80	2.000
15	10.15	0.884	32	7.40	1.345	49	5.70	2.050
16	9.95	0.905	33	7.30	1.379	50	5.60	2.100

Fuente: (Baptista, 2003)

Tabla 10. Valores típicos de varios coeficientes utilizados en la aireación de lagunas

α	Velocidad relativa de transferencia de oxígeno referida al agua limpia. Valores típicos están entre (0.68 y 0.94). Según Mara (1976), $\alpha = 0,7$ para las aguas residuales domésticas
β	Concentración relativa de saturación referida al agua limpia. Normalmente varía entre (0.8 y 1.0). Para aguas residuales urbanas típicas se puede adoptar un valor de 1.0
C_{St}	Valor de saturación del oxígeno en agua pura en condiciones estándares (9.08 mg/lit - 9,17 mg/lit).
C_{SW} ó C_{SS}	Valor de saturación del oxígeno a las condiciones de temperatura en la superficie de la laguna (Tabla. 9 y 10)
C_L	Concentración de oxígeno disuelto en lagunas. Según Arceivala (1973) y Mara (1976), (varía de 0,5 a 2,0 mg/lit)

Fuente: (JVillaseñor, 2006)

La corrección del valor de saturación de oxígeno en el agua pura C_{SW} , a una determinada temperatura, se debe hacer en función de la altitud del lugar, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C'_{SW} = C_{SW} \left(\frac{P_A - p}{760 - p} \right) \quad (10)$$

P_A = Presión barométrica según la altura del lugar (Loja) en mm Hg, (Tabla 21).

p = Presión de vapor de agua saturada a temperatura de las aguas residuales en mm Hg, (Tabla 11).

Tabla 11. Valores de saturación de oxígeno y presión de vapor del agua

Temperatura en °C	Concentración de cloruros en agua (mg/lit)			Diferencia por 100mg de cloruros	Temperatura en °C	Presión del vapor en (mm)
	0	5000	10000			
Oxígeno Disuelto en (mg/lit)						
0	14.6	13.8	13.0	0.017	0	5
1	14.2	13.4	12.6	0.015	1	5
2	13.8	13.1	12.3	0.015	2	5
3	13.5	12.7	12.0	0.014	3	6
4	13.1	12.4	11.7	0.014	4	6
5	12.8	12.1	11.4	0.014	5	7
6	12.5	11.8	11.1	0.013	6	7
7	12.2	11.5	10.9	0.013	7	8
8	11.9	11.2	10.6	0.012	8	8
9	11.6	11.0	10.4	0.012	9	9
10	11.3	10.7	10.1	0.011	10	9
11	11.1	10.5	9.7	0.011	11	10
12	10.8	10.3	9.7	0.011	12	11
13	10.6	10.1	9.5	0.010	13	11
14	10.4	9.9	9.3	0.010	14	12
15	10.2	9.7	9.1	0.010	15	13
16	10.0	9.5	9.0	0.010	16	14
17	9.7	9.3	8.8	0.009	17	15
18	9.5	9.1	8.6	0.009	18	16
19	9.4	8.9	8.5	0.009	19	17
20	9.2	8.7	8.3	0.009	20	18
21	9.0	8.6	8.1	0.008	21	19
22	8.8	8.4	8.0	0.008	22	20
23	8.7	8.3	7.9	0.008	23	21
24	8.5	8.1	7.7	0.008	24	22
25	8.4	8.0	7.6	0.008	25	24
26	8.2	7.8	7.4	0.008	26	25
27	8.1	7.7	7.3	0.008	27	27
28	7.9	7.5	7.1	0.008	28	28
29	7.8	7.4	7.0	0.008	29	30
30	7.6	7.3	6.9	0.008	30	32

Fuente: (Rolim Mendoza, 1999)

3.4.2.39 pH

Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, nos permite determinar el carácter ácido, neutro o básico del agua, en la escala 7 la sustancia es neutra, por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y por encima de 7 indican que es básica. El pH de las aguas urbanas suele estar entre 6,5 y 8,5 unidades de pH, estos rangos son apropiados para la subsistencia de muchos sistemas biológicos, valores mayores a 9.0 y menores de 5.8 producen limitaciones al desarrollo y a la fisiología de los organismos acuáticos, esto se puede apreciar mejor en la Fig.11.

La concentración de ión hidrogeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales como residuales. El agua residual con concentración de ión hidrógeno presenta elevadas dificultades de tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de ión hidrogeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

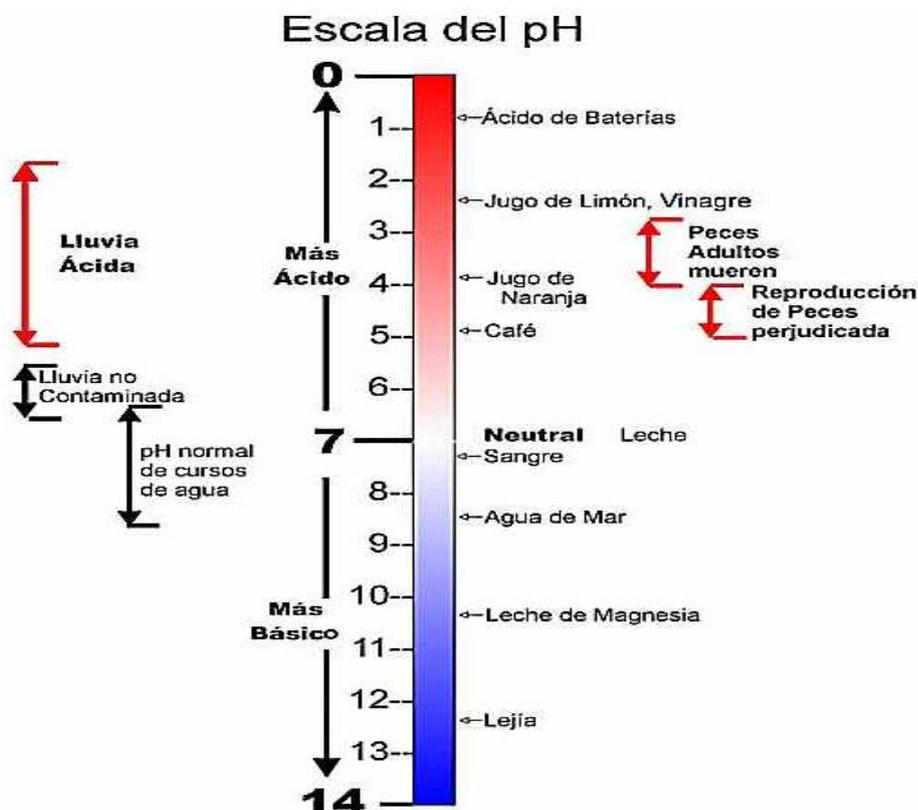


Fig. 11 Características del pH

3.4.2.40 Planta de tratamiento de agua residual

Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

3.4.2.41 Relación DQO/DBO₅

Expresa la biodegradabilidad de un agua residual. Para un efluente predominantemente doméstico, esta relación está generalmente comprendida entre 2 y 3. Para los efluentes de industrias alimentarias es inferior, del orden de 1,5 a 2 que indica una mejor biodegradabilidad. Una relación superior a 3 indica la existencia de un aporte industrial al efluente, más o menos biodegradable.

3.4.2.42 Requisitos de oxígeno

Cantidad de oxígeno requerida en la estabilización aerobia de la materia orgánica para reproducción o síntesis celular y metabolismo endógeno.

- Tasa de transferencia de Oxígeno N :

$$N = N_o \left[\alpha \left(\frac{\beta C_{SW} - C_L}{C_{St}} \right) * 1.02^{(T-20)} \right] \quad (11)$$

N_o : Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones estándares

T : Temperatura en la superficie de la laguna

Tabla 12. Tasa de transferencia de oxígeno para algunos de los tipos de aireadores

TIPO DE AIREADOR	No (Kg O ₂ (KW.h) ⁻¹)
Superficial (baja velocidad)	1.21 – 3.04
Superficial (alta velocidad)	1.21 – 2.19
Turbina	1.21 – 2.25
Rotor de cepillo y placas	0.91 – 2.19
Difusores de burbuja fina	1.80 – 3.20
Difusores de burbuja gruesa	0.90 – 1.50

Fuente: (Marrero & Gutiérrez, 2005)

- Oxígeno requerido por toda la laguna:

$$O_2 total = a(S_0 - S_1) * Q_{med} + b * X_{v,a(1)} * V_{laguna} \quad (12)$$

a : Fracción del sustrato removido para la producción de energía (Tabla 5)

b : Oxígeno necesario para la respiración endógena (Tabla 5)

$X_{v,a(1)}$: Concentración de sólidos suspendidos en la masa líquida

3.4.2.43 Sedimentación

Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad, la (Tabla 13) indica varios valores de sedimentación. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

Tabla 13. Valores de sedimentación a diferentes profundidades de agua

TIPO DE TRATAMIENTO	PROFUNDIDAD (m)
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida)	3.6 – 4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno	3.6 – 4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida	3.6 – 4.6
Sedimentación siguiendo un proceso de filtros percoladores	3.0 – 3.6
Sedimentación siguiendo un proceso de biodiscos	
Efluente Secundario	3.0 – 3.6
Efluente nitrificado	3.0 – 3.6

Fuente: (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.4.2.44 Sistema no confinado de inyección de gas

Sistema para la mezcla de lodos por medio de liberación de burbujas de gas que suben a la superficie y transportan y mueven el lodo.

3.4.2.45 Sistemas de agitación mecánica

Sistemas para mezclar el contenido de digestores por medio de turbinas.

3.4.2.46 Sólidos activos

Parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos.

3.4.2.47 Sólidos en suspensión (S.S.)

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles, la materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido. Los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles se emplean para evaluar la concentración de los residuos domésticos industriales.

Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional.

Los efectos que producen son aumento de la turbidez, dificultando la fotosíntesis y la visibilidad, respiración y movilidad de los animales. Modificación de las propiedades

físicas del agua, olor, sabor y color, incremento de la actividad bacteriana aeróbica (eutrofización), obstruyen los sistemas de filtración de organismos acuáticos, sobre la superficie de las partículas se pueden agregar contaminantes, favoreciendo su introducción y transporte en el medio. Cuando los sólidos en suspensión coagulan y forman flóculos, sedimentan en el fondo, perjudicando a los organismos que viven allí (larvas de insectos, huevos de peces).

3.4.2.48 Sólidos no sedimentables

Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

3.4.2.49 Sólidos sedimentables

Materia sólida que sedimenta en un período de 1 hora.

3.4.2.50 Sulfatos

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en las industrias químicas. Se descargan a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas estas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas.

Los sulfatos se aplican en: detergentes, es uno de las siete principales clases de constituyentes en detergentes polvo, vidrio, en teñidos se utilizan para diluir tinturas. El sulfato de aluminio, se emplea para eliminar impurezas solubles del agua, antes de utilizarse en el consumo humano, en la fabricación de papel. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

3.4.2.51 Sulfuros

Se encuentran en las aguas negras, aguas de industria química y papelera y refinerías de petróleo. La concentración de sulfuros da una idea del grado de septización. La presencia de sulfuros en agua indica acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.).

Podemos encontrar en la corteza terrestre a los sulfuros asociados con los metales. Los sulfuros naturales (producto de metales y semi - minerales) son la clase más importante en la metalurgia, pues en ella entran metales tan importantes como el hierro, estaño o manganeso, y otras menas como la galena o la esfalerita. Se trata de compuestos de diversos minerales combinados con el azufre.

El umbral de gusto y el olor que es de 100 – 300 mg/lit y en concentraciones de 200 mg/lit puede causar incrustaciones. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

3.4.2.52 Tiempo de retención hidráulica

Es la edad promedio del lodo en un sistema de biodegradación, usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

$$t = \frac{S_1 - S_e}{k * X_{v,a(2)} * S_e} \quad (13)$$

Los tiempos de retención hidráulica a usarse estarán en función de la temperatura del agua y de la eficiencia de remoción requerida, en las (Tablas 14, 15 y 16) se presentan valores típicos recomendados para diferentes casos.

Tabla 14. Rangos de tiempo de retención para lagunas aireadas

TIPO DE LAGUNA AIREADA	TIEMPO DE RETENCIÓN, DÍAS
Aireada de mezcla completa	2 - 7
Aireada Facultativa	7 – 20 (promedio 10 – 15)

Fuente: (Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

Tabla 15. Eficiencia de lagunas en función del período de retención para T mayores a 20 °C

PERÍODO DE RETENCIÓN, días	REDUCCIÓN DE DBO ₅ %
1.0	50
2.5	60
5.0	70

Fuente: (Instituto Nicaragüense, 2005)

Tabla 16. Relación entre la temperatura, período de retención y eficiencia en lagunas aerobias

TEMPERATURA °C	PERÍODO DE RETENCIÓN, días	REMOCIÓN DE DBO ₅ %
10 - 15	4 - 5	30 - 40
15 - 20	2 - 3	40 - 50
20 - 25	1 - 2	50 - 60
25 - 30	1 - 2	60 - 70

Fuente: (Instituto Nicaragüense, 2005)

3.4.2.53 Turbiedad

La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton, sedimentos procedentes de la erosión y microorganismos, el tamaño de estas partículas varía desde 0,1 a 1.000 nm (nanómetros) de diámetro.

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión, y si hay presencia de organismos que provocan enfermedades.

La materia suspendida en el agua absorbe la luz, haciendo que el agua tenga un aspecto nublado. Esto se llama turbidez. La turbidez se puede medir con varias diversas técnicas, esto demuestra la resistencia a la transmisión de la luz en el agua.

Elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias, microorganismos como virus, parásitos, estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarreas y dolores de cabeza. La unidad que se utiliza para medirla es la UNT (Unidades nefelométricas de Turbidez), las normas de Ecuador para aguas dulces los valores de concentración son 10 UNT, y los valores aceptables para las condiciones naturales del agua son 100 UNT. (Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)

3.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.5.1 Introducción

Las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente. Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles, como el carbón y productos derivados del petróleo.

Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta, sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica aún incipientes, la energía que recibimos del Sol es más que suficiente para cubrir toda la demanda energética del mundo. En realidad la energía que recibimos es 10000 veces el actual consumo de energía del mundo.

Si quisiéramos cubrir todo el consumo con energía solar, necesitaríamos un área de aproximadamente 25 millones de hectáreas que es lo mismo que 500 x 500 Km, casi la misma área que utilizamos para cultivar maní o semillas de algodón. Como referencia la actual producción de módulos fotovoltaicos está acercándose a los 100 Megavatios pico/día o más o menos 1 Km cuadrado al año. (PUCP, 2004)

3.5.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.

Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar.

3.5.2.1 Transformación de la energía solar

La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica, la transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica, la transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

3.5.2.2 Utilización de la energía solar fotovoltaica

Se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.

3.5.2.3 Equipos utilizados

Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico o (FV) y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

3.5.3 Componentes de un sistema fotovoltaico

Un sistema FV es el resultado de la integración de varios bloques funcionales, con el fin de suplir, diariamente la energía eléctrica requerida por la carga (consumo).

Esta definición es la misma que corresponde al servicio domiciliario de una usina generadora tradicional. La diferencia fundamental es que en un sistema FV el “combustible” es la energía solar. Por ahora es importante destacar dos conceptos que están implícitos en la definición:

- La carga eléctrica determina que bloques funcionales deben formar parte del sistema.
- Diariamente, el sistema deberá mantener un balance energético entre la cantidad generada y la consumida. Al analizar el diseño veremos que el costo del sistema se incrementa cuando el balance energético debe mantenerse durante períodos de insolación baja o nula. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

El sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

Los componentes típicos de un sistema fotovoltaico (Fig. 12) encargados de realizar las funciones respectivas son:

- El módulo o panel fotovoltaico
- La batería
- El regulador de carga
- El inversor
- Las cargas de aplicación (el consumo)

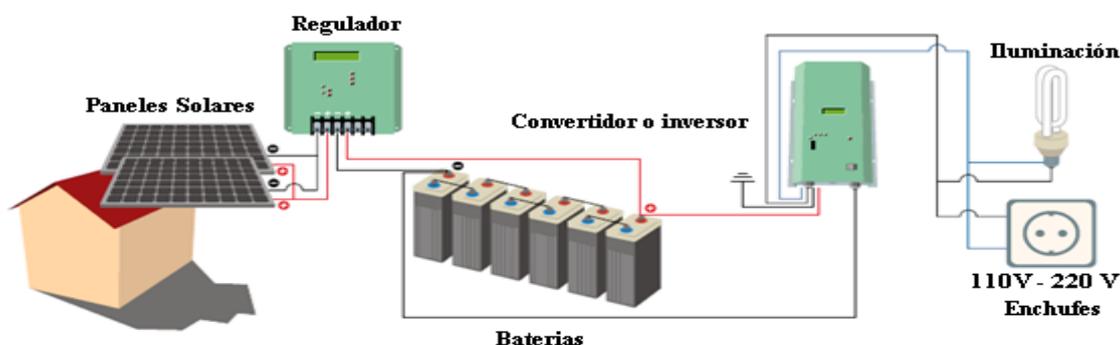


Fig. 12 Esquema típico de un sistema fotovoltaico

En instalaciones fotovoltaicas pequeñas es frecuente, además de los equipos antes mencionados, el uso de fusibles para la protección del sistema. En instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada. (BUN-CA, 2002)

3.5.4 El panel fotovoltaico

Debido a su fragilidad, las células FVs son vulnerables a la acción de los elementos naturales (lluvias, granizo, nieve, vientos, polvo, alta humedad, etc). Esta característica, sumada a la necesidad de ofrecer un voltaje de salida práctico (superior al $\frac{1}{2}$ V), hacen necesario el uso de una estructura mecánica rígida y hermética que pueda contener un elevado número de células. El panel fotovoltaico (Fig. 13) cumple con ambos requisitos, facilitando además el transporte de las unidades, el conexionado externo, y el montaje de la unidad a un sostén.

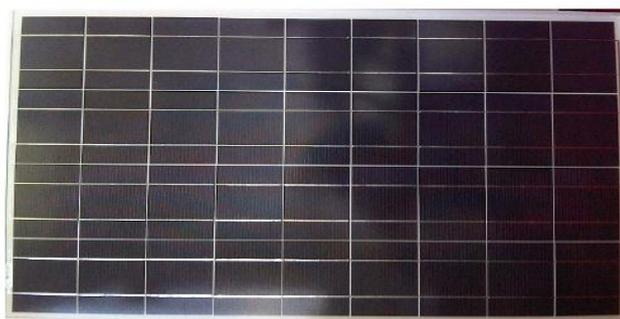


Fig. 13 Panel Fotovoltaico

3.5.4.1 Estructura

Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel FV. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos, como el uso de una estructura “sándwich” (Fig.14), donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos.

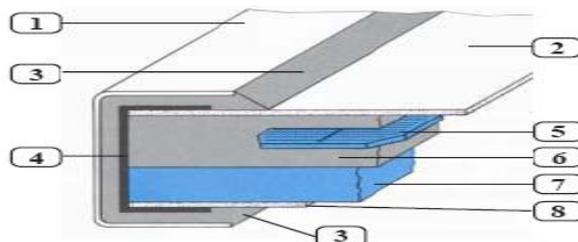


Fig. 14 Montaje típico de un panel FV

El marco del panel **(1)** está hecho de aluminio anodizado, para evitar su oxidación.

Su rigidez provee la presión necesaria para mantener juntas las partes que integran el “sándwich”. Los marcos tienen extensiones en ángulo recto, con perforaciones a lo largo del perímetro, las que facilitan su montaje a un sostén.

La superficie colectora **(2)** tiene un vidrio templado o un plástico de alto impacto, con un alto valor de transmisividad para la luz incidente. Ambos materiales resisten severas granizadas y vientos portadores de arena o tierra. El uso del vidrio ofrece una acción auto limpiante, ya que la suciedad tiende a adherirse menos a su superficie.

Un material esponjoso **(3)** cumple con una doble función: proteger los bordes del vidrio y proveer un cierre hermético para el panel a lo largo del perímetro de la estructura. Todos los materiales expuestos a la luz solar son resistentes a la acción deteriorante de los rayos ultra-violetas.

La junta selladora **(4)**, colocada a lo largo del perímetro, contribuye a evitar la presencia de agua (humedad) dentro del panel, evitando que las conexiones internas se oxiden (mayor resistencia óhmica) o causen la apertura del contacto al semiconductor.

Las células FVs **(5)** son cubiertas con un material encapsulante **(6)** de alta transparencia. Es común el uso del acetato de etil-vinilo (EVA, en inglés), el que se aplica en capas muy finas que, al hornearse, se polimerizan solidificando la estructura.

La rigidez del panel se incrementa con el uso de un sostén rígido **(7)**, plástico o metálico, al que se conoce como substracto.

La cara posterior del panel **(8)** tiene una superficie de sostén, que en algunos modelos es plástica (Tedlar®) y en otros metálica (aluminio). La versión metálica mejora la disipación del calor al exterior, un factor muy importante, como veremos al tratar la potencia de salida de un panel FV. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

La vida útil de un panel trabajando como generador depende de la construcción del mismo y no de la vida útil de las células FVs, ya que no se conoce el límite de la vida útil de un semiconductor.

Los paneles que usan láminas plásticas en la superficie colectora suelen perder hasta un 20% del valor inicial de transmisividad después de muchos años de uso (aprox. 20), mientras que los que usan vidrio templado pierden sólo un 5%, ya que este material resiste mejor la acción deteriorante de los rayos ultra-violetas.

La alta calidad de los paneles ofrecidos a la venta se refleja en las amplias garantías ofrecidas por los fabricantes (limitadas a un uso correcto) las que se extienden entre 20 y 25 años de uso.

3.5.4.2 Voltaje de salida

La industria de baterías precedió a la de los sistemas FVs, de manera que la adopción de 12V para el voltaje de salida del panel era una opción práctica. Por otra parte, este valor no demanda la conexión de un número excesivo de células en serie.

La industria de aparatos electrodomésticos usados en vehículos recreacionales (RVs, en inglés) adoptó asimismo el valor de 12V, de manera que el usuario de un sistema FV con este voltaje podrá incorporar electrodomésticos de CC diseñados para vehículos recreacionales en su sistema FV domiciliario.

3.5.4.3 Número de células

En principio, se necesitaría conectar un mínimo de 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12V. Los paneles comerciales contienen un mayor número de ellas (36 o más). La explicación se la tendrá cuando se analice la curva I-V del panel.

3.5.4.4 Potencia de salida

La potencia máxima de salida (potencia pico) de un panel FV es, sin duda alguna, la característica eléctrica más importante del mismo. La implementación de un sistema FV doméstico requiere el uso de paneles con potencias de salidas entre 60 y 100 W. El uso de paneles con baja potencia de salida (menor costo) no se justifica en muchos casos, ya que deberá usarse un mayor número de ellos.

3.5.4.5 Curva I - V

Todo generador tiene una curva típica para la potencia de salida en función de la corriente de carga. El panel FV no escapa esta regla. La curva I-V de un panel FV proporciona, indirectamente, la relación mencionada, ya que asocia los valores de V e I para diferentes cargas. La potencia de salida para una dada condición de trabajo está dada por el producto de los valores de I y V correspondientes. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

Dos variables afectan la potencia de salida: la cantidad de irradiación (W/m^2) y la temperatura de trabajo del panel ($^{\circ}C$). La variación debida al nivel de irradiación sirve para estimar la acción de nubes pasajeras o de cielo totalmente nublado. Tenga presente, al respecto, que estas curvas contemplan la irradiación total (directa y reflejada) que recibe el

panel. En la práctica, dependiendo del terreno, o de reflejos de la luz por otras nubes, el nivel de salida puede incrementarse temporalmente, en lugar de decrecer.

3.5.4.6 Contactos de salida

Los primeros paneles FVs tenían en su parte exterior terminales de conexión sin protección ambiental. Esta realización no existe hoy día ya que ha sido remplazada por el uso de cajas ambientales (herméticas), donde se ubican los dos terminales. La tendencia en los modelos más modernos es el uso de cables de salida con conectores en el extremo libre diseñados para simplificar el conexionado entre paneles a un simple enchufado de los conectores. Este diseño evita el uso de herramientas especializadas y proporciona protección ambiental al conexionado externo.

3.5.4.7 Conjunto FV

La evolución de célula a panel FV no sólo es un paso lógico sino inevitable. El panel pasa a convertirse en el elemento primario de la parte generadora. Cuando el consumo se incrementa, el valor de la corriente de carga requiere cables de mayor diámetro, los que son más costosos y difíciles de conectar. La solución es incrementar el voltaje de salida del sistema, conectando varios paneles usando una combinación en serie. Si con el nuevo voltaje el consumo demanda un incremento de corriente, entonces deberán conectarse grupos de igual voltaje de salida en paralelo. Al agrupamiento serie - paralelo de paneles se lo denomina conjunto FV (Fig. 15) (array, en inglés).

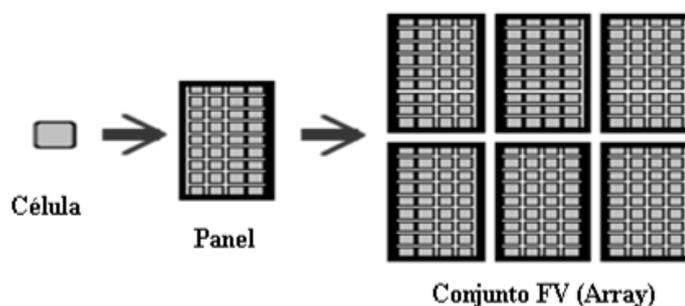


Fig. 15 Célula, Panel y Conjunto FV

3.5.4.8 Cálculo del número de paneles

Dada la demanda de electricidad, la radiación solar promedio y la eficiencia promedio del panel FV, es bastante fácil calcular el tamaño de un panel FV que cubra esta demanda. Determinar el tamaño de un sistema es bastante sencillo y directo a pesar de que el diseño

en detalle de un sistema fotovoltaico es complejo. Los métodos para determinar el tamaño son fáciles de usar pero tienen sus limitaciones. Debido a que se asumen la entrada y demanda de energía solar, el resultado de aplicar el método para determinar el tamaño puede no ser confiable en un 100%.

La irradiación solar varía de año en año y también el consumo de electricidad tiende a ser fluctuante. Por lo tanto, aún cuando se haya calculado cuidadosamente el tamaño del sistema, pueden surgir ciertas carencias de tiempo en tiempo. La manera más simple de determinar el tamaño de un sistema fotovoltaico es utilizando la siguiente fórmula:

$$A_r = 1200 \times \frac{Ed}{I_d} \quad (14)$$

Dónde:

A_r : Tamaño del panel (Wp)

Ed : Consumo de electricidad (KWh/día)

$$Ed = \left[(\text{carga de consumo}) \frac{n^\circ \text{ h de trabajo}}{\text{día}} \right] * 10^{-3} \quad (15)$$

I_d : Irradiación (KWh/m²/día)

El tamaño de un sistema FV está dado por el Watt Pico (Wp) (Tabla 17 y 18). Esta es la salida máxima de un panel FV bajo condiciones estándar que son: temperatura ambiente de 25 °C y 100 W/m² de irradiación. (PUCP, 2004)

Tabla 17. Características técnicas de los paneles SOLENER

	POTENCIA Wp	5	20	50	100
FÍSICAS	Altura (mm)	270	524	1310	1310
	Anchura (mm)	270	325	340	654
	Espesor (mm)	20	34	39.5	39.5
	Peso (Kg)	0.8	2.35	5.5	11.5
	Células en serie/paralelo	32 1/8	36/1	36/1	36/2
	TONC (800W/m ² - 1.5 MA) (°C)	40	43	47	47
ELÉCTRICAS	Corriente de cortocircuito (Asc)	0.41	1.36	3.27	6.54
	Tensión de circuito abierto (V ∞)	19.2	20.05	21.6	21.6
	Corriente de MÁX potencia (Amax)	0.32	1.21	2.87	5.74
	Tensión de máxima potencia (Vmax)	15.5	16.5	17.4	17.4

Fuente: (SOLENER, 2004)

Tabla 18. Especificaciones técnicas del Panel Solar EXMORK de 100Wp

ESPECIFICACIONES:
TIPO: Policristalino PV módulo de 12 V
MODELO: 100 P
POTENCIA MÁXIMA: 100W _p ± 3 %
TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO: 22 VDC
TENSIÓN DE MÁXIMA POTENCIA: 17.5 VDC
CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO: 6.14 A
CORRIENTE DE MÁXIMA POTENCIA: 5.71 A
DIMENSIONES: 1130 x 670 x 35mm

Fuente: (EXMORK, 2009)

3.5.5 Irradiación Solar

Fuera de la atmósfera la irradiación del sol tiene una intensidad de 1350 W/m², en la Tierra la máxima intensidad de la irradiación es aproximadamente de 1000 W/m², pero en días muy despejados puede ser un poco más alta. La irradiación no está distribuida equitativamente sobre la superficie de la Tierra, primeramente debido a la forma de la Tierra, las áreas alrededor del Ecuador reciben más energía solar que otras partes. En segundo lugar, debido a las diferencias en la humedad del aire, despeje del cielo y nubosidad, hay variaciones de país en país, aún si se encuentran en la misma latitud.

Las áreas desérticas con climas muy secos y claros, reciben mayor irradiación que las áreas tropicales donde la humedad es mucho mayor. Aún más fluctuaciones debido a la rotación de la Tierra alrededor de su propio eje (fluctuación diaria) y alrededor del sol (fluctuación estacionaria). En días claros la energía solar está distribuida a lo largo del día en una especie de distribución de Gauss (forma de campana). (Solar, 2007)

3.5.5.1 Irradiación Solar en el Ecuador

En el Ecuador las horas de máxima irradiación solar, varían de región a región. En la Costa es de 2.3 horas y en la Sierra es de 3 horas, en el Oriente existe mucha nubosidad casi todo el tiempo y no existen datos al respecto.

Un valor medio aproximado de la radiación solar global en Ecuador es de 4200 KWh/año, sin embargo se presentan variaciones de más de un 30% de unos lugares a otros en el Ecuador continental, y de más del 40% si se comparan con las islas Galápagos. (Velasco, 2008)

En la (Tabla 19) se indica el rango de valores de irradiación global promedio anual por provincia, la gran variedad de condiciones atmosféricas y topográficas del Ecuador y el

amplio rango de latitudes, desde las Galápagos hasta la Amazonia, genera una enorme diversidad de situaciones de irradiación que obviamente condicionan los cálculos del tamaño de una instalación para que cubra una determinada demanda.

Tabla 19. Rango de valores de irradiación global promedio (anual por provincia)

PROVINCIA	VALOR MÍNIMO (Wh/m ² /día)	VALOR MÁXIMO (Wh/m ² /día)	VALOR MEDIO (Wh/m ² /día)
Azuay	4.050	4.800	4.425
Bolívar	4.800	4.950	4.875
Cañar	4.050	4.650	4.350
Carchi	3.900	4.200	4.050
Cotopaxi	4.800	5.250	5.025
Chimborazo	3.750	4.950	4.350
El Oro	4.200	5.100	4.650
Esmeraldas	3.900	4.350	4.125
Guayas	4.200	4.800	4.500
Imbabura	4.000	5.100	4.550
Loja	4.500	5.700	5.100
Los Ríos	4.650	4.650	4.650
Manabí	4.200	5.250	4.725
Morona Santiago	3.750	4.500	4.125
Napo	4.200	4.800	4.500
Pastaza	4.500	4.650	4.575
Pichicha	4.050	5.250	4.650
Orellana	4.500	4.800	4.650
Tungurahua	4.200	4.300	4.250
Santa Elena	4.500	4.350	4.425
Santo Domingo	4.650	5.250	4.950
Sucumbíos	4.050	4.800	4.425
Promedio Nacional	4.245	4.839	4.542

Fuente: (CONELEC, 2008)

3.5.5.2 Ángulo de Inclinación

Muchos de los paneles solares se colocan inclinados para recoger mejor la irradiación solar, la cantidad óptima de energía se recoge cuando el panel está inclinado en el mismo ángulo de la latitud. El ángulo de inclinación (α) es el formado entre la superficie colectora y la horizontal del lugar (Fig. 16).

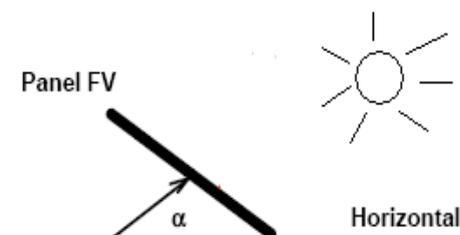


Fig. 16 Ángulo de inclinación α

El ángulo de inclinación (α) es igual al de la latitud del lugar que en el caso de la ciudad de Loja viene a ser de 4° , más 15° que es la pendiente del plano sobre el cual incide la radiación y además es una posición favorable para el invierno ya que permite que el agua de las lluvias drene fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo, y acepta una pequeña pérdida energética durante el verano. (Solar, 2007)

$$\text{Inclinación } \alpha = \text{Latitud de Loja} + 15^\circ \quad (16)$$

3.5.6 Baterías

3.5.6.1 Introducción

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe irradiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías, estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en períodos de abundante irradiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
- Proveen la energía eléctrica necesaria en períodos de baja o nula irradiación solar, normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la irradiación solar es nula.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos, a un voltaje relativamente constante y permite, además operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que puede producir los paneles (aún en los momentos de mayor irradiación solar). (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

3.5.6.2 Celda

El conjunto integrado por los electrodos y el electrolito constituye una celda de acumulación. El voltaje de salida para esta celda depende, principalmente, de:

- Los materiales usados para el electrolito y los electrodos.
- El estado de carga de la celda.

La corriente máxima que la celda puede entregar a una carga fija, depende, entre otros parámetros, de:

- La capacidad de la batería.
- La superficie activa de los electrodos.
- La resistencia interna de la celda, la que depende, a su vez, del estado de carga de la celda y el diseño de la unidad.

3.5.6.3 Tipos de baterías

Existen distintos modelos constructivos de baterías destinadas a usos distintos. Para aplicaciones fotovoltaicas las más adecuadas son las baterías estacionarias, diseñadas para tener un emplazamiento fijo y para los casos en que el consumo es más o menos irregular. Las baterías del tipo “estacionario” no necesitan producir una corriente elevada en breves períodos de tiempo, aunque sí profundas descargas.

Las baterías estacionarias pueden tener electrolito alcalino (es el caso de las de Níquel - Cadmio), o ácido (las cuales se denominan de Plomo - Ácido, por ser el plomo el elemento base de sus electrodos). Hoy día ya no es posible hablar de la “batería de Plomo-ácido” como si fuere un componente genérico que puede ser usado en distintas aplicaciones, ya que cada tipo representa un producto hecho para satisfacer un tipo específico de carga.

En particular, el uso de baterías para automotores en el banco de reserva de un sistema FV presenta problemas que se traducen en mayores costos.

3.5.6.3.1 Baterías solares

Las baterías usadas en los sistemas FVs se denominan baterías solares (Fig. 17). Como estas baterías admiten un alto porcentaje de descarga, suelen llamarse, asimismo baterías de ciclo profundo.



Fig. 17 Batería solar recargable

Los voltajes nominales más comunes son 6 y 12 V. Sin embargo se ofrecen modelos con voltajes de salida de 24 y 48 V para sistemas con cargas de alto consumo. Las baterías solares usan diferentes tipos de celdas, pero todas tienen un bajo valor para el voltaje de salida, el que oscila entre 1,2 y 2 V nominales, esto significa que, como en el caso de las células FVs, las celdas deberán conectarse en serie para alcanzar el voltaje nominal de salida, y en paralelo para aumentar el valor de la máxima corriente de carga que podrán sostener en forma continua. Las celdas se colocan dentro de cajas, las que están hechas con materiales plásticos resistentes al impacto y a la acción corrosiva de los electrolitos usados. Hay dos tipos de cajas: la hermética y la abierta.

Las primeras proporcionan un alto grado de seguridad, ya que el electrolito no puede derramarse, no importa cuál es la posición del acumulador. Las baterías abiertas tienen tapones de ventilación, los que liberan los gases formados durante el proceso de carga. La caja de batería está diseñada para minimizar el derrame del electrolito a través de ellos. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

3.5.6.3.1.1 Parámetros eléctricos

Cuatro parámetros definen una batería solar:

- El máximo valor de corriente que puede entregar a una carga fija, en forma continua, durante un determinado número de horas de descarga.
- Su capacidad para almacenar energía.
- La profundidad de descarga que puede soportar, sin dañarse, en forma repetitiva.
- La vida útil de la unidad, vale decir, el máximo número de ciclos de carga descarga (u otro parámetro equivalente).

3.5.6.3.1.2 Corriente máxima

La industria ha estandarizado la prueba que determina el valor de la máxima corriente de descarga, esto permite comparar distintos modelos de baterías.

El valor de la corriente máxima es aquel que permite una descarga continua de 20 horas de duración, al cabo de la cuál la energía en reserva representa el 20% de la máxima con la que comenzó. Los dos parámetros usados: corriente y tiempo, determinan que el valor derivado de la prueba esté dado en Amper horas (Ah). Este valor representa la capacidad de la batería y de él se deriva el valor de la corriente máxima, para un dado régimen de descarga.

3.5.6.3.1.3 Capacidad de acumulación

La cantidad de energía que puede ser acumulada por una batería está dada por el producto del voltaje nominal por el número de Ah, este producto se mide en Watt horas (Wh) o KWh, dependiendo de su valor. Por lo tanto:

$$Wh = Voltaje_{nominal} * Ah \quad (17)$$

3.5.6.3.1.4 Profundidad de descarga

La Profundidad de Descarga (PdD) representa la cantidad de energía, dada en forma porcentual (Tabla 20), que se extrae de una batería. Cuando se efectúa la prueba para determinar el valor en Ah de una batería solar la PdD alcanza el 80%.

Tabla 20. Relación del voltaje y estado de carga de una batería

ESTADO DE CARGA	VOLTAJE	VOLTAJE POR CELDA
100%	12.7	2.12
90%	12.5	2.08
80%	12.42	2.07
70%	12.32	2.05
60%	12.20	2.03
50%	12.06	2.01
40%	11.9	1.98
30%	11.75	1.96
20%	11.58	1.93
10%	11.31	1.89
0%	10.5	1.75

Fuente: (Pascual, 2007)

3.5.6.3.1.5 Vida útil

Hemos visto que el proceso químico de una batería recargable es reversible.

Sin embargo, por experiencia propia, sabemos que los acumuladores tienen una vida finita (vida útil). Con cada descarga las placas pierden algo del material activo, el que se deposita en el fondo de la caja. Cuando la superficie activa de las celdas se reduce, la vida útil de la batería disminuye. El número de ciclos que el acumulador puede entregar durante su vida útil depende del porcentaje de descarga y del modelo elegido. Si la PdD es elevada, el número de ciclos se reduce. En la práctica, la vida útil de una batería solar suele verse acortada debido a un uso indebido (sulfatación prematura).

3.5.6.3.1.6 Carga y descarga de la Batería de Plomo - ácido

3.5.6.3.1.6.1 Carga

Al revertirse el proceso, el electrolito pierde agua y ambos electrodos vuelven a tener su composición química original (Fig. 18a).

3.5.6.4.1.6.1 Descarga

El electrolito de una batería de Pb-ácido interviene en forma *activa* en el proceso electroquímico. Durante la descarga (Fig. 18b), el electrodo de plomo (Pb)²⁺ reacciona con el ión sulfato (SO_4)²⁻, creando un depósito de sulfato de plomo $PbSO_4$. Esta reacción química se lleva a cabo con la cesión de dos iones positivos, lo que da al electrodo su polaridad negativa (*cátodo*). Los iones de (SO_4)²⁻ reaccionan con el dióxido de plomo (PbO_2) del otro electrodo, formando sulfato de plomo ($PbSO_4$). Esta reacción química se lleva a cabo con la cesión de dos electrones, lo que da a este electrodo su polaridad positiva (*ánodo*).

Los iones de hidrógeno del agua se combinan con el de oxígeno del PbO_2 , formando nuevas moléculas de agua (H_2O). Como en el caso de los semi conductores, se puede observar la creación de cargas libres de polaridad opuestas, las que posibilitan sostener una corriente externa.

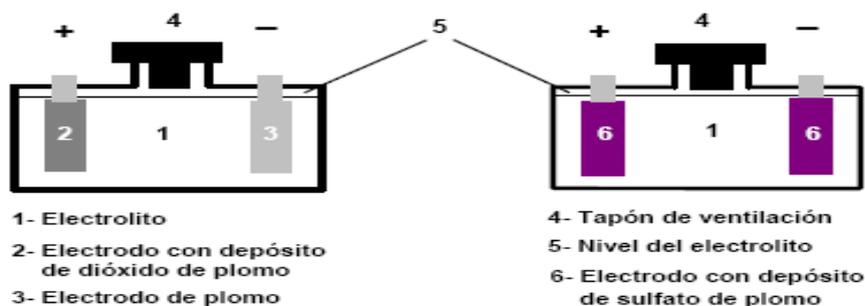


Fig. 18 a Batería Cargada

Fig. 18 b Batería Descargada

3.5.6.4.1.7 Dimensionamiento de la batería de almacenamiento solar

El tamaño de la batería de almacenamiento también depende de la importancia de la confiabilidad del suministro de potencia. En muchos de los casos es suficiente un almacenamiento en baterías de 2 o 3 días. Esto significa que la capacidad de la batería debería ser de por lo menos 2 o 3 veces el consumo de energía diario para poder suplir durante 2 o 3 días sin brillo solar.

Pero esto es solo suficiente cuando las baterías funcionan a un 100% de eficiencia y cuando las baterías pueden descargarse al 100%. Ambos no son los casos. Por ejemplo para una batería común de ácido - plomo la eficiencia puede ser algo de 80% pero depende mucho del uso de la batería. Cuando se carga y se usa constantemente, la eficiencia será alta, cuando la batería sea poco utilizada la auto descarga provocara una baja eficiencia. Las baterías no pueden ser descargadas en más del 50% de lo contrario su tiempo de vida útil disminuiría demasiado. Por lo tanto el tamaño de la batería de almacenamiento aumentaría considerablemente. (PUCP, 2004)

La (Tabla 21) indica las características de varios modelos para sistemas fotovoltaicos.

La batería solar permite una profundidad de descarga PD máxima del 80%, cientos de veces, a niveles de corriente moderados. Es por ello que a estas baterías se las denomina de ciclo profundo. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

Para el cálculo de baterías se usa el siguiente procedimiento:

$$Tamaño = \frac{AUT \times Ed}{REND \times DESC} \quad (18)$$

AUT: Autonomía - días sin brillo solar

REND: Eficiencia de la bacteria solar

DESC: Descarga de la batería solar

Número de baterías necesarias:

$$N^{\circ}Baterías = \frac{Tamaño}{Ah \times V} \quad (19)$$

Tabla 21. Características de las Baterías para sistemas fotovoltaicos

PRAV-Gel	Voltaje	Capacidad a 100 Hr.	Tamaño del Borne (pulg.)	Dimensiones (cm)	Peso (Kg)
8GUI	12V	36 Ah	1/4"	20 x 13 x 18	10.9
8G22NF	12V	58 Ah	11/32"	24 x 14 x 24	17.7
8G24	12V	84 Ah	5/16" poste	28 x 17 x 25	24.5
8G27	12V	99 Ah	5/16" poste	32 x 17 x 25	26
8G31	12V	112 Ah	3/8"	33 x 17 x 24	33.6
8G4D	12V	210 Ah	3/8"	53 x 22 x 26	59.5
8G8D	12V	265 Ah	3/8"	53 x 28 x 26	73
8GGC2	6V	198 Ah	11/32"	26 x 18 x 28	30.9
PARV - EFV		20 Hr.			
ES 712	12	7	3/16" tab	15 x 7 x 9	2.5
ES1212	12	12	1/4" tab	15 x 10 x 9	4.1
ES1712	12	17	1/2" bandera	18 x 8 x 17	6.1

Fuente: (Middleton, 2006)

3.5.7 Controlador de carga

3.5.7.1 Introducción

El control de carga se necesita para implementar un proceso de carga que sea altamente eficaz para el tipo de batería a usarse, durante el reducido tiempo en que el sistema de carga permanece activo (duración del día Solar promedio). Si el sistema FV no requiere un banco de reserva, el control de carga no se necesita.

3.5.7.2 Tipos de control

Existen dos formas de trabajo para el Control de Carga (CdC): Control en serie y control en paralelo.

3.5.7.2.1 Control en serie

En esta versión, la acción de control toma lugar en serie con el circuito de carga (Fig. 27), abriéndolo y cerrándolo intermitentemente, dependiendo del voltaje de batería. Durante la noche, el circuito de carga permanece abierto, evitando que las baterías se descarguen a través de los mismos (diodo N-P polarizado para conducir por el voltaje de batería).

3.5.7.2.2 Control en paralelo

La acción de control en estos modelos actúa desviando, en forma intermitente, la corriente de carga a una carga ficticia (dummy load, en inglés) la que queda conectada en paralelo con el circuito de carga (Fig. 19).

Como el circuito de carga no se abre, para evitar la descarga de las baterías, se conecta un diodo de bloqueo del lado de batería. La presencia del mismo crea pérdidas de potencia y reduce el valor máximo del voltaje de carga, esto hace que los controles paralelos sean menos eficientes que la versión en serie, y por ello la mayoría de los controles ofrecidos a la venta son del tipo serie.

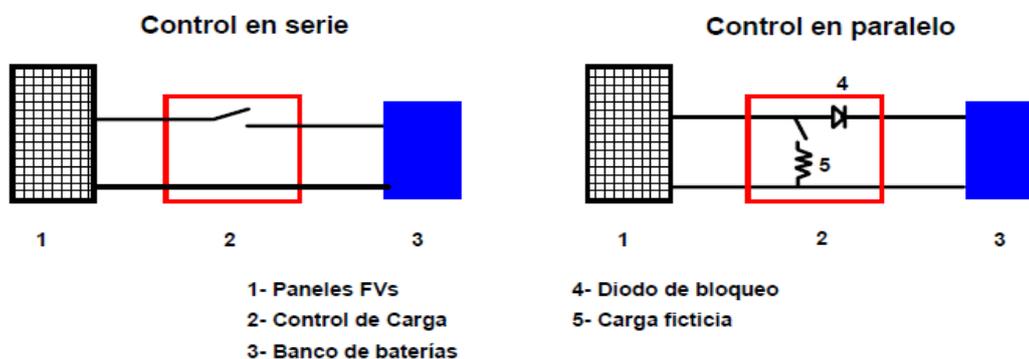


Fig. 19 Controles de carga en serie y en paralelo

3.5.7.3 Circuito de Control

Un circuito de control o control de carga (Fig. 20) tiene dos secciones: la que ejerce el control, y la que lo recibe. Ambas están vinculadas, en todo momento, a través del circuito de monitoreo (feedback, en inglés), el que completa el circuito de control (control loop, en inglés).

La señal de monitoreo permite que la sección de control pueda ejercer su acción en el momento y forma apropiada. El monitoreo vigila el estado de carga (EdC) del banco de baterías, mandando al CdC información sobre el voltaje de batería. Si bien este voltaje no representa la mejor manera de conocer con precisión el EdC de la batería, es el parámetro más fácil de monitorear y desde los primeros diseños se lo utilizó como señal de feedback. Por otra parte, hacia el final del ciclo de carga, el voltaje de batería se mantiene casi constante, proveyendo una información más satisfactoria sobre el EdC del acumulador.

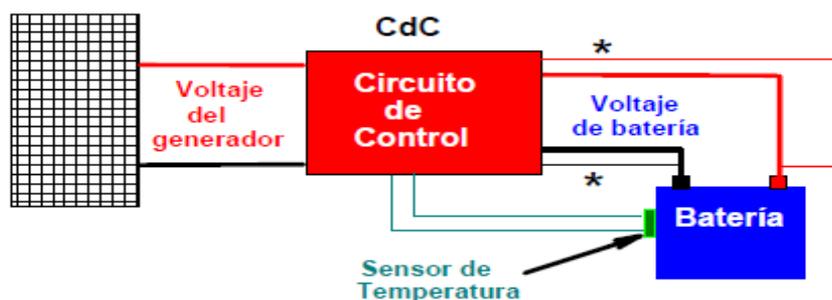


Fig. 20 Control de carga

La batería está conectada permanentemente a la salida del CdC. En sistemas con altas corrientes de carga, a fin de eliminar el error introducido por la caída de voltaje en los cables de conexión, se utilizan cables adicionales de monitoreo por los que circula una corriente negligible (marcados con un asterisco en la Fig. 20).

La incorporación de un sensor de temperatura provee un voltaje suplementario, el que se conecta al terminal especialmente provisto en el CdC. El sensor, que a veces está adherido a la caja de batería y en otras atornillado a uno de sus terminales, envía un voltaje variable de corrección, el que se adiciona o subtrae al valor del voltaje máximo de carga, dependiendo de la temperatura del electrolito.

El monitoreo del voltaje de batería continúa durante la noche y puede utilizarse para interrumpir el circuito de carga, cuando éste alcanza un valor excesivamente bajo (low voltage disconnect, en inglés). Un criterio similar se aplica al voltaje de salida de los

paneles, el que puede ser desconectado cuando alcanza un valor menor al voltaje de carga de la batería. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

3.5.7.4 Modelos recientes

Cuando los microprocesadores bajaron su costo, estos fueron incorporados en el circuito de control. Estos microprocesadores son controlados por programas específicos, llamados algoritmos de carga los que tienen varios pasos (etapas). Los CdC que los usan se denominan multi-etapas, para distinguirlos de los que no incorporan un microprocesador (controles de una etapa).

3.5.7.5 Ventajas

Reduce el costo de reemplazo de baterías, la desconexión por bajo voltaje prolongará la vida útil de la batería. Las cargas son desconectadas automáticamente cuando la batería esta baja y son reconectadas después de recargada la batería.

La carga completa incrementará la vida útil de la batería y la capacidad de almacenamiento. El controlador maximizará la cantidad de energía solar hacia la batería y evitará que la misma se seque. Proporciona información de utilidad, los LED muestran en pantalla información sobre el estado y el nivel de la batería, lo cual ayuda al usuario a operar mejor el sistema de energía solar. Otra ventaja adicional es que el microprocesador requiere un bajo consumo y los FETs de potencia, debido a su elevada resistencia de entrada ($10^6 \Omega$), permiten el cierre y apertura del circuito de carga con un consumo negligible.

3.5.7.6 Criterios de selección

La máxima corriente de carga y el máximo voltaje del sistema son dos criterios obvios de selección pero, como el lector podrá apreciar al tratar el diseño de un sistema, las consideraciones del diseño determinan finalmente el tipo de control a usarse.

Asumiendo que el mercado local ofrece alguna variedad de modelos, el costo inicial de la unidad deberá ser balanceado considerando las características del sistema.

$$\frac{A_r \text{ Tamaño del panel (Wp)}}{\text{Bateria escogida (V)}} = \text{Capacidad del Controlador (A)} \quad (20)$$

3.5.7.7 Modelo Morningstar™

La bien conocida calidad y confiabilidad de Morningstar ahora disponible en un controlador de bajo costo. El controlador SHS es ideal para sistemas de electrificación rural con uno a tres paneles solares. Es completamente automático, fácil de usar y cumple

con las especificaciones del Banco Mundial. Las luces indicadoras dan útil información y el desconector por bajo voltaje aumenta la vida de la batería. Sus circuitos electrónicos están protegidos con una cubierta contra la humedad y nidos de insectos. Fusibles electrónicos integrados que nunca requieren reemplazo. La (Tabla 22) indica los datos técnicos del controlador Morningstar.

Tabla 22. Datos técnicos del controlador SHS Morningstar

Modelo	Voltaje	Corriente FV Nominal	Corriente de Carga Nominal	Dimensiones (cm)	Peso (g)	Consumo propio
SHS-6	12V	6 A	6 A	15.1 x 6.6 x 3.6	113	8 mA
SHS-10	12V	10 A	10 A	15.1 x 6.6 x 3.6	113	8 mA

Fuente: (Morningstar Corporation, 2009)

Esta compañía ofrece modelos para corrientes de carga entre 4,5 A (SunGuard™) y 60 A (TriStar™), los que pueden usarse en sistemas con voltajes nominales de 12, 24 y 48 V, dependiendo del modelo (Fig.21). Todos los controles son del tipo serie, usan FETs de potencia para abrir o cerrar el circuito de carga y ofrecen la posibilidad de controlar la temperatura del electrolito. La mayoría tiene dos etapas de carga más la opción de equalización, aunque los de mayor corriente ofrecen dos etapas opcionales.



Pro Star (15 o 30A/ 12 o 24V) Tri- Star (45 o 60 A / 12-24V)

Fig. 21 Modelos ofrecidos por Morningstar™

3.5.8 Cables de conexión

3.5.8.1 Introducción

La selección de los cables de conexión en un sistema de distribución de bajo voltaje (sistema FV), es importante porque:

- El nivel de la corriente de carga es elevado.
- Estos cables están expuestos a condiciones ambientales extremas (calor, frío, humedad, rayos ultra-violetas, etc), y en algunos casos, al ataque de roedores.
- La caída de voltaje entre la entrada y la salida debe mantenerse baja (entre un 3 y un 4% del valor nominal).

Cuando se instala el cableado de distribución en una casa, la corriente total se divide en varios sectores de carga, de manera que los cables pueden ser dimensionados para corrientes menores que el total dictado por la carga. Cuando se vinculan los paneles FVs al bloque de carga, la corriente no puede ser dividida, de manera que por estos cables circulará la corriente total del sistema, incluyendo las pérdidas.

Las condiciones ambientales de los cables de distribución domésticos, salvo el calor y la humedad relativa, suelen ser menores que para cables expuestos a la intemperie.

3.5.8.2 Aspectos del Cableado

El análisis del cableado de un sistema FV comprende dos aspectos diferentes:

- Las características físicas del conductor (metal usado, longitud, y superficie de la sección conductora). El tipo de aislación requerida por las condiciones de uso.
- Las características físicas definen la resistencia eléctrica y mecánica del conductor, los diámetros para varios tipos, así como la variación de la resistencia cuando aumenta la temperatura de trabajo. El tipo de aislación contempla, para las condiciones ambientales en donde el cable va a ser usado, cual es el material aislante más adecuado.

3.5.8.3 AWG

En los EEUU al diámetro de un cable conductor se le asigna un número, al que se conoce con la sigla AWG (American Wire Gauge) que significa calibre de cables americano. Originalmente, está nomenclatura numérica guardó una relación directa con el número de pases que eran requeridos por la barra de cobre a través del orificio de extrusión, para

poder obtener un diámetro determinado, esto explica por qué los diámetros mayores están asociados con los números más bajos.

Cuando aparecieron calibres superiores al AWG 1, se debió recurrir a la identificación de los mismos usando un número variable de ceros. Se tienen así los cables 0, 00, 000 y 0000, cada uno de ellos con diámetros cada vez mayores como se indica en la (Tabla 23). Estos diámetros suelen ser escritos, en forma abreviada, como 1/0, 2/0, 3/0 y 4/0. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

En la (Tabla 23) se indica los parámetros y dimensiones de los conductores AWG.

Tabla 23. Parámetros y dimensiones de los conductores eléctricos AWG

Calibre AWG	Diam. mm	Área mm²	Resistencia a 20°C ohm/Km	Tipo
18	1,020	0,823	21,8	Sólido
16	1,290	1,310	13,7	Sólido
14	1,630	2,080	8,6	Sólido
12	2,050	3,310	5,4	Sólido
10	2,590	5,260	3,4	Sólido
8	4,775	8,403	2,2	49/25*
6	5,334	13,575	1,5	133/27*
4	6,257	21,587	0,80	133/25*
2	8,331	34,327	0,50	133/23*
1	9,271	43,282	0,40	133/22*
1/0	11,786	54,581	0,31	133/21*
2/0	12,700	68,858	0,25	133/20*
3/0	12,928	84,286	0,20	259/22*
4/0	15,392	106,289	0,16	259/21*

Fuente: (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

3.5.8.4 Alambres y Cables

Cuando se tiene un solo conductor, se habla del alambre de conducción, cuando se tienen varios alambres retorcidos (o paralelos), se habla del cable de conducción. Los cables tienen más flexibilidad que los alambres, como ya se indicó, y se venden con o sin aislación (cables desnudos), dependiendo de la aplicación.

Por ejemplo el típico cable a tierra nunca lleva aislación. La (Fig.22) muestra un alambre y un cable, ambos con aislación exterior.



Fig. 22 Alambre y cable conductor

Suelen usarse en lugares donde la conexión necesita cierto grado de flexibilidad mecánica. Para estos cables se proporciona no sólo el valor AWG correspondiente a su diámetro, pero dos valores complementarios: la cantidad de alambres usados y el valor del AWG de los mismos. Así, por ejemplo, un cable AWG 26 - 7/34 alcanza su diámetro (AWG 26) usando siete alambres retorcidos de calibre 34. Cada alambre que forma el cable se llama, en inglés, strand (hilo). A un cable de este tipo se lo llama “stranded cable”. (EPSEA, Asociación Solar, 2007)

3.6 COMPRESORES

3.6.1 Introducción

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. En esta última característica precisamente, se distinguen de las soplantes y ventiladores que manejan grandes cantidades de fluidos compresibles (aire por ejemplo) sin modificar sensiblemente su presión, con funciones similares a las bombas de fluidos incompresibles. (Díez, 2004)

Un compresor admite gas o vapor a una presión p_1 dada, descargándolo a una presión p_2 superior. La energía necesaria para efectuar este trabajo le proporciona un motor eléctrico o una turbina de vapor.

El campo de utilización de los compresores alternativos (Fig. 23) tiene una amplia gama de volúmenes desplazados en el intervalo, $0 \div 1000 \text{ m}^3/\text{h}$, entrando en competencia con los de paletas, tornillo, etc.

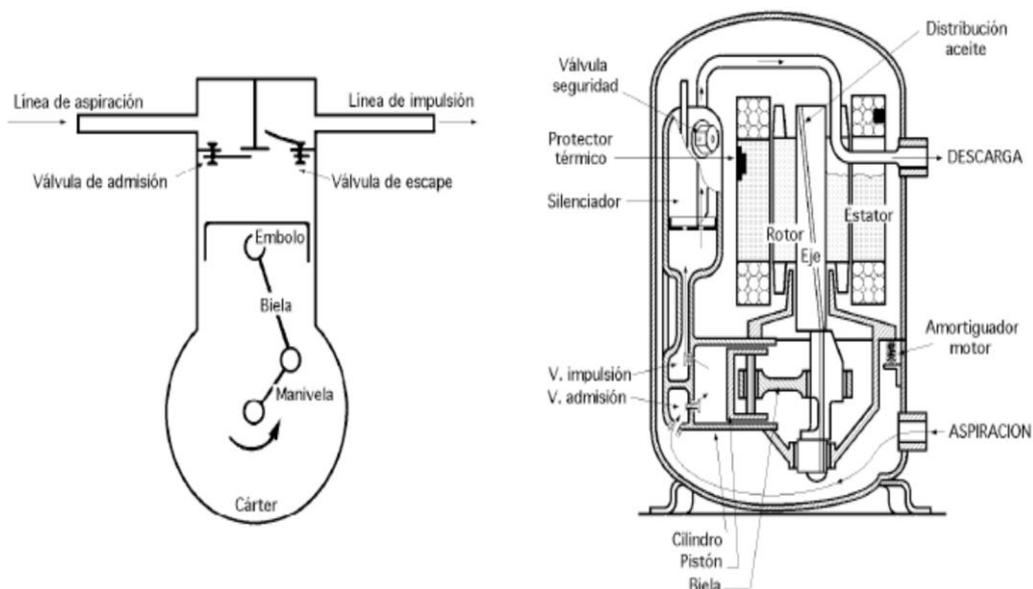


Fig. 23 Esquema del funcionamiento de un compresor alternativo, y partes de un compresor hermético

3.6.2 Compresores de corriente continua

3.6.2.1 Uso y Cuidado

Asegúrese de que no haya desalineamientos, atascamiento de piezas móviles, piezas rotas, o cualquier otra condición que puede afectar a la operación de este tipo de compresores. Si el producto tiene algún daño, asegúrese de darle el mantenimiento apropiado antes de utilizarlo. Durante el uso de la unidad (Fig. 24), esta puede calentarse. En caso de calentamiento excesivo, detenga el uso de la unidad. El inflador debe enfriarse por 20 minutos después de 20 minutos de uso continuo. El inflador no está diseñado para operar continuamente por más de 20 minutos. (Hausfeld, 2002)



Fig. 24 Compresor de corriente continua

3.6.2.2 Reglas generales de seguridad

- No utilice este producto en atmósferas explosivas, por ejemplo en presencia de líquidos inflamables, gases, o polvo.
- No hay que abusar de los cargadores de corriente continua o alterna (CC y CA), nunca se debe utilizar los adaptadores para cargar el compresor, se debe mantener los alambres de los cargadores lejos del calor, del aceite, de objetos filosos, o de piezas móviles. Si algún alambre se encuentra dañado hay que sustituirlo inmediatamente, ya que estos pueden crear fuego.
- Para obtener un óptimo funcionamiento, se debe almacenar la unidad en temperaturas de entre 32°F a 110°F (0°C - 43°C). El uso de la unidad en temperaturas de menos de 45°F (7°C) y de más de 85°F (30°C) requerirá de al menos 10 minutos adicionales de recarga antes de encender el motor.

3.6.3 Depósito de aire

El aire comprimido es, quizás la única forma de energía fácilmente almacenable. Suelen utilizarse para este propósito tanques o depósitos de muy variados tamaños. Todas las plantas de producción de aire comprimido tienen normalmente uno o más depósitos de aire (Fig. 25). (Varios, NEUMATICA, 2009)

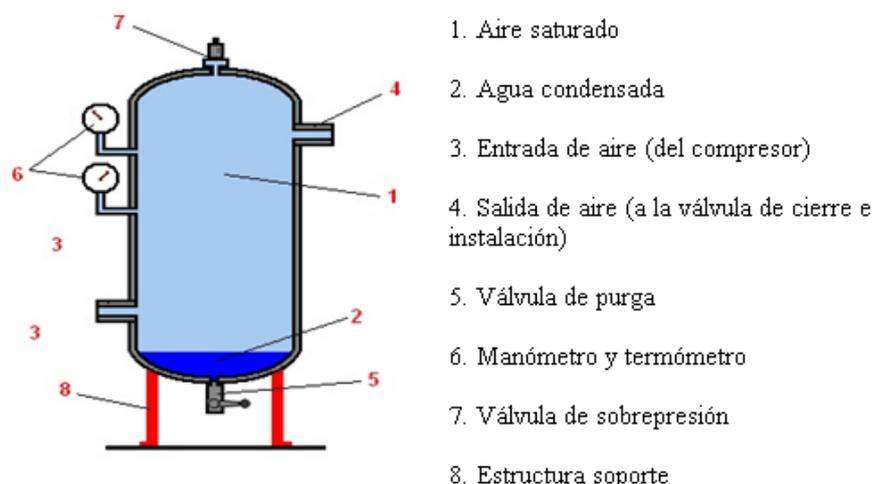


Fig. 25 Elementos principales de un depósito

Sus dimensiones se establecen según la capacidad del compresor, sistema de regulación, presión de trabajo y variaciones estimadas en el consumo de aire. El depósito de aire sirve para:

- Almacenar el aire comprimido necesario para atender demandas altas que excedan de la capacidad del compresor.
- Incrementar la refrigeración (por la superficie de este) y recoger posibles residuos de condensado y aceite.
- Igualar las variaciones de presión en la red de aire.
- Evitar ciclos de carga y de descarga en el compresor demasiado cortos.
 - Volumen del tanque de almacenamiento:

$$V_{tanqalmac} = \text{Área}_{tanque} * altura_{tanque} \quad (21)$$

$$\text{Área}_{tanque} = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (22)$$

- Tiempo de llenado de tanque de almacenamiento:

$$tiempollenado = \frac{V_{tanqalmac}}{Q * 3 \text{ compresores}} \quad (23)$$

Q : Caudal de aire que producen los compresores de corriente continua

- Tiempo de descarga del tanque de almacenamiento:

$$t_{Descarga} = \frac{V_{tanqalmac}}{Q_{Total \text{ descarg}}} \quad (24)$$

$Q_{Total \text{ descarg}}$: Caudal total de aire descargado mediante el difusor

3.6.4 Requisitos de potencia

El requisito de potencia de cualquier compresor es la base principal para calcular, seleccionar y diseñar sus componentes.

El requisito de potencia real se relaciona con un ciclo teórico mediante la eficiencia de compresión, la cual se ha determinado con base en pruebas a máquinas anteriores.

La eficiencia de compresión es la relación de los caballos de potencia teóricos del gas sobre los reales y, tal como se emplea en la industria, no incluye las pérdidas por fricción mecánica. Estas pérdidas se agregan más tarde, ya sea al emplear una eficiencia mecánica o al sumar las pérdidas mecánicas reales determinadas con anterioridad.

Por lo general, los compresores de desplazamiento positivo emplean eficiencias mecánicas que varían del 88 al 95%, dependiendo del tamaño y tipo de unidad.

La (Tabla 24) nos muestra los valores densidad del aire ambiente.

- Potencia de los tres compresores:

$$P_{Compr} = I_{compr} * V_{compr} * n^{\circ} de compr \quad (25)$$

I_{compr} : Intensidad de consumo propio de cada compresor

V_{compr} : Voltaje de trabajo cada compresor

- Caudal Másico producido por los tres compresores:

$$m^{\circ} = Q * \rho_{aire} * 3 \text{ compresores} \quad (26)$$

Tabla 24. Valores de la densidad del aire ambiente para alturas varias

Altitud (metros)	Valores de la densidad del aire ambiente		
	Mínimo (Kg/m ³)	Promedio (Kg/m ³)	Máximo (Kg/m ³)
0	1,1405	1,2254	1,3167
305	1,1101	1,1886	1,2735
610	1,0812	1,1533	1,2302
914	1,0524	1,1197	1,2222
1000	1,0444	1,1101	1,1902
1219	1,0252	1,0861	1,1501
1524	0,9996	1,0556	1,1133
1829	0,9739	1,0236	1,0764
2000	0,9595	1,0076	1,0572
2134	0,9483	0,9931	1,0412
2438	0,9243	0,9643	1,0060
2743	0,8986	0,9355	0,9723
3000	0,8794	0,9115	0,9467
3048	0,8762	0,9082	0,9419

Fuente: (Varios, Reglamento CIRSOC 102, 2008)

Requisitos de energía para sistemas de difusión de aire comprimido

$$KW = 0.224 * Qa \left[\left(\frac{Pc}{P_{atm}} \right)^{0.28} - 1 \right] \quad (27)$$

Dónde:

Qa : Gasto de aire comprimido en $\frac{pie^3}{min}$

Pc : Es la presión absoluta de compresión (PSI)

$$Pc = a_{hidrost} + p_{\text{pérdidas}} + P_{atm} \quad (28)$$

$a_{hidrost}$: Altura hidrostática sobre los difusores (PSI)

P_{atm} : Presión atmosférica en la localidad (PSI). Los valores se los encuentra en la (Tabla 25).

Tabla 25. Presión atmosférica, lectura barométrica y punto de ebullición del agua

Altitud		Lectura barométrica		Presión atmosférica		Punto de ebullición del agua, °F
Pies	Metros	Pulg. de Hg	mm de Hg	PSI	Pies de agua	
- 1000	- 304.8	31.0	788	15.2	35.2	213.8
- 500	- 152.4	30.5	775	15.0	34.6	212.9
0	0.0	29.9	760	14.7	33.9	212.0
+ 500	+ 152.4	29.4	747	14.4	33.3	211.1
+ 1000	304.8	28.9	734	14.2	32.8	210.2
1500	457.2	28.3	719	13.9	32.1	209.3
2000	609.6	27.8	706	13.7	31.5	208.4
2500	762.0	27.3	694	13.4	31.0	207.4
3000	914.4	26.8	681	13.2	30.4	206.5
3500	1066.8	26.3	668	12.9	29.8	205.6
4000	1219.2	25.8	655	12.7	29.2	204.7
4500	1371.6	25.4	645	12.4	28.8	203.8
5000	1524.0	24.9	633	12.2	28.2	202.9
5500	1676.4	24.4	620	12.0	27.6	201.9
6000	1828.8	24.0	610	11.8	27.2	201.0
6500	1981.2	23.5	597	11.5	26.7	200.1
7000	2133.6	23.1	587	11.3	26.2	199.2
7500	2286.0	22.7	577	11.1	25.7	198.3
8000	2438.4	22.2	564	10.9	25.2	197.4
8500	2590.8	21.8	554	10.7	24.7	196.5
9000	2743.2	21.4	544	10.5	24.3	195.5
9500	2895.6	21.0	533	10.3	23.8	194.6
10000	3048.0	20.6	523	10.1	23.4	193.7
15000	4572.0	16.9	429	8.3	19.2	184.0

Fuente: (Pumps, 2002)

3.7 FLOTADORES

3.7.1 Flotadores

3.7.1.1 Flotación de cuerpos

Cuerpos flotantes son aquellos cuyos pesos son inferiores a los pesos de los volúmenes de líquidos que ellos puedan desalojar al ser sumergidos en estos.

Efectivamente la fuerza ascendente que actúa sobre un cuerpo sumergido en un fluido es simplemente el resultado de dos fuerzas hidrostáticas verticales: una, componente ascendente de la presión total ejercida por el fluido sobre la superficie inferior del cuerpo, y la otra, componente descendente de la presión total ejercida por el fluido sobre la superficie superior.

Como la presión unitaria aumenta con la profundidad, la componente ascendente es mayor que la descendente, por tanto, la resultante es una fuerza ascendente o de flotación.

3.7.1.2 Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado. Que es el fundamento de la flotación de los barcos, era conocido desde la más remota antigüedad, pero fue el griego Arquímedes (287-212 a. de C.) quien indicó cuál es la magnitud de dicho empuje. (Cbc, 2000)

La explicación del principio de Arquímedes consta de dos partes como se indica en las (Fig. 26):

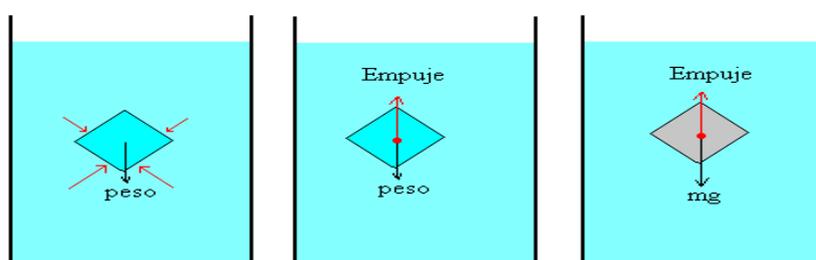


Fig. 26 Explicación del principio de Arquímedes

$$E_{max} = \rho_{agua} * g * \frac{V_{Boya}}{2} * \# boyas \quad (29)$$

Qué es precisamente el valor del empuje predicho por Arquímedes en su principio.

Para calcular el volumen de la boya (Fig. 27) se lo realiza mediante la siguiente fórmula:

$$V_{Boya} = At \times \overline{Pm} \quad (30)$$

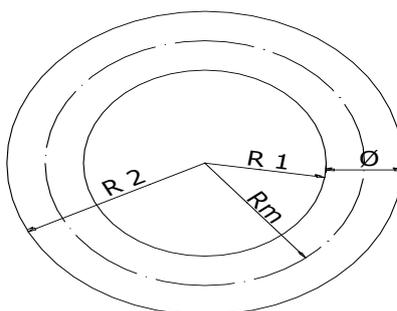


Fig. 27 Boya

Dónde:

At: Área Transversal de la Boya:

$$At = \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} \quad (31)$$

\overline{Rm} : Radio Medio de la Boya:

$$\overline{Rm} = \left(\frac{R_2 - R_1}{2} \right) + R_1 \quad (32)$$

\overline{Pm} : Perímetro Medio de la Boya:

$$\overline{Pm} = 2 \times \pi \times \overline{Rm} \quad (33)$$

3.7.1.3 Equilibrio de los cuerpos flotantes

Si un cuerpo sumergido sale a flote es porque el empuje predomina sobre el peso ($E > P$). En el equilibrio ambas fuerzas aplicadas sobre puntos diferentes estarán alineadas; tal es el caso de las embarcaciones en aguas tranquilas, por ejemplo. Si por efecto de una fuerza lateral, como la producida por un golpe de mar, el eje vertical del navío se inclinara hacia un lado, aparecerá un par de fuerzas que harán oscilar el barco de un lado a otro. Cuanto mayor sea el momento M del par, mayor será la estabilidad del navío, es decir, la capacidad para recuperar la verticalidad. Ello se consigue diseñando convenientemente el casco y repartiendo la carga de modo que rebaje la posición del centro de gravedad, con lo que se consigue aumentar el brazo del par. (Librospdf, 2003)

3.7.1.4 Cuerpo flotando

El empuje se ejerce sobre la base del cuerpo. El peso se compensa con el empuje (Fig. 28).

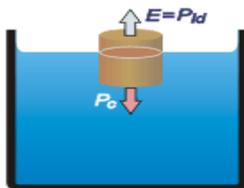


Fig. 28 Cuerpo flotando

3.7.1.5 Cuerpo sumergido

Al estar ahora el cuerpo sumergido (Fig. 29), la cara de abajo está más hondo que la cara de arriba. Quiere decir que hay más presión en la cara de abajo que en la cara de arriba. Esa diferencia de presión genera el empuje.

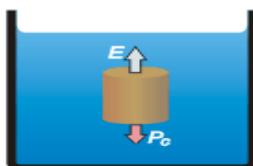


Fig. 29 Cuerpo sumergido

3.8 RELÉS, PRESOSTATOS

3.8.1 Relés

El relé o relevador (Fig. 30), es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba "relevadores". De ahí "relé". (Wikipedia, 2010)



Fig. 30 Relés de 11 pines CAMSCO

3.8.2 Descripción de las partes de un relé

En la (Fig. 31) se representa, de forma esquemática, la disposición de los distintos elementos que forman un relé de un único contacto de trabajo o circuito.

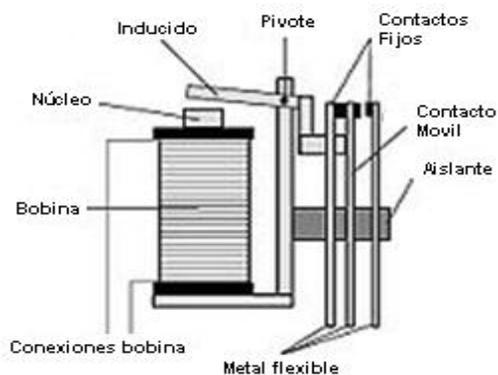


Fig. 31 Partes de un Relé

Se denominan contactos de trabajo aquellos que se cierran cuando la bobina del relé es alimentada y contactos de reposo a los cerrados en ausencia de alimentación de la misma. De este modo, los contactos de un relé pueden ser normalmente abiertos, NA o NO, Normally Open por sus siglas en inglés, normalmente cerrados, NC, Normally Closed, o de conmutación.

La lámina central se denomina lámina inversora o de contactos inversores o de conmutación que son los contactos móviles que transmiten la corriente a los contactos fijos.

Los contactos normalmente abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos es ideal para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.

Los contactos normalmente cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado. Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto NA y uno NC con una terminal común.

$$P_{relés} = I_{relé} * V_{relé} * \# relés \quad (34)$$

$I_{relé}$: Intensidad de consumo propio de cada relé

V_{compr} : Voltaje de trabajo de cada relé

3.8.3 Tipos de relés

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos, de la intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc. Cuando controlan grandes potencias se les llama contactores en lugar de relés.

3.8.3.1 Relés electromecánicos

3.8.3.1.1 Relés de tipo armadura

Pese a ser los más antiguos siguen siendo los más utilizados en multitud de aplicaciones. Un electroimán provoca la basculación de una armadura al ser excitado, cerrando o abriendo los contactos dependiendo de si es NA o NC.

3.8.3.1.2 Relés de núcleo móvil

A diferencia del anterior modelo estos están formados por un émbolo en lugar de una armadura. Debido su mayor fuerza de atracción, se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos. Es muy utilizado cuando hay que controlar altas corrientes.

3.8.3.1.3 Relé tipo reed o de lengüeta

Están constituidos por una ampolla de vidrio, con contactos en su interior, montados sobre delgadas láminas de metal. Estos contactos conmutan por la excitación de una bobina, que se encuentra alrededor de la mencionada ampolla.

3.8.3.1.4 Relés polarizados o biestables

Se componen de una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior gira dentro de los polos de un electroimán, mientras que el otro lleva una cabeza de contacto. Al excitar el electroimán, se mueve la armadura y provoca el cierre de los contactos. Si se polariza al revés, el giro será en sentido contrario, abriendo los contactos o cerrando otro circuito.

3.8.3.2 Relés de estado sólido

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un opto acoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos. Estos relés permiten una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos.

3.8.3.2.1 Relé de corriente alterna

Cuando se excita la bobina de un relé con corriente alterna, el flujo magnético en el circuito magnético, también es alterno, produciendo una fuerza pulsante, con frecuencia doble, sobre los contactos. Es decir, los contactos de un relé conectado a la red, en algunos lugares, como varios países de Europa y Latinoamérica oscilarán a 50 Hz y en otros, como en Estados Unidos lo harán a 60 Hz.

Este hecho se aprovecha en algunos timbres y zumbadores, como un activador a distancia. En un relé de corriente alterna se modifica la resonancia de los contactos para que no oscilen.

3.8.3.2 Relé de láminas

Este tipo de relé se utilizaba para discriminar distintas frecuencias. Consiste en un electroimán excitado con la corriente alterna de entrada que atrae varias varillas sintonizadas para resonar a sendas frecuencias de interés. La varilla que resuena acciona su contacto; las demás, no.

Los relés de láminas se utilizaron en aeromodelismo y otros sistemas de telecontrol.

3.8.3.3 Ventajas del uso de relés

La gran ventaja de los relés electromagnéticos es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento, la que circula por la bobina del electroimán, y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control. En la (Tabla 26) se indican varios modelos de relés de la marca CAMSCO.

También ofrecen la posibilidad de control de un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control.

Tabla 26. Relés encapsulados CAMSCO

TIPO: 11 PINES REDONDOS/SERIE MK 10A/5A				
REFERENCIA	VOLTAJE	CONTACTOS CONMUTADOS	CORRIENTE	CARTON
MK3P-1-12VDC	12 VDC	3NA - 3NC	10A/5A	20
MK3P-1-24VDC	24 VDC	3NA - 3NC	10A/5A	20
MK3P-1-12VAC	12 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20
MK3P-1-24VAC	24 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20
MK3P-1-110VAC	110 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20
MK3P-1-220VAC	220 VAC	3NA - 3NC	10A/5A	20
PF-113AE	BASE DE 11 HUECOS REDONDOS PARA MK-3P			400/10

Fuente: (SUMELEC, 2007)

3.8.4 Presostato

El presostato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

3.8.4.1 Operación

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado. (Wikipedia, 2010)

No deben ser confundidos con los transductores de presión (medidores de presión), mientras estos últimos entregan una señal variable en base al rango de presión, los presostatos entregan una señal apagado/encendido únicamente. En la (Fig. 32) se puede observar las partes que conforman un presostato.

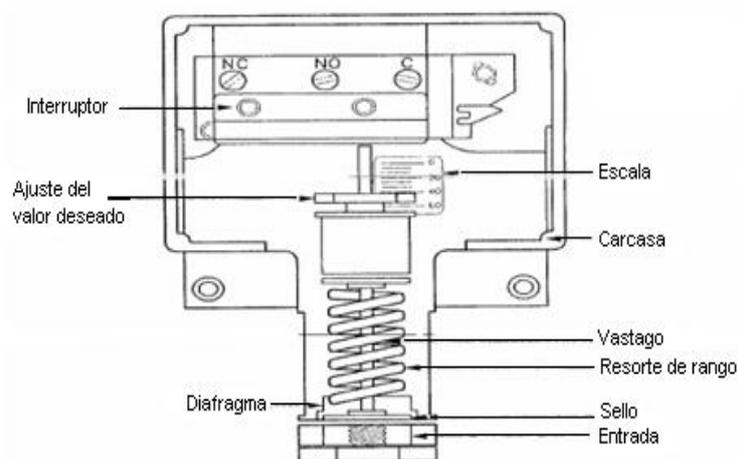


Fig. 32 Partes de un presostato

3.8.4.2 Tipos

Los tipos de presostatos varían dependiendo del rango de presión al que pueden ser ajustados, temperatura de trabajo y el tipo de fluido que pueden medir.

3.8.4.3 Usos

Los usos son muy variados. Algunos ejemplos: la luz roja de falta de presión de aceite de un automóvil está conectada a un presostato. La bomba de agua está controlada por un presostato en el sistema hidroneumático (hidráulico) de una casa.

Los presostatos en general no tienen la capacidad para encender directamente el equipo que están controlando y se ayudan con un relevador o contactor eléctrico, el encendido del aire acondicionado de un coche también va determinado por un presostato. La Tabla 27 muestra diversos tipos de presostatos.

Tabla 27. Presostatos de alta y de baja

MODELO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO ANTARTIC	
KP1	PRESOSTATO DE BAJA Rango: - 0.2 A 7.5 bar (2.9 a 108 PSI) Diferencial: 0.7 a 4 bar (10 a58 PSI) Rearme: Automático Conexión: ¼ de pulgada	3200DA-001	
KP5	PRESOSTATO DE ALTA Rango: 8 a 28 bar (116 a 406 PSI) Conexión: ¼ de pulgada	Diferencial: 1.8 a 6 bar(26 a 87 PSI) Rearme: Automático	3200DA-005
		Diferencial: Fijo 3 bar (44 PSI) Rearme: Manual	3200DA-006
KP15	PRESOSTATO DE ALTA Y BAJA Rango Alta: 8 a 32 bar (116 a 406 PSI) Diferencial Alta: 4 bar (58 PSI) Rango Baja: - 0.2 a 7.5 bar (10 a 108 PSI) Rearme baja Presión: Automático Conexiones: ¼ de pulgada	3200DA-015 Rearme automático lado alta presión	
		3200DA-018 Rearme manual Lado alta presión	

Fuente: (Suner, 2007)

3.8.5 Electroválvula

Las válvulas neumáticas controlan o regulan el paso del aire comprimido y su clasificación se efectúa por la función que desarrollan. Siguiendo las recomendaciones de CETOP, la norma DIN 24300 establece la siguiente división: Los diferentes tipos de válvulas existentes son: direccionales o distribuidoras, de bloqueo, de presión, de caudal y de cierre. (Varios, NEUMATICA, 2009)

$$P_{Electrválv} = I_{Electrválv} * V_{Electrválv} \quad (35)$$

$I_{Electrválv}$: Intensidad de consumo propio de la electroválvula

$V_{Electrválv}$: Voltaje de trabajo de la electroválvula

$$carga\ de\ consumo = P_{Compr} + P_{Electrválv} + P_{relés} \quad (36)$$

En primer lugar, diremos que este tipo de válvulas tienen la peculiaridad de accionarse ante unas determinadas condiciones. Son válvulas con la capacidad de bloquear o permitir el paso del aire comprimido (Fig. 33) cuando se dan ciertas condiciones en el circuito.

En este tipo de válvulas encontraremos:

- Anti retorno
- De simultaneidad
- De selección de circuito (selectoras)
- De escape.



Fig. 33 Electroválvula de 12V

3.9 DIFUSORES

3.9.1 Difusión

Distribución de aire por una boca que descarga en varias direcciones y planos.

3.9.2 Difusor

Boca de salida de aire suministrado en varias direcciones y planos.

3.9.3 Fórmulas para el cálculo de difusores

A partir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida de un líquido por un orificio.

3.9.3.1 Velocidad teórica de salida

La velocidad de un líquido en una vasija abierta, por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera, cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio.

La velocidad teórica de salida de un fluido por un orificio es independiente de la densidad del fluido y viene dada por la Ecuación de Torricelli: (Mataix, 1978)

$$V_t = \sqrt{2 * g * h} \quad (37)$$

Dónde:

h : Altura del fluido por encima del orificio (m)

$h = \text{presión promedio del tanque} - \text{profundidad que se sumerge el difusor}$

$$h = \frac{P_{promd} \times 10}{14.7} - \text{profundidad que se sumerge el difusor} \quad (38)$$

g : Es la aceleración de la gravedad

3.9.3.2 Caudal descargado

El caudal o volumen del fluido que pasa por el orificio en un tiempo $Q_{1 \text{ orificio}}$, puede calcularse como el producto de $A_{1 \text{ orificio}}$ que es el área de uno de los orificios del difusor, por la velocidad teórica de salida por el orificio V_t , y por consiguiente se puede escribir la siguiente ecuación que representa la descarga ideal que habría ocurrido si no estuvieran presentes la fricción y la contracción. (Wikipedia, 2010)

$$Q_{1 \text{ orificio}} = A_{1 \text{ orificio}} * V_t \quad (39)$$

$$A_{1 \text{ orificio}} = \frac{\pi \times \phi_{\text{orificio}}^2}{4} \quad (40)$$

Para calcular el caudal total descargado, se multiplica por el número de orificios que tiene el difusor:

$$Q_{\text{Total descarg}} = C_d * Q_{1 \text{ orificio}} * \# \text{ de orificios} \quad (41)$$

C_d : Es el coeficiente por el cual el valor ideal de descarga es multiplicado para obtener el valor real, y se conoce como coeficiente de descarga, Fig. 34. (Varios, Descarga por un orificio, 2006)

Numéricamente es igual al producto de:

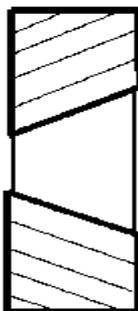
$$C_d = C_c * C_v \quad (42)$$

C_v : Es el coeficiente de velocidad, Fig. 34.

C_c : Es el coeficiente de contracción de la vena fluida a la salida del orificio, Fig. 34. Su significado radica en el cambio brusco de sentido que deben realizar las partículas de la pared interior próximas al orificio.

Es la relación entre el área contraída A_c y la del orificio $A_{1 \text{ orificio}}$.

a) Boquilla cónica:

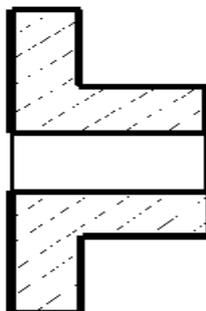


$$C_v = 0.45 \text{ a } 0.50$$

$$C_c = 1.0$$

$$C_D = 0.45 \text{ a } 0.50$$

b) Boquilla de Borda:

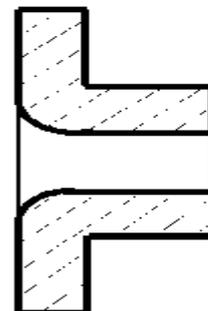


$$C_v = 0.98$$

$$C_c = 0.52$$

$$C_D = 0.51$$

c) Boquilla de trompeta:



$$C_v = 0.98$$

$$C_c = 1.0$$

$$C_D = 0.98$$

Fig. 34 Valores delos coeficiente de velocidad, contracción y descarga para tres tipos de boquillas de sección circular

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 METODOLOGÍA

Para llegar a cumplir con los objetivos que se establecieron para esta tesis, se debieron realizar una serie de experiencias y actividades, en primer lugar se recolectó información relacionada con el tema de tesis, a la cual se la sistematizó, y como se puede ver en el capítulo 3 de revisión de literatura donde consta toda esta información, que ayuda a comprender los procesos que actúan en la aireación de agua mediante energía solar y brinda datos necesarios para el diseño del sistema de oxigenación de agua.

El modelo matemático desarrollado por Eckenfelder Jr y O`Connor es utilizado en diversos trabajos investigativos, razón por lo cual se decidió utilizar este modelo y a partir de él realizar varios cálculos como la tasa de transferencia de oxígeno, tiempo de retención hidráulico, oxígeno requerido por la laguna, potencia unitaria de aireación entre los más importantes. Y mediante diversa bibliografía se realizó el cálculo del panel, de la batería, del controlador de carga, y se seleccionó los relés, el presostato, y la electroválvula.

Se determinó el diseño y construcción de un aireador de agua mediante difusión de burbujas y con abastecimiento de energía a partir de un sistema fotovoltaico debido a las siguientes ventajas y características:

- Factores Económicos

La creación del sistema prototipo de oxigenación de agua permitirá reducir gastos en contratación de mano de obra para mantenimiento de la laguna.

- Factores de Construcción.

Es de mayor simplicidad que otros tipos de aireadores, y existe la tecnología en nuestro medio para realizar su construcción.

- Factores de Rendimiento.

Son de uso moderado, tienen un mejor rendimiento que otros tipos de aireadores y permiten que sustancias y microorganismos dañinos presentes en el agua, se reduzcan en altos porcentajes.

- Factores de Funcionamiento.

Es de fácil regulación de presión y caudales, y su mantenimiento no es dificultoso.

4.2 PROPUESTA ALTERNATIVA

El presente trabajo de tesis se centró en el diseño y construcción de un sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar para la Laguna Daniel Álvarez de la Ciudad de Loja, con la finalidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera de Ingeniería Electromecánica, y al mismo tiempo contribuir con la sociedad.

Se diseñó y construyó un aireador de agua mediante difusión de burbujas con abastecimiento de energía a partir de un sistema fotovoltaico, debido a su mayor simplicidad y mejor rendimiento en comparación con otros tipos de aireadores.

Este prototipo tiene como finalidad de plantear una propuesta al Ilustre Municipio de Loja, ya que en una de las lagunas de la ciudad, hemos visto la necesidad de construir un sistema prototipo de oxigenación de agua, que permita la eliminación de bacterias, microorganismos y así de esta manera evitar molestias a la ciudadanía por los malos olores que produce la misma.

Por otro lado, es importante la incorporación de nuevas tecnologías a los procesos de oxigenación de la laguna los cuales permitan mejorar la calidad del agua, debido a las exigencias y necesidades de estos procesos, es indispensable el uso de tecnología aplicable en nuestro medio que permita dar solución a estos problemas planteados en esta tesis.

El ámbito de trabajo del siguiente proyecto investigativo se encuentra ubicado en la laguna de la ciudadela Daniel Álvarez de la ciudad de Loja, la cual tiene un área de 1 hectárea y un volumen de agua aproximadamente de $113333,3 \text{ m}^3$. La capacidad de oxigenación del prototipo planteado, tiene como objetivo airear unos $3752,8 \text{ m}^3$ de agua en la laguna base del presente estudio, de acuerdo a los cálculos matemáticos realizados.

4.3 CÁLCULOS MATEMÁTICOS

4.3.1 Caudal de oxígeno de los compresores

El sistema de alimentación de oxígeno está conformado por tres compresores de corriente continua, los cuales individualmente según sus especificaciones producen caudales de aire de:

$$Q = 0,012 \frac{m^3}{min} \text{ }^1$$

Transformando a otras unidades de medida tenemos:

$$Q = 0,012 \frac{m^3}{min} * \frac{1min}{60seg} = 200 \times 10^{-6} \frac{m^3}{seg}$$

$$Q = 0,012 \frac{m^3}{min} * \frac{1lit}{0,001 m^3} = 12 \frac{lit}{min} * \frac{1gal}{3,785 lit} = 3,17 \frac{gal}{min}$$

4.3.1.1 Caudal Másico producido por los tres compresores

$$m^o = Q * \rho_{aire} * 3 \text{ compresores} \quad (26)$$

El valor de la densidad del aire fue tomado de la Tabla 24. Se tomó un valor en relación a una altura de 2134 metros, que se aproxima a la “altura que se encuentra la ciudad de Loja sobre el nivel del mar que es de 2060 m”².

$$\rho_{aire} = 0,9931 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m^o = 0,012 \frac{m^3}{min} * 0,9931 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m^o = 11,917 \times 10^{-3} \frac{Kg}{min} = 0,715 \frac{Kg}{h} = 17,16 \frac{Kg}{día}$$

$$m^o = 0,715 \frac{Kg}{h} * 3 \text{ compresores}$$

$$m^o = 2,145 \frac{Kg}{h}$$

¹ Dato tomado del manual de compresores Campbell Hausfeld, referencia (Hausfeld, 2002)

² Dato tomado de la referencia: (Exploring Ecuador, 2010),
http://www.exploringecuador.com/espanol/sp_ar_ciudad_loja.htm

4.3.2 Volumen del tanque de almacenamiento de aire

$$V_{tanqalmac} = \text{Área}_{tanque} * altura_{tanque} \quad (21)$$

$$\text{Área}_{tanque} = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad (22)$$

Dónde:

ϕ : Diámetro del tanque de almacenamiento; $\phi = 22 \text{ cm}$

$altura_{tanque} = 50 \text{ cm}$

$$V_{tanqalmac} = \frac{\pi * \phi^2}{4} * 50 \text{ cm} = \frac{\pi * (22 \text{ cm})^2}{4} * 50 \text{ cm} = 19006.6 \text{ cm}^3$$

$$V_{tanqalmac} = 19.006 \text{ lit} * \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ lit}} = 5 \text{ gal}$$

4.3.2.1 Tiempo de llenado de tanque de almacenamiento

$$tiempollenado = \frac{V_{tanqalmac}}{Q * 3 \text{ compresores}} \quad (23)$$

$$tiempollenado = \frac{5 \text{ gal}}{3,17 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * 3} = 0,525 \text{ min} = 31,5 \text{ seg}$$

4.3.3 Tasa de transferencia de Oxígeno

$$N = N_o \left[\alpha \left(\frac{\beta C_{SW} - C_L}{C_{St}} \right) * 1.02^{(T-20)} \right] \quad (11)$$

Dónde:

N_o : Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones estándares, mediante la (Tabla 12) para difusores de burbuja gruesa tomamos: $N_o = 1,5 \frac{\text{KgO}_2}{\text{KWh}}$

α : Velocidad relativa de transferencia de oxígeno referida al agua limpia. Tomado de la (Tabla 10). $\alpha = 0,7$

β : Concentración relativa de saturación referida al agua limpia. Tomado de la (Tabla 10). $\beta = 1$

C_L : Concentración de oxígeno disuelto en lagunas. Tomado de la (Tabla10). $C_L = 0.5 \frac{mg}{lit}$

C_{St} : Valor de saturación del oxígeno en agua pura en condiciones estándares: Tomado de la (Tabla 10). $C_{St} = 9,08 \frac{mg}{lit}$

C_{SW} : Valor de saturación del oxígeno en agua pura a una temperatura dada. Tomado de la (Tabla 9) a una temperatura de $18^{\circ}C$ ³ que es la temperatura media anual de la ciudad de Loja. $C_{SW} = 9,54 \frac{mg}{lit}$

4.3.3.1 Corrección del valor de saturación de Oxígeno a una temperatura dada

$$C'_{SW} = C_{SW} \left(\frac{P_A - p}{760 - p} \right) \quad (10)$$

P_A : Presión barométrica en mm Hg, según la altura de Loja $\cong 2134$ metros de altura, mediante la (Tabla 25). $P_A = 587 \text{ mm Hg}$

p : Presión de vapor de agua saturada a temperatura de las aguas residuales en mmHg. Según la (Tabla 11), a una temperatura de $18^{\circ}C$ ³. $p = 16 \text{ mm Hg}$

$$C'_{SW} = 9,54 \frac{mg}{lit} \left(\frac{587 - 16}{760 - 16} \right) = 7,32 \frac{mg}{lit}$$

Desarrollando la ecuación (11), se tiene:

$$N = N_o \left[0,7 \left(\frac{1 * 7,32 \frac{mg}{lit} - 0,5 \frac{mg}{lit}}{9,08 \frac{mg}{lit}} \right) * 1,02^{(18-20)} \right]$$

$$N = 0,505 * N_o = 0,505 * 1,5 \frac{KgO_2}{KWh} = 0,758 \frac{KgO_2}{KWh}$$

$$N = 0,758 \frac{KgO_2}{KWh} * \frac{2,2lib}{1 Kg} * \frac{0,736 KW}{1 CV}$$

$$N = 1,23 \frac{lib}{CVh} \cong 1,3 \frac{lib}{CVh}$$

³ Dato tomado de la referencia: (Exploring Ecuador, 2010), http://www.exploringecuador.com/espanol/sp_ar_ciudad_loja.htm

El valor de N que se obtuvo está cercano a los rangos de eficiencia de un aireador difusor de burbuja gruesa que están entre $\left(1,3 \text{ y } 2 \frac{\text{lib}}{\text{CVh}}\right)$, que nos muestra la Tabla 6.

4.3.4 Volumen de la laguna

$$\text{Área}_{laguna} = 1 \text{ Hectárea}^4 = 10000 \text{ m}^2$$

$$\text{Profundidad en la orilla de la laguna} = 4 \text{ m.}^4$$

$$\text{Profundidad en la parte media de la laguna} = 10 \text{ m.}^4$$

$$\text{Profundidad en la parte central de la laguna} = 20 \text{ m.}^4$$

$$\text{Profundidad}_{promed} = \frac{4 \text{ m} + 10 \text{ m} + 20 \text{ m}}{3} = 11,3 \text{ m}$$

$$V_{laguna} = \text{área} * \text{Profundidad}_{promed} \quad (2)$$

$$V_{laguna} = 10000 \text{ m}^2 * 11,3 \text{ m}$$

$$V_{laguna} = 113333,3 \text{ m}^3$$

4.3.5 Corrección de la tasa cte de remoción de sustratos para 18 °C

El valor de k y θ fue tomado de la Tabla 5, del autor Arceivala.

$$k = 0,03 \frac{\text{lit}}{\text{mg día}} \quad \text{a } 20^\circ\text{C y } \theta = 1,035$$

$$k = k_{20^\circ\text{C}} * \theta^{T-20} \quad (6)$$

$$k = k_{20^\circ\text{C}} * \theta^{T-20} = 0,03 \frac{\text{lit}}{\text{mg día}} * (1,035)^{18-20}$$

$$k = 0,028 \frac{\text{lit}}{\text{mg día}}$$

⁴ Dato obtenido a través del Municipio de Loja y del cuidador de la Laguna de la Daniel Álvarez.

4.3.6 Corrección de la tasa cte de respiración endógena para 18 °C

“El valor de k_d varía de 0,05 a 0,22 día⁻¹”⁵, y el de θ fue tomado de la Tabla 5, del autor Arceivala.

$$k_d = 0,22 \text{ día}^{-1} \text{ y } \theta = 1,035$$

$$k_d = k_{d20^\circ\text{C}} * \theta^{T-20} \quad (7)$$

$$k_d = k_{d20^\circ\text{C}} * \theta^{T-20} = 0,22 \text{ día}^{-1} * (1,035)^{18-20} = 0,205 \text{ día}^{-1}$$

4.3.7 Concentración intermedia de materia Biodegradable DBO

$$S_1 = \frac{k_d}{Yk} + \left(\frac{X_{v,a(2)} * S_e}{Y} \right)^{0,5} \quad (5)$$

$X_{v,a(2)}$: Concentración de sólidos suspendidos volátiles. “Varía de 50 a 100 $\frac{\text{mg}}{\text{lit}}$ según Eckenfelder Jr”⁵. Tomamos $X_{v,a(2)} = 50 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}$

S_e : Concentración de materia biodegradable DBO_5 . “Para efecto de cálculo se adopta un valor que esté entre 20 a 30 $\frac{\text{mg}}{\text{lit}}$ ”⁵. Tomamos $S_e = 20 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}$.

Y : Coeficiente de producción de lodos. Este dato fue tomado de la Tabla 5, del autor Arceivala. $Y = 0,5$

$$S_1 = \frac{0,205 \text{ día}^{-1}}{0,5 * 0,028 \frac{\text{lit}}{\text{mg día}}} + \left(\frac{50 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} * 20 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}}{0,5} \right)^{0,5} = 59,36 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}$$

4.3.8 Tiempo de retención hidráulico

$$t = \frac{S_1 - S_e}{k * X_{v,a(2)} * S_e} \quad (13)$$

$$t = \frac{59,36 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} - 20 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}}{0,028 \frac{\text{lit}}{\text{mg día}} * 50 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} * 20 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}} = 1,41 \text{ días}$$

$$t \cong 2 \text{ días}$$

⁵ Datos obtenidos de la referencia: (Rolim Mendça, 1999), páginas 19 y 23

Según la Tabla 14, este tiempo de retención calculado está dentro de los rangos de laguna aireada de mezcla completa que van de 2 a 7 días. Y según la Tabla 16 para los rangos de temperatura de 15 a 20 °C de la superficie del agua en la laguna, habría entre un 40 a 50% de reducción de la DBO.

4.3.9 Caudal medio de la laguna

$$Q_{med} = \frac{V_{laguna}}{t} \quad (1)$$

$$Q_{med} = \frac{113333,3 \text{ m}^3}{2 \text{ días}}$$

$$Q_{med} = 56666,65 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

4.3.10 Oxígeno requerido por toda la laguna

$$O_2total = a(S_0 - S_1) * Q_{med} + b * X_{v,a(1)} * V_{laguna} \quad (12)$$

a: Fracción del sustrato removido para la producción de energía. Dato tomado de la Tabla 5. Según el autor Arceivala, $a = 0,52$

b: Oxígeno necesario para la respiración endógena. Dato tomado de la Tabla 5. Según el autor Arceivala, $b = 0,14$

S_0 : Demanda química de oxígeno DQO. Dato tomado del primer análisis físico - químico del agua cruda realizado en la UMAPAL, anexo (5). $S_0 = 102 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}$

$X_{v,a(1)}$: Concentración de sólidos suspendidos en la masa líquida. Dato tomado del primer análisis físico-químico del agua cruda realizado en la UMAPAL, anexo (5):

$$X_{v,a(1)} = 19 \frac{\text{mg}}{\text{lit}}$$

$$O_2total = 0,52 \left(102 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} - 59,36 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} \right) * 56666,65 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 0,14 * 19 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} * 113333,3 \text{m}^3$$

$$O_2total = 1256458,3 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{lit}}{10^{-3} \text{m}^3} * \frac{1 \text{g}}{10^3 \text{mg}} + 301466,6 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} * \frac{1 \text{lit}}{10^{-3} \text{m}^3} * \frac{1 \text{g}}{10^3 \text{mg}}$$

$$O_2total = 1557924,9 \frac{\text{g}O_2}{\text{día}} = 64,9 \frac{\text{Kg}O_2}{\text{h}} \Rightarrow \text{Para toda la laguna}$$

Relacionando los datos obtenidos en las ecuaciones (12) y (26) tenemos:

$$\text{Tenemos} = \frac{O_2 \text{ total}}{m^o}$$

$$\frac{O_2 \text{ total}}{m^o} = \frac{64,9 \frac{KgO_2}{h}}{2,145 \frac{KgO_2}{h}} = 30,2$$

Con esto podemos decir que para poder airear a toda la laguna que tiene una capacidad de $113333,3 \text{ m}^3$, hay que dimensionar la máquina de aireación 30,2 veces su capacidad actual de trabajo.

4.3.11 Volumen de agua que se puede airear con la máquina

$$V_{\text{airea máqui}} = \frac{V_{\text{laguna}}}{\frac{O_2 \text{ total}}{m^o}} \quad (3)$$

$$V_{\text{airea máqui}} = \frac{113333,3 \text{ m}^3}{30,2} = 3752,8 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{med } 2} = \frac{V_{\text{airea máqui}}}{t} \quad (4)$$

$$Q_{\text{med } 2} = \frac{3752,8 \text{ m}^3}{2 \text{ días}} = 1876,4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

4.3.12 Oxígeno requerido por el volumen de agua de $3752,8 \text{ m}^3$

$$O_2 \text{ total} = a(S_0 - S_1) * Q_{\text{med}} + b * X_{v,a(1)} * V_{\text{laguna}} \quad (12)$$

De la ecuación 12 se hace una variación adaptándola, cambiando Q_{med} y V_{laguna} por $Q_{\text{med } 2}$ y $V_{\text{airea máqui}}$, respectivamente.

$$O_2 \text{ total de } V_{\text{airea máqui}} = a(S_0 - S_1) * Q_{\text{med } 2} + b * X_{v,a(1)} * V_{\text{airea máqui}}$$

$$O_2 \text{ total de } V_{\text{airea máqui}} = 0,52 \left(102 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} - 59,36 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} \right) * 1876,4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 0,14 * 19 \frac{\text{mg}}{\text{lit}} * 3752,8 \text{ m}^3$$

$$O_2 \text{ total de } V_{\text{airea máqui}} = 51587,5 \frac{gO_2}{\text{día}} = 2,149 \frac{KgO_2}{h}$$

Comparando el oxígeno requerido $O_2 total$ de $V_{airea máqui}$ con caudal másico m^o producido por los tres compresores de corriente continua, tenemos:

$$O_2 total de V_{airea máqui} = 2,149 \frac{KgO_2}{h} \approx m^o = 2,145 \frac{Kg}{h}$$

El caudal másico producido por los tres compresores abastece a las necesidades de oxígeno requerido por el volumen de agua de $3752,8 m^3$ de la laguna.

4.3.13 Potencia total requerido para toda la laguna

$$P_t laguna = \frac{O_2 total}{24N} \times 10^{-3} \quad (8)$$

Como $O_2 total$ y N , ya se calcularon anteriormente sus valores y se reemplazan en la ecuación (8):

$$P_t laguna = \frac{1557924,9 \frac{gO_2}{día}}{24 * 0,758 \frac{KgO_2}{KWh}} \times 10^{-3}$$

$$P_t laguna = 85,63 KW$$

4.3.14 Potencia unitaria de aireación

$$P_u = \frac{P_t laguna}{V_{laguna}} \times 10^3 \quad (9)$$

$$P_u = \frac{85,63 KW}{113333,3 m^3} \times 10^3$$

$$P_u = 0,7556 \frac{W}{m^3} = 7,556 \times 10^{-4} \frac{KW}{m^3}$$

El valor calculado de potencia unitaria esta dentro de los rangos que indica la referencia de Arceivala (1981) en la Tabla 8.

4.3.15 Cálculo del caudal de aire que sale por el difusor

4.3.15.1 Velocidad de salida del aire

$$V_t = \sqrt{2 * g * h} \quad (37)$$

Dónde:

h : Altura del fluido por encima del orificio (m)

g : Es la aceleración de la gravedad

4.3.15.1.1 Cálculo de la altura del fluido por encima del orificio de salida

$h = \text{presión promedio del tanque} - \text{profundidad que se sumerge el difusor}$

$$h = \frac{P_{promd} \times 10}{14.7} - \text{profundidad que se sumerge el difusor} \quad (38)$$

Dónde:

P_{promd} : Presión promedio del tanque de almacenamiento, $P_{promd} = 40 \text{ PSI}$.⁶

Profundidad que se sumerge el difusor = 2 m

$$h = \frac{40 \text{ PSI} \times 10 \text{ mca}}{14.7 \text{ PSI}} - 2 \text{ m}$$

$$h = 27,2 \text{ m} - 2 \text{ m}$$

$$h = 25,2 \text{ m}$$

Sustituimos el valor de h en la fórmula (37)

$$V_t = \sqrt{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} * 25,2 \text{ m}}$$

$$V_t = 22,2 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

4.3.15.1.2 Cálculo del área de un orificio del difusor

$$A_{1 \text{ orificio}} = \frac{\pi \times \phi_{\text{orificio}}^2}{4} \quad (40)$$

Dónde: $\phi = \frac{1}{8} \text{ pulg}$

$$A_{1 \text{ orificio}} = \frac{\pi \times \left(\frac{1}{8} \text{ pulg} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ pulg}}\right)^2}{4}$$

$$A_{1 \text{ orificio}} = 7,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

⁶ Presión que se calibro en el presostato

4.3.15.2 Cálculo del caudal de aire total que sale por el difusor

$$Q_{1 \text{ orificio}} = A_{1 \text{ orificio}} * V_t \quad (39)$$

$$Q_{1 \text{ orificio}} = 7,9 \times 10^{-6} \text{m}^2 * 22,2 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$Q_{1 \text{ orificio}} = 1,75 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Para calcular el caudal total descargado, se multiplica por el número de orificios que tiene el difusor, que en este caso son 15:

$$Q_{\text{Total descarg}} = C_d * Q_{1 \text{ orificio}} * \# \text{ de orificios} \quad (41)$$

Dónde:

C_d : Es el coeficiente por el cual el valor ideal de descarga es multiplicado para obtener el valor real, y se conoce como coeficiente de descarga. Numéricamente es igual al producto de:

$$C_d = C_c * C_v \quad (42)$$

C_v : Es el coeficiente de velocidad. Tomado de la (Fig. 37): $C_v = 0,98$

C_c : Es el coeficiente de contracción de la vena fluida a la salida del orificio. Tomado de la (Fig. 37): $C_c = 0,52$

$$C_d = 0,98 * 0,52$$

$$C_d = 0,51$$

Desarrollando la ecuación (41) tenemos:

$$Q_{\text{Total descarg}} = 0,51 * 1,75 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * 15 \text{ orificios}$$

$$Q_{\text{Total descarg}} = 1,343 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 8,1 \times 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$Q_{\text{Total descarg}} = 1,343 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * \frac{1000 \text{ lit}}{1 \text{ m}^3} = 1,343 \frac{\text{lit}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{Total descarg}} = 1,343 \frac{\text{lit}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ lit}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 21,3 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

4.3.15.3 Tiempo de descarga del tanque de almacenamiento

$$t_{Descarga} = \frac{V_{tanqalmac}}{Q_{Total\ descarg}} \quad (24)$$

$$t_{Descarga} = \frac{5\ gal}{21,3\ \frac{gal}{min}} = 0,234\ min * \frac{60\ seg}{1\ min}$$

$$t_{Descarga} = 14,1\ seg$$

4.3.16 Requisitos de energía para sistemas de difusión de aire comprimido

$$KW = 0.224 * Qa \left[\left(\frac{Pc}{P_{atm}} \right)^{0.28} - 1 \right] \quad (27)$$

$Qa = Q_{Total\ descarg}$: Gasto de aire comprimido en $\frac{pie^3}{min}$

Pc : Es la presión absoluta de compresión (PSI)

$$Pc = a_{hidrost} + pérdidas + P_{atm} \quad (28)$$

$a_{hidrost}$: Altura hidrostática sobre los difusores (PSI), que es de 2 m.

$pérdidas$: Se asume un valor de 0,5 PSI

P_{atm} : Presión atmosférica en la localidad (PSI), valor que se tomó de la Tabla 17, debido a que Loja se encuentra a una altura de 2060 m sobre el nivel del mar, se tomó el valor de 11,3 PSI que corresponde a una altura de 2133,6 m, ya que está cercana a la de Loja.

Transformando la altura hidrostática de metros a PSI tenemos:

$$a_{hidrost} = 2\ m * \frac{14,7\ PSI}{10\ m} = 3\ PSI$$

Sustituyendo valores en la ecuación (28), se tiene:

$$Pc = 3\ PSI + 0,5\ PSI + 11,3\ PSI = 14,8\ PSI$$

Desarrollando la ecuación (27):

$$KW = 0.224 * 8,1 * 10^{-2} \frac{m^3}{min} * \frac{35,31\ pie^3}{1\ m^3} * \left[\left(\frac{14,8\ PSI}{11,3\ PSI} \right)^{0.28} - 1 \right]$$

$$KW = 0,0502\ KW \Rightarrow KW = 50,3\ W$$

4.3.17 Cálculo de la capacidad de los paneles

Puesto que, funcionará en una laguna, se debe evitar que los dispositivos eléctricos tengan contacto con el agua, para lo cual se los debe aislar correctamente todos los dispositivos y así evitar accidentes.

4.3.17.1 Tamaño del panel

$$A_r = 1200 \times \frac{Ed}{ld} \quad (14)$$

Dónde:

A_r : Tamaño del panel (Wp)

Ed : Consumo de electricidad (KWh/día)

$$Ed = \left[(\text{carga de consumo}) \frac{n^\circ \text{ h de trabajo}}{\text{día}} \right] * 10^{-3} \quad (15)$$

$\frac{n^\circ \text{ h de trabajo}}{\text{día}}$: Se tomó unas 4 horas de trabajo al día

ld : Irradiación Global promedio sobre un plano horizontal en la ciudad de Loja, según la Tabla 19, tomamos el dato del valor mínimo que es:

$$ld = 4500 \frac{Wh}{m^2 \text{ día}} = 4.5 \frac{KWh}{m^2 \text{ día}}$$

$$P_{Compr} = I_{compr} * V_{compr} * n^\circ \text{ de compr} \quad (25)$$

I_{compr} : Intensidad de consumo propio de cada compresor; $I_{compr} = 1.5 \text{ A}$.⁷

V_{compr} : Voltaje de trabajo de cada compresor; $V_{compr} = 12 \text{ V}$.⁸

$$P_{Compr} = 1.5 \text{ A} * 12 \text{ V} * 3$$

$$P_{Compr} = 54 \text{ W}$$

Al comparar las ecuaciones (27) y (25), podemos darnos cuenta de que ambas representan lo mismo y con valores similares:

$$KW = 50,3 \text{ W} \cong P_{Compr} = 54 \text{ W}$$

Pudiendo tomar cualquiera de estos dos valores para calcular el consumo de electricidad.

$$P_{relés} = I_{relé} * V_{relé} * \# \text{ relés} \quad (34)$$

$I_{relé}$: Es la intensidad de consumo propia de cada relé que se tiene en el sistema.

⁷ Intensidad medida mediante un amperímetro de pinza, Tabla 29

⁸ Dato técnico de los compresores CAMPBELL HAUSFELD, Referencia (Hausfeld, 2002), Tabla 29

$$I_{relé} = 0,5 A. ^9$$

$V_{relé}$: Voltaje de trabajo de cada relé. $V_{relé} = 12 V. ^{10}$

$$P_{relés} = 0,5 A * 12 V * 3 = 18 W$$

$$P_{Electrválv} = I_{Electrválv} * V_{Electrválv} \quad (35)$$

$I_{Electrválv}$: Es la intensidad de consumo propia de la electroválvula que se tiene en el sistema. $I_{Electrválv} = 1,5 A. ^{11}$

$V_{Electrválv}$: Voltaje de trabajo de la electroválvula. $V_{Electrválv} = 12 V. ^{12}$

$$P_{Electrválv} = 1,5A * 12V = 18 W$$

$$carga\ de\ consumo = P_{Compr} + P_{Electrválv} + P_{relés} \quad (36)$$

$$carga\ de\ consumo = 50,3 W + 18 W + 18W$$

$$carga\ de\ consumo = 86,3 W$$

Desarrollando la ecuación (15):

$$Ed = \left[(86,3 W) \frac{4 h}{día} \right] * 10^{-3}$$

$$Ed = 0.3452 \frac{KWh}{día}$$

Sustituyendo términos en la ecuación (14):

$$A_r = 1200 \times \frac{0.3452 \frac{KWh}{día}}{4.5 \frac{KWh}{m^2 día}}$$

$$A_r = 92 Wp$$

Se escoge un Panel solar de marca EXMORK, Tabla 18, Polycristalino 100 Wp/12V, con un Voltaje de circuito abierto/óptimo: 21/17.5 V, la Corriente cortocircuito/óptimo: 6.19/5.7 A y de dimensiones: 109 x 79 x 4 cm, en concordancia con el tamaño del panel calculado.

⁹ Dato técnico obtenido de la referencia: (Camsco, 2010), Tabla 29

¹⁰ Datos técnicos del relé, referencia: (SUMELEC, 2007), Tabla 26

¹¹ Intensidad medida mediante un amperímetro de pinza, Tabla 29

¹² Datos técnicos de la electroválvula, referencia: (Lesser, 2010), Tabla 29

4.3.17.2 Ángulo de inclinación del panel

El ángulo de inclinación (α) es el formado entre la superficie colectora y la horizontal del lugar, y es igual a la latitud del lugar que en el caso de la ciudad de Loja viene a ser de 4° , más 15° que es la pendiente del plano sobre el cual incide la radiación.

$$\text{Inclinación } \alpha = \text{Latitud de Loja} + 15^\circ \quad (16)$$

$$\text{Inclinación } \alpha = 4^\circ + 15^\circ \quad \text{Inclinación } \alpha = 19^\circ$$

4.3.18 Cálculo del tamaño de la batería

$$\text{Tamaño} = \frac{AUT \times Ed}{REND \times DESC} \quad (18)$$

$$AUT \text{ (Autonomía - días sin brillo solar)} = 2 \text{ días}$$

El consumo de electricidad Ed ya se calculó anteriormente y se obtuvo:

$$Ed = 0.3452 \frac{KWh}{\text{día}}$$

$$REND \text{ (Eficiencia de la batería solar)} = 80 \%$$

$$DESC \text{ (Descarga de la batería solar)} = 80 \%$$

$$\text{Tamaño} = \frac{2 \text{ días} \times 0.3452 \frac{KWh}{\text{día}}}{(0.8 \times 0.8)} = 1.079 \text{ KW.h} = 1079 \text{ W.h}$$

4.3.18.1 Numero de baterías

$$N^\circ \text{Baterías} = \frac{\text{Tamaño}}{Ah \times V} \quad (19)$$

$$N^\circ \text{Baterías} = \frac{1079 \text{ W.h}}{100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}} = 0.9 \text{ Baterías}$$

De acuerdo a los datos obtenidos, de la Tabla 21 se escoge una batería de marca CAPSA SP100 - 12 VDC - 100 Ah de Plomo Ácido Líquido, y es suficiente para las necesidades del sistema prototipo de aireación.

4.3.18.2 Capacidad de acumulación de energía de la batería

$$Wh = \text{Voltaje}_{\text{nominal}} * Ah \quad (17)$$

$$Wh = 12 \text{ V} * 100 \text{ Ah}$$

$$Wh = 1200 \text{ Wh}$$

4.3.19 Cálculo de empuje del flotador

Para este propósito se utiliza dos tubos para neumáticos de auto, los cuales tienen las siguientes dimensiones, medidas que fueron tomadas cuando los tubos se encuentran inflados.

$$R_1 = 0,38 \text{ m} \qquad R_2 = 0,62 \text{ m} \qquad \emptyset = 0,24 \text{ m}$$

4.3.19.1 Radio medio de la boya

$$\overline{Rm} = \left(\frac{R_2 - R_1}{2} \right) + R_1 \quad (32)$$

$$\overline{Rm} = \left(\frac{0,62 \text{ m} - 0,38 \text{ m}}{2} \right) + 0,38 \text{ m}$$

$$\overline{Rm} = 0,5 \text{ m}$$

4.3.19.2 Perímetro medio de la boya

$$\overline{Pm} = 2 \times \pi \times \overline{Rm} \quad (33)$$

$$\overline{Pm} = 2 \times \pi \times 0,5 \text{ m}$$

$$\overline{Pm} = 3,1416 \text{ m}$$

4.3.19.3 Área transversal de la boya

$$At = \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} \quad (31)$$

$$At = \frac{\pi (0,24 \text{ m})^2}{4} = 0,0452 \text{ m}^2$$

4.3.19.4 Volumen de la boya

$$V_{Boya} = At \times \overline{Pm} \quad (30)$$

$$V_{Boya} = 0,0452 \text{ m}^2 \times 3,1416 \text{ m}$$

$$V_{Boya} = 0,142 \text{ m}^3$$

4.3.19.5 Empuje máximo

$$E_{max} = \rho_{agua} * g * \frac{V_{Boya}}{2} * \# \text{ boyas} \quad (29)$$

$$E_{max} = 1000 \frac{Kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{seg^2} * \frac{0,142 \text{ m}^3}{2} * 2$$

$$E_{max} = 1393 \text{ N} = 142 \text{ Kg} = 312,4 \text{ lib}$$

La Boyas pueden soportar un peso de 142 Kg, se hundirán la mitad de su volumen en el agua pero flotaran normalmente, ya que la máquina tiene un peso aproximado de unos 110Kg.

4.3.20 Selección del rodamiento para el ancla

Se seleccionó dos chumaceras 6201 de 12 mm de diámetro interior y una capacidad de carga de 3100 N, de acuerdo a los datos que se tienen del anexo 15.

4.3.21 Selección del relé, presostato y control de carga

La selección de estos dispositivos se lo realiza viendo las necesidades que se tienen para el funcionamiento correcto de la máquina de aireación.

- La selección del relé se la realizó en base a la Tabla 26, dónde se indican varios tipos de relés, escogiendo tres relés de las siguientes características:

Relé MK3P – 12VDC – Contactos 3NA – 3NC – Corriente 10 A/ 5 A, con base de 11 huecos redondos. Consumo de intensidad propio de (0,2 – 0,5 A). (Camsco, 2010)

- La selección del presostato se la realizó en base a la Tabla 27, dónde se indican algunos modelos de presostatos, escogiendo:

Un presostato, con un rango de (2,9 a 108 PSI) – Diferencial (10 a 58 PSI) - Rearme automático – Conexión 1/4 de pulgada.

- La selección del control de carga se la realizó en base a la ecuación (20).

$$\frac{A_r \text{ Tamaño del panel } (Wp)}{\text{Bateria escogida } (V)} = \text{Capacidad del Controlador } (A) \quad (20)$$

$$\frac{92 \text{ Wp}}{12V} = 7,6 \text{ A}$$

Basándonos en la Tabla 22. Dónde se indican dos modelos que se pueden escoger:

Seleccionamos el controlador SHS - 6 Morningstar: 12 V – 6 A – Dimensiones en cm (15,1 x 6,6 x 3,6) – Peso 113g. Debido a que en la información técnica del controlador de carga se indica que uno de 6 A se utiliza para el sistema de carga solar de 100 W y la carga.

V. RESULTADOS

Se efectuó la aireación de 5 galones del agua de la laguna, mediante un compresor de corriente continua por un tiempo de 2 horas, para comprobar el nivel de eliminación de microorganismos dañinos a través de la oxigenación del agua por difusión de aire, las muestras que se envió para el análisis del agua cruda y tratada fue de unos 2000 ml y se lo realizó en la UMAPAL, a partir de lo cual se obtuvo resultados de los análisis físico - químico y microbiológico de ambas muestras, los cuales se encuentran en los anexos 5, 6, 7 y 8 de la presente tesis.

En la Fig. 35, están tabulados en un diagrama de barras los valores obtenidos en el primer análisis de las características físicas del agua cruda y tratada de acuerdo a los anexos 5 y 6, se observa que en el agua tratada existe un aumento del nivel de pH en un 5 %, y de la turbiedad en un 12 % y hay una reducción en el color en un 7 %, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

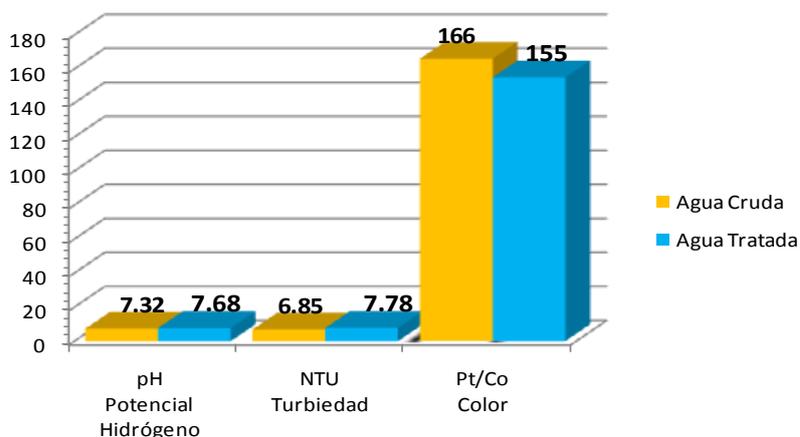


Fig. 35 Primer análisis de las características físicas del agua tratada y cruda

En la Fig. 36, están tabulados en un diagrama de barras los valores de los parámetros más importantes obtenidos en el primer análisis de las características químicas del agua cruda y tratada de acuerdo con los anexos 5 y 6, se observa que en el agua tratada se han reducido los valores de alcalinidad total en un 45 %, DQO en un 31 %, la conductividad eléctrica en un 33 %, los cloruros en un 63 %, los sulfatos en un 100 % y aumentaron los sólidos suspendidos en un 15 %, y los sulfuros en un 64 %, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

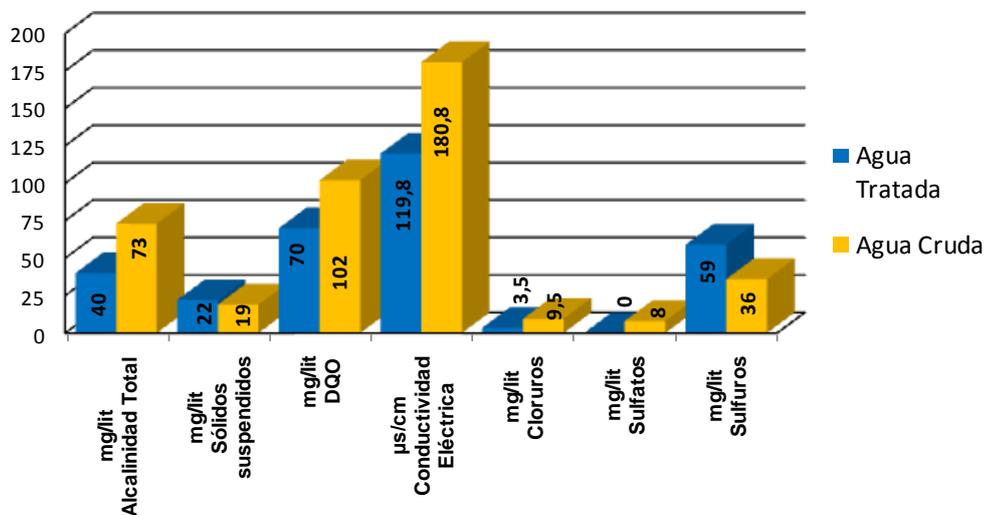


Fig. 36 Primer análisis de las características químicas del agua tratada y cruda

En la Fig. 37, están tabulados en un diagrama de barras los valores obtenidos en el primer análisis microbiológico del agua cruda y tratada de acuerdo con los anexos 7 y 8, en el agua tratada existe una reducción de coliformes totales en un 47 %, coliformes fecales en un 50 %, bacterias en un 93 %, mohos en un 75 %, levaduras en un 50 % y pseudomonas en un 22 %, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

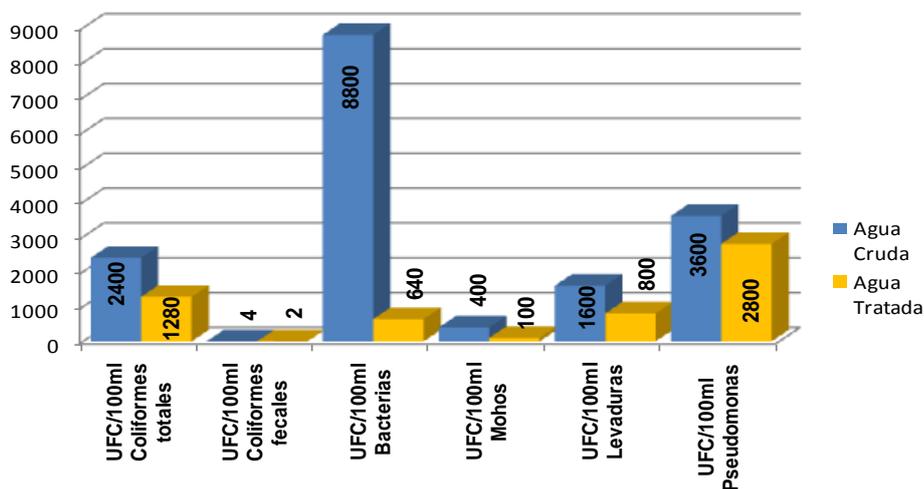


Fig. 37 Primer análisis microbiológico del agua tratada y cruda

Una vez realizado los primeros análisis del agua cruda y tratada de la laguna del barrio Daniel Álvarez, en la UMAPAL, se procede a la selección del tipo de aireador a utilizar, se decidió diseñar y construir un aireador de difusión de burbujas mediante tres compresores

de corriente continua, el abastecimiento de energía está dado mediante un sistema fotovoltaico que lo conforman: un panel solar, una batería solar y un controlador de carga. A continuación en la Tabla 28, se exponen los datos obtenidos matemáticamente, que validan el proceso investigativo de ésta tesis.

Tabla 28. Datos obtenidos mediante cálculo matemático

	DESCRIPCIÓN	VALORES OBTENIDOS
m^o	Flujo másico que producen los tres compresores	$2,145 \frac{Kg}{h}$
KW	Requisito de energía para compresores	$50,3 W$
$V_{tanqalmac}$	Volumen del tanque de almacenamiento	$5 gal$
$tiempollenado$	Tiempo de llenado del tanque de almacenamiento	$31,5 seg$
N	Tasa de transferencia de oxígeno	$1,23 \frac{lib}{CVh}$
V_{laguna}	Volumen de la laguna	$113333,3 m^3$
$V_{airea máqui}$	Volumen de agua que puede airear la máquina	$3752,8 m^3$
$O_2 total de V_{airea máqui}$	Oxígeno requerido para airear $3752,8 m^3$	$2,149 \frac{KgO_2}{h}$
P_u	Potencia unitaria de aireación	$0,7556 \frac{W}{m^3}$
$Q_{Total descarg}$	Caudal descargado en la aireación del agua	$1,343 \frac{lit}{seg}$
$t_{Descarga}$	Tiempo en que se descarga el tanque de almacenamiento	$14,1 seg$
E_{max}	Empuje máximo que pueden soportar las boyas	$142 Kg = 312,4 lib$

Fuente: Datos de los investigadores

Una vez determinado el tipo de aireador y sus condiciones de operación, seleccionamos los componentes que van a formar parte de esta máquina, los cuales hacen referencia a las características de funcionamiento y trabajo antes detalladas en la Tabla 28.

Los componentes seleccionados que conformarán la máquina de aireación de agua están indicados en la Tabla 29.

Tabla 29. Selección de equipos que conforman el aireador

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
3 COMPRESORES Referencia: (Hausfeld, 2002)	De 12 VDC – Presión máxima 17,24 Bar- Caudal $0,012 \frac{m^3}{min}$ - Peso 1,2 Kg. Consumo propio de 1,5 A.
1 PANEL SOLAR Referencias: Tabla 18 (EXMORK, 2009)	De marca Exmork, Polycristalino 100 Wp / 12V Voltaje circuito abierto/óptimo: 21 / 17.5 V Corriente cortocircuito/óptimo: 6.19 / 5.7 A Dimensiones: 109 x 79 x 4 cm
1 BATERÍA Referencias: Datos técnicos de la batería	Baterías CAPSA SP100 - 12 VDC - 100 Ah de Plomo Ácido Líquido
3 RELÉS Referencias: Tabla 26 (SUMELEC, 2007) (Camsco, 2010)	MK3P – 12 VDC – Contactos 3NA – 3NC – Corriente 10 A/ 5 A. Consumo propio de (0,2 – 0,5 A)
1 PRESOSTATO Referencias: Tabla 27 (Suner, 2007)	Rango (2,9 a 108 PSI) – Diferencial (10 a 58 PSI) - Rearme automático – Conexión 1/4 de pulgada
1 ELECTROVÁLVULA Referencias: (Lesser, 2010)	Bocinas de aire universal, Lesser Metal air horn valve 12 VDC - 1,5 A
1 CONTROLADOR DE CARGA Referencias: Tabla 22 (Morningstar Corporation, 2009)	SHS - 6 Morningstar: 12 V – 6 A – Dimensiones en cm (15,1 x 6,6 x 3,6) – Peso 113 g. Consumo propio 8 mA máximo

Fuente: Datos de los investigadores

El sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar que se construyó está indicado en la Fig. 38.



Fig. 38 Sistema de oxigenación de agua mediante energía solar

Por ultimo se incluyo un sistema de control de operaciones para las noches, que permite controlar el encendido y apagado de la máquina utilizando una resistencia de luz (Fig. 39 y 40), evitando que los compresores y la electroválvula se activen y provoquen que se descargue la batería debido a la ausencia de luz solar.



Fig. 39 Circuito electrónico que controla el encendido y apagado del sistema de aireación mediante una resistencia de luz

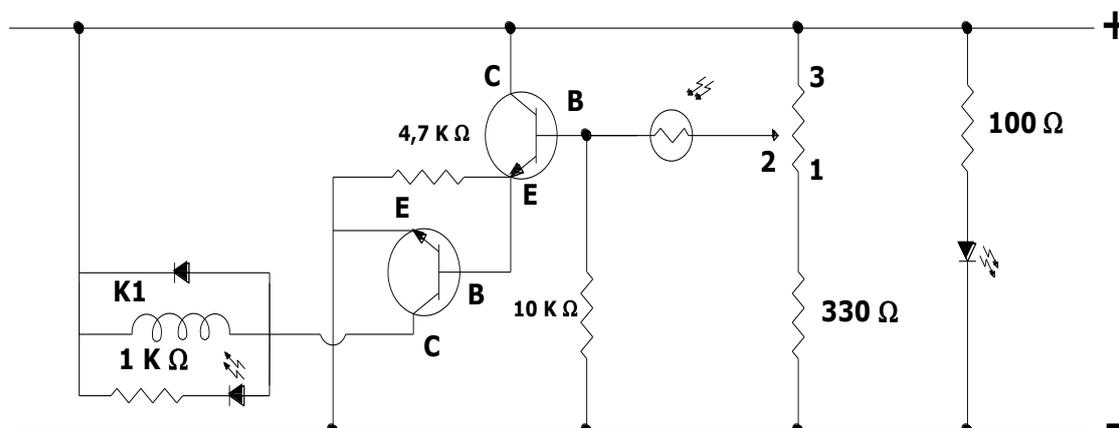


Fig. 40 Diagrama de montaje del circuito electrónico de encendido y apagado

Este circuito consta de un potenciómetro de 50 K Ω , 5 resistencias de diferente capacidad como 100 Ω , 330 Ω , 10 K Ω , 1 K Ω y 4,7 K Ω , 2 transistores, 1 resistencia de luz, 1 diodo, 2 diodos LED, 1 relé electromagnético JQC-3F-1C-12VDC.

Se realizó varias pruebas del sistema prototipo de aireación en la laguna del barrio Daniel Álvarez, donde se pudo comprobar que flotaba perfectamente y funcionaba de manera autónoma, cumpliendo con los ciclos de trabajo que se tenía determinado que efectuará el sistema de aireación. Además se elaboró un video donde se muestra el funcionamiento del sistema de oxigenación en la laguna.

Se efectuó un segundo análisis del agua de la laguna Daniel Álvarez, primero se recogió una muestra de unos 8000 ml del agua cruda, luego en un volumen de agua de aproximadamente 500 m³ cercanos a la orilla, se realizó el proceso de oxigenación a través del aireador de agua mediante difusión de burbujas que se construyó, por el lapso de una 1 hora, seguido a esto se recogió una nueva muestra de unos 8000 ml del agua tratada que se envió conjuntamente con la del agua cruda para su análisis en la UMAPAL, a partir de lo cual se obtuvo resultados de los análisis físico - químico y microbiológico de ambas muestras, los cuales se encuentran en los anexos 9, 10, 11 y 12 de la presente tesis.

En la Fig. 41, están tabulados en un diagrama de barras los valores obtenidos en el segundo análisis de las características físicas del agua cruda y tratada de acuerdo a los anexos 9 y 10, se observa que en el agua tratada existe un aumento del nivel de pH en un 6 %, y hay una reducción de la turbiedad en un 9 % y el color en un 36 %, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

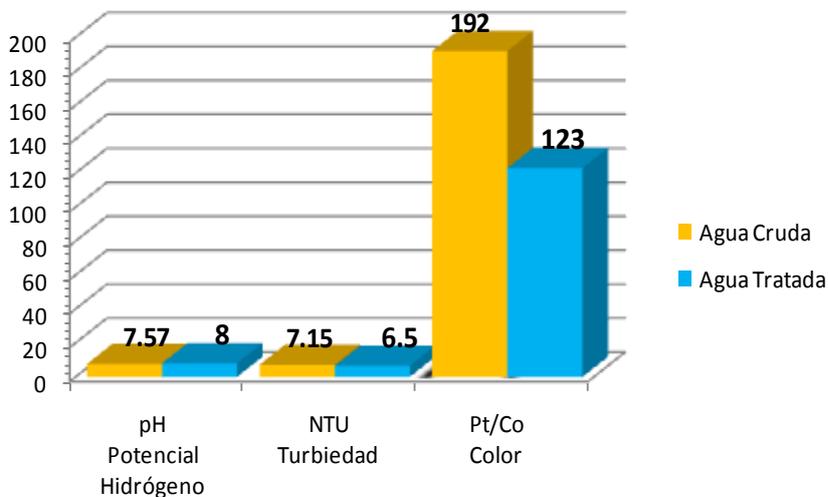


Fig. 41 Segundo análisis de las características físicas del agua cruda y tratada

En la Fig. 42, están tabulados en un diagrama de barras los valores de los parámetros más importantes obtenidos en el segundo análisis de las características químicas del agua cruda y tratada de acuerdo con los anexos 9 y 10, se observa que en el agua tratada se han reducido los valores de alcalinidad total en un 55 %, los sólidos suspendidos en un 28 %, DQO en un 58 %, la conductividad eléctrica en un 14 %, los cloruros en un 75 %, los sulfatos en un 100 % y a aumentado los sulfuros en un 38 %, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

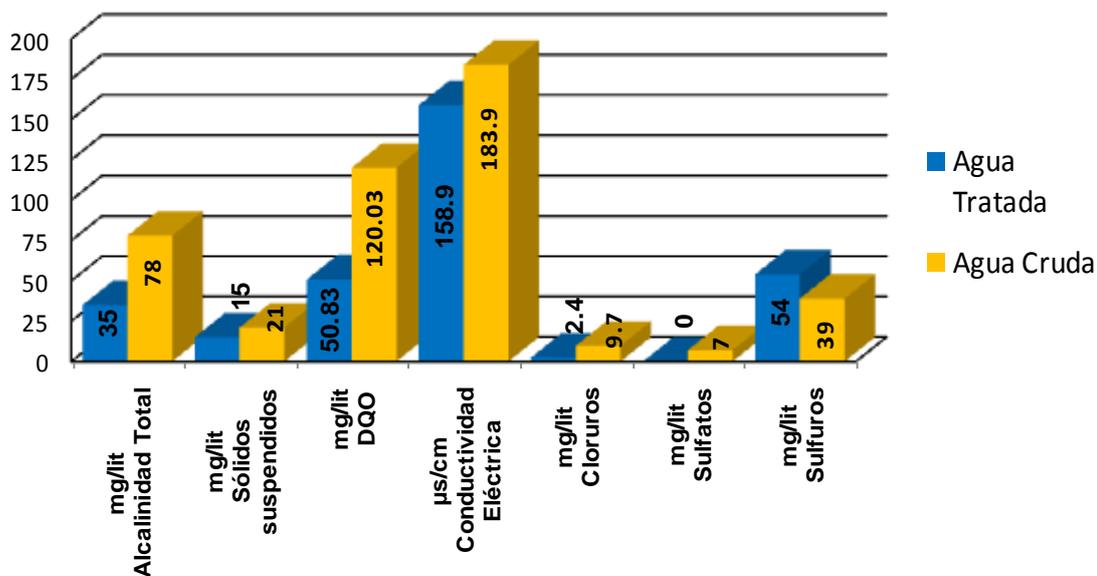


Fig. 42 Segundo análisis de las características químicas del agua tratada y cruda

En la Fig. 43, están tabulados en un diagrama de barras los valores obtenidos en el segundo análisis microbiológico del agua cruda y tratada de acuerdo con los anexos 11 y 12, en el agua tratada existe una reducción de coliformes totales en un 69 %, coliformes fecales en un 88 %, bacterias en un 94 %, mohos en un 92 %, levaduras en un 80 % y pseudomonas en un 55 %, todos estos datos en relación con los valores obtenidos del agua cruda.

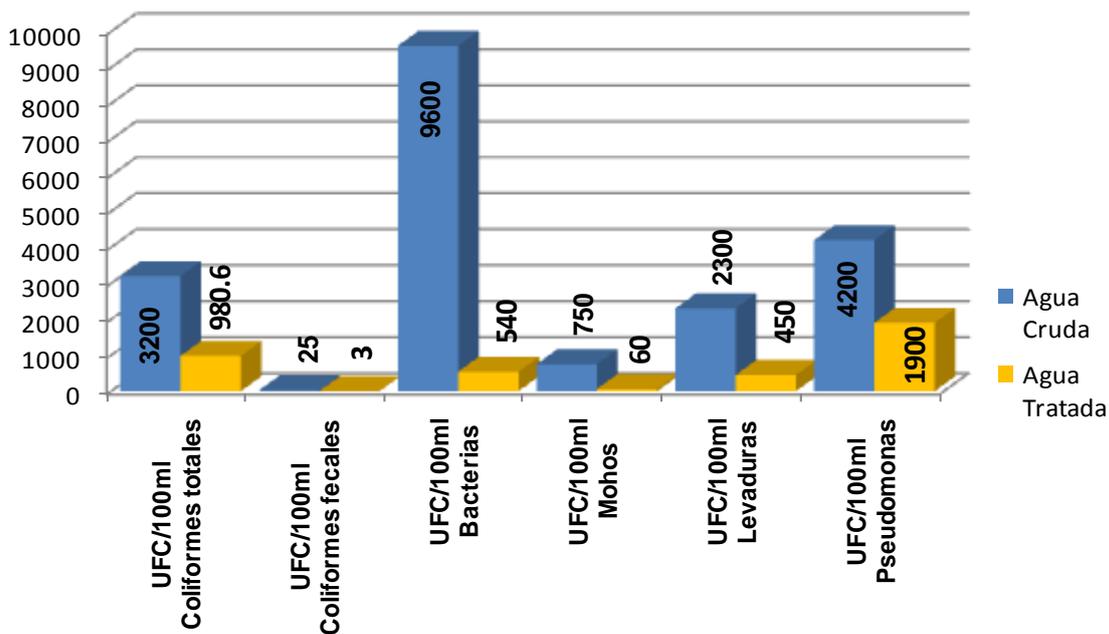


Fig. 43 Segundo análisis microbiológico del agua tratada y cruda

5.1 VALORACIÓN ECONÓMICA

Cantidad	Descripción de Producto	P.unit	P.total
1	Panel Solar Exmork 100W	390	390
1	Batería CAPSA SP100	225	225
1	Controlador de Carga Morningstar Sunsaver SS:	128	128
2	Boyas	20	40
2	Correa	9,5	19
1	Ángulos	6	6
1	Cajas de protección de equipo	25	25
1	Cajas de protección de equipo	15	15
3	Compresores de CC	22	66
	Piezas para circuito electrónico	10	10
1	Tanque de almacenamiento	90	90
3	Relés CAMSCO	11,5	34,5
1	Presostato	10	10
1	Electroválvula	15	15
1	Manguera plástica flexible	12	12
1	Manguera de unión	5	5
	Cable	12	12
	Acoples	10	10
1	Manómetro	3,5	3,5
2	Tubo PVC	7,65	7,65
1	Llave cortadora	6	6
1	Válvula check	4	4
1	Plastiluz eternit	10,3	10,3
	Cadena	6,5	6,5
	Gastos varios	50	50
TOTAL		1103,95	1200,45

5.2 VALORACIÓN AMBIENTAL

Es necesario considerar el impacto ambiental que ocasiona este sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar al momento de su funcionamiento, aunque éstos sean poco notorios, por ejemplo:

- Las fugas de electrolito de la batería hacia el agua o el suelo por no colocarla en la posición normal (bornes hacia arriba), puede producir una contaminación al medio ambiente.
- La contaminación acústica que producen los tres compresores al momento de cargar el tanque de almacenamiento, puede producir molestias a las personas que se encuentren cerca a la máquina y que sean sensibles al ruido.

Podemos concluir que la máquina al trabajar en base a la energía solar mediante un sistema fotovoltaico, no representa un agravante para el medio ambiente debido a que los paneles solares no emiten ningún tipo de gas contaminante, además está es una energía limpia y renovable.

VI. DISCUSIÓN

La información que se recolectó y sistematizó en el capítulo 3 de revisión de literatura, nos permite comprender los procesos que actúan en la aireación de agua mediante energía solar, a partir de esto se armó una propuesta metodológica que permitió diseñar y construir el sistema prototipo de oxigenación del agua mediante energía solar.

La Tabla 32 está indicando los datos obtenidos mediante el cálculo matemático. El volumen de la laguna del barrio Daniel Álvarez es cercano a los $113333,3 \text{ m}^3$, dato que se obtuvo en la UMAPAL, del Ilustre Municipio de Loja.

La tasa de transferencia de oxígeno o eficiencia que se tiene en el sistema de oxigenación es de $1,23 \frac{\text{lib}}{\text{CVh}}$, este valor está muy cercano a los parámetros de eficiencia de los difusores de burbuja gruesa que están entre $\left(1,3 \text{ y } 2 \frac{\text{lib}}{\text{CVh}}\right)$ de acuerdo a la Tabla 6.

Se decidió adquirir tres compresores de corriente continua para la producción de aire en el sistema debido a sus especificaciones técnicas dadas en su manual ya que cada uno produce un caudal de aire de $0,012 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, y el flujo másico que se tiene a partir de los tres compresores es de $2,145 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$. De acuerdo a esto el volumen de agua que se puede airear con el sistema de oxigenación es de $3752,8 \text{ m}^3$, y la cantidad de oxígeno que se requiere para airear este volumen de agua es $2,149 \frac{\text{KgO}_2}{\text{h}}$. Para un sistema prototipo de aireación está producción que se tiene a partir de los tres compresores es admisible y permite cumplir con los objetivos planteados en la tesis.

Comparando el caudal másico producido por los tres compresores y el requerimiento de oxígeno, podemos decir que el sistema de aireación que se diseñó y construyó está capacitado para cubrir esta demanda.

El requisito de energía que se tiene por parte de los tres compresores, de la electroválvula y de los tres relés es de $86,3 \text{ W}$, el cual es cubierto sin problemas por el panel solar de 100Wp , el cual suministra la energía al sistema de oxigenación de agua.

El caudal descargado en el proceso de aireación mediante el difusor es de $1,343 \frac{\text{lit}}{\text{seg}}$, según la Tabla 2 ese valor está dentro del tipo de aireador tubo de medio poroso con valores que

van de $1 - 2.8 \frac{\text{lit}}{\text{seg}}$, se debe decir que el tipo de aireador que se está utilizando es un tubo perforado y la Tabla 2 indica que sus valores están entre $4.7 - 11.3 \frac{\text{lit}}{\text{seg}}$.

Se puede ver que el caudal descargado en el proceso de aireación no concuerda con los datos de tubo perforado que indica la Tabla 2, pero podemos decir que el valor del caudal de aire descargado en el proceso de oxigenación de la laguna mediante el difusor está en concordancia con la capacidad del equipo utilizado en la tesis, como ya se dijo antes los tres compresores de corriente continua que producen un caudal de aire de $2,145 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$, el tanque de almacenamiento que es de 5 galones de capacidad a una presión de 40 PSI y el diámetro de los 15 orificios de salida del difusor de 1/8 de pulgada o 0.32 cm, que está dentro de los valores que indica la Tabla 1, que van de 0,3 – 0,8 cm.

La potencia unitaria de aireación que se obtuvo es de $0,7556 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$, valor que está dentro de los parámetros que indica la referencia de Arceivala (1981) en la Tabla 8, para lagunas aireadas facultativas.

Para permitir que la máquina de aireación flote en la laguna utilizamos dos tubos para neumáticos de auto, calculando el empuje o peso que pueden soportar estos es de hasta unos 142 Kg ó 312,4 lib, se hundirán la mitad de su volumen en el agua pero flotaran normalmente ya que la máquina tiene un peso de 110 Kg.

Una vez determinado el tipo de aireador que se va a utilizar y sus condiciones de operación, seleccionamos los componentes que van a formar parte de ésta máquina, los cuales están indicados en la Tabla 29. Todos ellos permiten el funcionamiento del sistema de aireación y están dimensionados de acuerdo a las características de funcionamiento y trabajo antes detalladas en la Tabla 28.

El análisis físico y químico realizado a una muestra de agua contenida en estanques, lagunas, piscinas y estructuras similares, permite evaluar las características físicas, químicas que posee el agua, y ver la medida en que está es afectada por la concentración de sustancias ya sean tóxicas o producidas por procesos naturales.

- En el primer y segundo análisis físico del agua cruda y tratada de la laguna Daniel Álvarez, se destaca que:

El pH tuvo un incremento como se puede ver en las figuras 35 y 41, pasaron de 7,32 a 7,68 y de 7,57 a 8 en el primer y segundo análisis respectivamente, de acuerdo al anexo 13 y 14 estos valores están dentro de los niveles permitidos en aguas utilizadas para la acuicultura y por las normas que Ecuador determina, para ambos son un pH de 6 a 9. Estos rangos en el agua son los apropiados para la subsistencia de muchos sistemas biológicos, valores menores de 5.8 y mayores a 9 producen limitaciones al desarrollo y a la fisiología de los organismos acuáticos, los puntos críticos para mortandad de peces están en el rango aproximado de $\text{pH} = 4$ o $\text{pH} = 11$ de acuerdo a la Fig. 11.

La turbiedad de acuerdo a las figuras 35 y 41, aumentó de 6,85 a 7,78 Unidades nefelométricas de Turbidez o NTU y se redujo de 7,15 a 6,5 NTU, en el primer y segundo análisis respectivamente, según el anexo 13 estos datos están de acuerdo con la norma del Ecuador que para aguas dulces sus valores de concentración son 10 NTU, y los valores aceptables para las condiciones naturales del agua son 100 NTU. Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias, ya que los protege de los efectos de la desinfección.

En el parámetro del color hubo una reducción en sus valores y se lo puede ver en las figuras 35 y 41, pasó de 166 a 155 Pt/Co y de 192 a 123 Pt/Co, en el primer y segundo análisis respectivamente, estos valores sobrepasan las normas del Ecuador para descarga de efluentes de 20 Pt/Co y las normas para el tratamiento convencional del agua para potabilizarla que es de 75 Pt/Co que se encuentran en el anexo 13. El exceso de este parámetro no permite el paso de la luz para el desarrollo de la biodiversidad y aporta información sobre las bacterias y micro algas existentes en el agua de la laguna.

- En el primer y segundo análisis químico del agua cruda y tratada de la laguna Daniel Álvarez, se destaca que:

En la alcalinidad total se evidencia una reducción de 73 a 40 mg/lit y de 78 a 35 mg/lit en el primer y segundo análisis que muestran las figuras 36 y 42 respectivamente, en relación con la Tabla 3 estos valores pasaron de alcalinidad media a débil. Este parámetro es un indicador de la calidad general del agua, aunque no tiene mayor importancia sanitaria, pero en altas concentraciones genera rechazo por el mal sabor que le da al agua, tiene la capacidad de neutralizar los ácidos inhibiendo la caída del pH.

Los sólidos suspendidos variaron de 19 a 22 mg/lit y de 21 a 15 mg/lit en el primer y segundo análisis que muestran las figuras 36 y 42 respectivamente, estos datos están dentro de los niveles permitidos tanto en la composición típica de las aguas residuales sin tratar Tabla 3, y para la acuicultura de acuerdo al anexo 14, ya que indican ambos un valor de 50 mg/lit. Existe una estrecha relación entre la concentración de los sólidos suspendidos y la calidad del agua, debido a su capacidad de adsorción de contaminantes como plaguicidas y nutrimentos, al control que ejercen sobre la turbiedad del agua y a su absorción de calor que aumenta la temperatura del agua, dificultando la fotosíntesis y la visibilidad, respiración y movilidad de los animales.

En los valores de la DQO, existe una reducción de 102 a 70 mg/lit y de 120,03 a 50,83 mg/lit en el primer y segundo análisis que muestran las figuras 36 y 42 respectivamente, de acuerdo a la tabla 3 y al anexo 14 estos valores están dentro de los niveles permitidos de 250 mg/lit de las aguas residuales sin tratar y para la acuicultura respectivamente. Este parámetro se lo utiliza para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales e industriales que tengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

La conductividad eléctrica, tuvo una reducción en sus valores de 180,8 a 119,8 micro siemens/centímetro o ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y de 183,9 a 158,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el primer y segundo análisis que muestran las figuras 36 y 42 respectivamente, de acuerdo al anexo 13 estos valores son bajos en relación con el de la conductividad de manera natural en aguas superficiales que es 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductividad es una de las variables que mejor evalúa la calidad del agua, se la emplea como señal para establecer una estela de contaminación alrededor de un punto de descarga de agua, y nos da una idea de los sólidos disueltos existentes en la misma.

Los cloruros tuvieron una reducción de 9,5 a 3,5 y de 9,7 a 2,4 mg/lit, como muestran las figuras 36 y 42 en el primer y segundo análisis respectivamente, según la Tabla 3 estos valores están dentro de los niveles de concentración débil de 30 mg/lit de las aguas residuales sin tratar, y de acuerdo anexo 13 la norma del Ecuador para éste parámetro es de 250 mg/lit. Una concentración de cloruros superiores a las normales puede constituir indicadores de que la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertimiento de aguas residuales.

Los valores de sulfatos pasaron de 8 a 0 mg/lit y de 7 a 0 mg/lit, como muestran las figuras 36 y 42 en el primer y segundo análisis respectivamente. Relacionando estos valores con los datos del anexo 13 del sulfato para lagunas que es 300 mg/lit y según la norma del Ecuador de 400 mg/lit, podemos decir que los valores obtenidos son bajos, una de las razones se debe a que las mayores concentraciones de éste parámetro se dan por lo común en las aguas subterráneas, éstas se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados.

Los valores de los sulfuros sufrieron un incremento de 36 a 59 mg/lit y de 39 a 54 mg/lit, como muestran las figuras 36 y 42 en el primer y segundo análisis respectivamente, de acuerdo al anexo 13 estos valores están dentro de los rangos de gusto y olor que son de 100 – 300 mg/lit, este parámetro nos da una idea del grado de gérmenes nocivos que se encuentran en la laguna, y que existe una acción bacteriológica anaerobia en el agua.

El análisis microbiológico de muestras de agua tiende, a determinar la calidad sanitaria de éstas, permite detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal, y cuantificar la presencia de diversos microorganismos.

- En el primer y segundo análisis microbiológico del agua cruda y tratada de la laguna Daniel Álvarez, se enfatiza que:

Los coliformes totales variaron de 2400 a 1280 unidades formadores de colonias/100 ml ó UFC/100 ml y de 3200 a 980,6 UFC/100 ml, como muestran las figuras 37 y 43 en el primer y segundo análisis respectivamente, de acuerdo al anexo 14 estos valores sobrepasan los niveles permitidos en aguas utilizadas para la acuicultura cuyo valor es 400 UFC/100 ml. Su presencia nos indica la ineficiencia en el tratamiento del agua de la laguna, y que es muy difícil de que abunden peces en ésta y que sean aptos para el consumo humano, ya que la condición actual de la laguna no lo permite.

Las bacterias tuvieron una reducción de sus valores de 8800 a 640 UFC/100 ml y de 9600 a 540 UFC/100 ml, como muestran las figuras 37 y 43 en el primer y segundo análisis respectivamente. La gran cantidad de bacterias presentes en el agua cruda es debido a que su nivel de pH estaba entre los 6.5 y 7.5, que es el adecuado para que las bacterias aumenten su número y su proliferación agota el oxígeno y no permite la existencia de peces u otros organismos vivos. Por el contrario la reducción de los niveles de bacterias en

el agua tratada se debe a que su nivel de pH aumentó después de la oxigenación, y ya no tenían las condiciones necesarias para subsistir.

Los mohos pasaron de 400 a 100 UFC/100 ml y de 750 a 60 UFC/100 ml, como se indica en las figuras 37 y 43 en el primer y segundo análisis respectivamente. Son microorganismos indicadores de alteración en la calidad del agua, la capacidad de los mohos para sobrevivir en condiciones de pH bajos y escasa disponibilidad de nitrógeno los convierte en organismos de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales de origen industrial ya que son responsables de la degradación bioquímica de los contaminantes existentes en el agua residual.

Las levaduras tuvieron una variación en sus niveles de 1600 a 800 UFC/100 ml y de 2300 a 450 UFC/100 ml, como se indica en las figuras 37 y 43 en el primer y segundo análisis respectivamente. Relacionando estos valores con el anexo 13, vemos que están dentro de los rangos permitidos en aguas de canal de 2300 UFC/100 ml, también son microorganismos indicadores de alteración en la calidad del agua.

En el parámetro de las pseudomonas existió una reducción en sus valores de 3600 a 2800 UFC/100 ml y de 4200 a 1900 UFC/100 ml, y está indicado en las figuras 37 y 43 del primer y segundo análisis respectivamente. Las pseudomonas degradan compuestos orgánicos, forman parte del grupo de las bacterias, y al estar en contacto con los animales que consume el hombre puede provocar un cuadro clínico diarreico.

Por todo lo expresado anteriormente, se comprobó la existencia de sustancias y microorganismos que contaminan la calidad del agua de la laguna Daniel Álvarez, y que no permiten que sea apta para la producción acuícola, o su utilización en actividades como riego de tierras, y mucho menos ser bebestible. Luego de aplicar el proceso de oxigenación mediante el sistema prototipo de aireación en un volumen de agua de aproximadamente 500 m³ cercanos a la orilla de la laguna, existió una reducción no en su totalidad pero si en un alto porcentaje en los niveles de contaminantes físicos-químicos entre un 9 a 60 % y microbiológicos entre un 22 a 93 %, esto es una clara muestra de que con el sistema prototipo de oxigenación del agua mediante energía solar que se construyó, si se puede mejorar los parámetros indicadores de calidad del agua, demostrando así su funcionamiento y eficacia en la oxigenación de agua.

VII. CONCLUSIONES

- El proceso investigativo que se realizó, para el diseño y construcción de un sistema prototipo para oxigenación de agua mediante energía solar. Utilizando el modelo matemático desarrollado por Eckenfelder Jr y O'Connor además de diversa bibliografía, nos ha permitido terminar con éxito el proyecto de tesis.
- Comparando el caudal másico producido por los tres compresores de corriente continua que es de $m^o = 2,145 \frac{Kg}{h}$ y el requerimiento de oxígeno de $2,149 \frac{KgO_2}{h}$, podemos decir que el sistema de aireación está capacitado para cubrir esta demanda.
- El sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar, flota sin dificultad en la laguna, debido a que las dos boyas montadas en este sistema pueden soportar un peso de 142 Kg y el peso del aireador es de aproximadamente unos 110Kg.
- A través de las pruebas realizadas al agua de la laguna Daniel Álvarez se comprobó la existencia de sustancias y microorganismos que contaminan la calidad del agua, y que no permiten que sea apta para la producción acuícola, o su utilización en actividades como riego de tierras, y mucho menos ser bebestible.
- El proceso de aireación realizado en la laguna a través del sistema prototipo para oxigenación del agua mediante energía solar que se construyó, permite la reducción no en su totalidad pero si en un alto porcentaje de los niveles de contaminantes físicos-químicos entre un 9 a 60 % y microbiológicos entre un 22 a 93 %, demostrando así su funcionamiento y eficacia en la oxigenación de agua.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se debe mantener cerradas las puertas de las cajas de protección donde están colocados el panel de control y los compresores de corriente continua, para evitar provocar algún cortocircuito o daño debido al ingreso de agua mientras esté en funcionamiento la máquina de aireación.
- La batería debe ser colocada en un sitio seco y fresco y en su posición normal (bornes hacia arriba), para evitar posibles fugas de electrolito y donde no se tenga el efecto de la luz solar directa sobre ella.
- El ángulo de inclinación del panel solar está dado por la latitud del lugar y la pendiente del plano sobre el cual incide la radiación, para la ciudad de Loja debe ser de 19° lo que permite recoger mejor la irradiación solar.
- Para que haya un funcionamiento adecuado de la máquina de aireación debe haber una revisión periódica de los niveles de carga de la batería (1 a 2 veces por semana), así como de los diferentes dispositivos que se encuentran montados en la máquina.

IX. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- Baptista, E. T. (2003). Diseño General de un tratamiento.
- Barnabé, G. (1991). Acuicultura 1. En B. Gilbert, Acuicultura 1 (págs. 29 -153). Barcelona: Ediciones Omega, SA.
- CONELEC. (2008). En C. P. Energética, Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Quito.
- Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, M. d. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales. Bogota: UniAndes.
- Hausfeld, C. (2002). Inflador de 12V. Manual de instrucciones . Cincinnati, Ohio, Estados Unidos: Scott Fetzer.
- Instituto Nicaragüense, d. a. (2005). Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- JVillaseñorPrácticas de Tratamiento de AguasEficacia de aireadores
- León, I. G. (1996). Propuesta Metodológica. Evaluación de lagunas de estabilización . Lima, Perú.
- Lesser. (2010). Metal air horn valve.
- Marrero, M. D., & Gutiérrez, C. M. (3 de Noviembre de 2005). Lagunas para el tratamiento de aguas residuales . La Habana, Cuba.
- Mataix, C. (1978). Mecánica de fluidos y maquinas hidraulicas. Madrid: Harla.
- Pascual, A. E. (29 de Septiembre de 2007). Sistemas de energía solar fotovoltaica para equipos de telecomunicaciones. Madrid, España.
- Patri, M. P. (Lunes de Agosto de 2004). Tratamiento Biológico de Aguas Residuales .
- PUCP, P. U. (Octubre de 2004). Agenda de estudio. Selección de sistemas Fotovoltaicos . Peru: PUCP Virtual.
- Rolim Mendonça, S. (Septiembre de 1999). Lagunas aireadas mecánicamente . Bogota, Santa Fe, Colombia.

- Sanz, F. M. (2000). La Gestion de Aguas residuales en los municipios pequeños de la provincia de Castellon. Castellon.
- UMAPAL. (2010). Análisis Físico, Químico y Microbiológico. Loja.
- Varios. (8 de Marzo de 2006). Descarga por un orificio. Practicas de mecánica de fluidos .
- Varios. (9 de Junio de 2008). Reglamento CIRSOC 102. Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones . Argentina.
- Velasco, G. (2008). Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura. Quito.

SITIOS WEB:

- González, C. (2003). El ABC de la automatización. Recuperado el 14 de Mayo de 2010, de http://www.bellbikestuff.com/pdfs/109509_Manual.pdf
- BUN-CA, B. U. (Septiembre de 2002). BUN-CA. Recuperado el 14 de Abril de 2010, de BUN-CA: <http://www.bun-ca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf>
- Camsco. (2010). Camsco - Venezuela. Recuperado el Octubre de 2010, de <http://www.camscoven.com>
- Ambiental, Grupo de Estudio Técnico. (17 de Abril de 2006). <http://www.digesa.sld.pe>. Recuperado el 21 de Octubre de 2010, de http://www.digesa.sld.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
- Environmental Protection Agency, U. S. (Septiembre de 2000). Municipal Technology Branch U.S. EPA. Recuperado el 17 de Septiembre de 2009, de Municipal Technology Branch U.S. EPA: http://www.epa.gov/owm/mtb/cs_00_031.pdf
- EPSEA. (7 de Enero de 2007). Asociación Solar. Recuperado el 16 de Noviembre de 2009, de Asociación Solar: <http://www.epsea.org>
- Wikipedia. (2010). Wikipedia. Recuperado el 25 de Octubre de 2010, de Wikipedia: <http://www.es.wikipedia.org>
- EXMORK. (18 de Septiembre de 2009). Recuperado el 6 de Abril de 2010, de Exmork: www.exmork.com

- Exploring Ecuador. (2010). Exploring Ecuador. Recuperado el Octubre de 2010, de http://www.exploringecuador.com/espanol/sp_ar_ciudad_loja.htm
- Pumps, G. (20 de Agosto de 2002). Goulds Pumps. Recuperado el 21 de Septiembre de 2010, de Goulds Pumps: www.goulds.com
- Solar, A. (7 de Enero de 2007). Revista Home Power. Recuperado el 28 de Octubre de 2009, de Revista Home Power: www.homepower.com
- Díez, P. F. (2004). Red Sauce. Recuperado el 23 de Febrero de 2010, de Red Sauce: <http://www.libros.redsauce.net/>
- Librospdf. (2003). Librospdf. Recuperado el 8 de Mayo de 2010, de Librospdf: <http://www.librospdf.net/Formulas-para-el-caculo-de-flotadores/1/>
- Varios. (2009). Recuperado el 18 de Octubre de 2010, de http://www.maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo1/C1_apartado3.htm
- Morningstar Corporation. (2009). El controlador SHS. Recuperado el Octubre de 2010, de Morningstar: <http://www.morningstarcorp.com/>
- Cbc. (2000). Biofisica. Recuperado el 17 de Abril de 2010, de Biofisica: <http://www.resueltoscbc.com.ar/teoricos/biofisica/pdf/T2-2.pdf>
- Galli Merino, O., & Sal Facundo, M. (2007). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC. Recuperado el 23 de Septiembre de 2009, de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC: http://www.sagpya.mecon.gov.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/01=Cultivos/03-Otros_Sistemas/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf
- SOLENER. (11 de Octubre de 2004). Soluciones Energéticas S.A. Recuperado el 18 de Octubre de 2010, de Soluciones Energéticas S.A: www.solener.com
- Middleton, D. (23 de Mayo de 2006). Catálogo de Productos Eléctricos Solares de SoListo. Recuperado el 20 de Mayo de 2010, de Catálogo de Productos Eléctricos Solares de SoListo: www.solisto.com
- SUMELEC. (16 de Julio de 2007). Lista de precios 2007-2008. Recuperado el 19 de Agosto de 2010, de Lista de precios 2007-2008: www.sumelec.net
- Suner. (16 de Marzo de 2007). Recuperado el 17 de Junio de 2010, de Regulación y control: www.suner.com

X. ANEXOS

ANEXO 1. ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Bomba aspersora Crisafulli movido con motor de tractor	6
Fig. 2 Aireador tipo bomba centrífuga	6
Fig. 3 a Aireación estática y por burbujas Fig. 3 b Aireación por aire difuso	7
Fig. 4 Aireador difusor – hélice “venturi”	7
Fig. 5 Aireador de paletas flotante con motor eléctrico	8
Fig. 6 Aireador de turbina lenta	8
Fig. 7 Aireador de superficie de alta velocidad.....	9
Fig. 8 Aireador difusor tipo tubo en U	9
Fig. 9 Aireador de flujo descendente con inyección de aire	9
Fig. 10 Aireador de represas en cascada, sencillo de caída libre y de rueda con paleta	10
Fig. 11 Características del pH	26
Fig. 12 Esquema típico de un sistema fotovoltaico.....	33
Fig. 13 Panel Fotovoltaico	34
Fig. 14 Montaje típico de un panel FV.....	34
Fig. 15 Célula, Panel y Conjunto FV	37
Fig. 16 Ángulo de inclinación α	40
Fig. 17 Batería solar recargable.....	42
Fig. 18 a Batería Cargada Fig. 18 b Batería Descargada.....	45
Fig. 19 Controles de carga en serie y en paralelo.....	47
Fig. 20 Control de carga.....	48
Fig. 21 Modelos ofrecidos por Morningstar™.....	50
Fig. 22 Alambre y cable conductor	53

Fig. 23 Esquema del funcionamiento de un compresor alternativo, y partes de un compresor hermético	54
Fig. 24 Compresor de corriente continua	54
Fig. 25 Elementos principales de un depósito	55
Fig. 26 Explicación del principio de Arquímedes	59
Fig. 27 Boya	59
Fig. 28 Cuerpo flotando	60
Fig. 29 Cuerpo sumergido	60
Fig. 30 Relés de 11 pines CAMSCO.....	61
Fig. 31 Partes de un Relé.....	61
Fig. 32 Partes de un presostato	65
Fig. 33 Electroválvula de 12V.....	67
Fig. 34 Valores delos coeficiente de velocidad, contracción y descarga para tres tipos de boquillas de sección circular.....	69
Fig. 35 Primer análisis de las características físicas del agua tratada y cruda	88
Fig. 36 Primer análisis de las características químicas del agua tratada y cruda	89
Fig. 37 Primer análisis microbiológico del agua tratada y cruda	89
Fig. 38 Sistema de oxigenación de agua mediante energía solar	92
Fig. 39 Circuito electrónico que contola el encendido y apagado del sistema de aireación mediante una resistencia de luz	92
Fig. 40 Diagrama de montaje del circuito electrónico de encendido y apagado.....	93
Fig. 41 Segundo análisis de las características físicas del agua cruda y tratada	94
Fig. 42 Segundo análisis de las características químicas del agua tratada y cruda	94
Fig. 43 Segundo análisis microbiológico del agua tratada y cruda.....	95

ANEXO 2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de aireadores.....	11
Tabla 2. Rangos típicos de transferencia de oxígeno	12
Tabla 3. Composición típica de las aguas residuales sin tratar.....	16
Tabla 4. Tasas de carga másica	18
Tabla 5. Coeficientes cinéticos típicos en lagunas	20
Tabla 6. Valores típicos de eficiencia en diferentes equipos de aireación	22
Tabla 7. Rangos de profundidad para laguna aireada.....	23
Tabla 8. Valores de la potencia unitaria para lagunas aireadas facultativas.....	23
Tabla 9. Valores de nivel de saturación del Oxígeno C _{ss} (mg/lit).....	24
Tabla 10. Valores típicos de varios coeficientes utilizados en la aireación de lagunas.....	24
Tabla 11. Valores de saturación de oxígeno y presión de vapor del agua.....	25
Tabla 12. Tasa de transferencia de oxígeno para algunos de los tipos de aireadores.....	27
Tabla 13. Valores de sedimentación a diferentes profundidades de agua	28
Tabla 14. Rangos de tiempo de retención para lagunas aireadas	30
Tabla 15. Eficiencia de lagunas en función del periodo de retención para T mayores a 20 °C	30
Tabla 16. Relación entre la temperatura, período de retención y eficiencia en lagunas aerobias.....	30
Tabla 17. Características técnicas de los paneles SOLENER	38
Tabla 18. Especificaciones técnicas del Panel Solar EXMORK de 100Wp	39
Tabla 19. Rango de valores de irradiación global promedio (anual por provincia)	40
Tabla 20. Relación del voltaje y estado de carga de una batería	44
Tabla 21. Características de las Baterías para sistemas fotovoltaicos	46
Tabla 22. Datos técnicos del controlador SHS Morningstar	50

Tabla 23. Parámetros y dimensiones de los conductores eléctricos AWG.....	52
Tabla 24. Valores de la densidad del aire ambiente para alturas varias	57
Tabla 25. Presión atmosférica, lectura barométrica y punto de ebullición del agua	58
Tabla 26. Relés encapsulados CAMSCO	64
Tabla 27. Presostatos de alta y de baja	66
Tabla 28. Datos obtenidos mediante cálculo matemático	90
Tabla 29. Selección de equipos que conforman el aireador	91

ANEXO 3. ABREVIATURAS

Q = Caudal de aire que producen los compresores

m^o = Caudal másico que producen los compresores

ρ_{aire} = Densidad del aire

N = Tasa de transferencia de oxígeno

N_o = Tasa de transferencia de oxígeno en condiciones estándares

α = Velocidad relativa de transferencia de oxígeno referida al agua limpia

β = Concentración relativa de saturación referida al agua limpia

C_L = Concentración de oxígeno disuelto en lagunas

C_{St} = Valor de saturación del oxígeno en agua pura en condiciones estándares

C_{SW} = Valor de saturación del oxígeno en agua pura a una temperatura dada

P_A = Presión barométrica según la altura del lugar (Loja)

p = Presión de vapor de agua saturada a temperatura de las aguas residuales

k = Tasa constante de remoción de substratos

k_d = Tasa constante de respiración endógena

S_1 = Concentración intermedia de materia biodegradable DBO

$X_{v,a(2)}$ = Concentración de sólidos suspendidos volátiles

S_e = Concentración de materia biodegradable DBO_5

Y = Coeficiente de producción de lodos

t = Tiempo de retención hidráulico

Q_{med} = Caudal medio de la laguna

O_2total = Oxígeno requerido por toda la laguna

$V_{aireamaqui}$ = Volumen que puede airear la máquina

$P_tlaguna$ = Potencia total requerida por toda la laguna

P_u = Potencia unitaria de aireación

V_t = Velocidad de salida del aire por el difusor

h = Altura del fluido por encima del orificio (m)

g = Es la aceleración de la gravedad

P_{promd} = Presión promedio del tanque de almacenamiento

$A_{1orificio}$ = Área de un orificio del difusor

$Q_{1orificio}$ = Caudal de aire que sale por un orificio del difusor

$Q_{Totaldescarg}$ = Caudal de aire total descargado mediante el difusor

C_d = Coeficiente de descarga

C_v = Coeficiente de velocidad

C_c = Coeficiente de contracción de la vena fluida a la salida del orificio

$t_{Descarga}$ = Tiempo de descarga del tanque de almacenamiento

KW = Requisito de energía para sistemas de difusión de aire comprimido

Qa = Gasto de aire comprimido

Pc = Es la presión absoluta de compresión

$a_{hidrost}$ = Altura hidrostática sobre los difusores

P_{atm} = Presión atmosférica en la localidad

A_r = Tamaño del panel

E_d = Consumo de electricidad

l_d = Irradiación Global promedio sobre un plano horizontal en la ciudad de Loja

P_{Compr} = Potencia de los tres compresores

$P_{relés}$ = Potencia de los tres relés

$P_{Electrválv}$ = Potencia de la electroválvula

Inclinación α = Ángulo de inclinación del panel

Tamaño = Tamaño de la batería

AUT = Autonomía – días sin brillo solar

REND = Eficiencia de la batería solar

DESC = Descarga de la batería solar

$N^{\circ}Baterías$ = Número de baterías

Wh = Capacidad de acumulación de energía de la batería

\overline{Rm} = Radio medio de la boya

\overline{Pm} = Perímetro medio de la boya

At = Área transversal de la boya

V_{Boya} = Volumen de la boya

E_{max} = Empuje máximo

ANEXO 4. GUÍA DE INSTALACIÓN, MANEJO Y MANTENIMIENTO

1. Características generales del equipo propuesto

1.1 Sistema de llenado de aire del tanque de almacenamiento

- Tres compresores de corriente continua de 18 W de potencia cada uno. Y sus especificaciones son: 250 PSI de presión máxima, intensidad de consumo propio es de 1,5 A, voltaje de trabajo 12 V de corriente continua, Caudal de aire que proporcionan $Q = 0,012 \frac{m^3}{min}$, y su peso es de 1,2 Kg.
- Tanque de almacenamiento de 5 galones de capacidad.
- Manguera conectora de ½”.

1.2 Sistema fotovoltaico

- Un Panel solar de marca EXMORK, Polycristalino 100 Wp/12V, con un Voltaje de circuito abierto/óptimo: 21/ 17.5 V, la Corriente cortocircuito/óptimo: 6.19 / 5.7 A y de dimensiones: 109 x 79 x 4 cm.
- Una batería de marca CAPSA SP100 - 12 VDC - 100 Ah de Plomo Acido Liquido.
- Un control de carga SHS - 6 Morningstar: 12V – 6A – Dimensiones en cm (15,1 x 6,6 x 3,6) – Peso 113g.

1.3 Partes eléctricas de mando y control

- 3 Relés - MK3P – 12VDC – Contactos 3NA – 3NC – Corriente 10A/5A, intensidad de consumo propio es de 0,2 a 0,5 A, con base de 11 huecos redondos.
- Un circuito electrónico de encendido y apagado utilizando una resistencia de luz. Este circuito consta de un potenciómetro de 50 K Ω , 5 resistencias de diferente capacidad como 100 Ω , 330 Ω , 10 K Ω , 1 K Ω y 4,7 K Ω , 2 transistores, 1 resistencia de luz, 1 diodo, 2 diodos LED, 1 relé electromagnético JQC-3F-1C-12VDC.
- Cables de conexión 14 AWG y 12 AWG, bornera y otros.

1.4 Sistema de descarga de aire

- Una electro válvula de bocinas de aire universal 12V de corriente continua con un diámetro de 1/4 de pulgada.
- Un presostato, con un rango de (2,9 a 108 PSI) – Diferencial (10 a 58 PSI) - Rearme automático – Conexión 1/4 de pulgada.

- Manguera plástica no toxica.
- Niplos y acoples de 1/2 de pulgada y 1/4 de pulgada de bronce.
- Acople rápido para manguera de compresor.
- Un válvula regulable manual
- Una válvula check
- Un tubo de PVC de 2 m de largo, que actúa como difusor en forma de T y con 15 orificios de 1/8 de pulgada.

2. Instalación de la máquina

Primero se monta la batería sobre la estructura de la máquina, luego sobre el tanque de almacenamiento se coloca el manómetro, la electroválvula y el presostato.



Luego se coloca la manguera que va a conectar los compresores con el tanque de almacenamiento, despues se instala la caja de protección en la cual van a ser colocados los tres compresores.



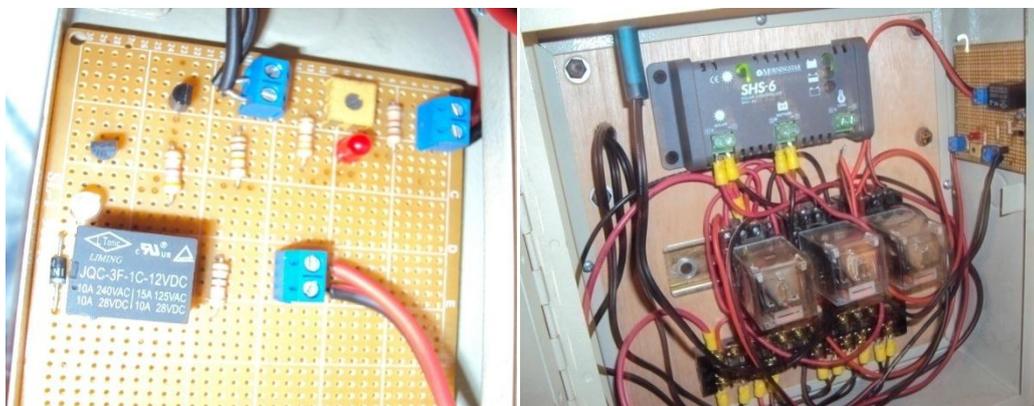
Seguido a esto se coloca la segunda caja de protección en la que van a ir colocados todo el sistema de mando, despues se colocan los tres compresores sobre la primera caja.



Se coloca el panel solar sobre la estructura, luego se aseguran a la segunda caja los dispositivos que forman parte del sistema de control de la máquina



Se coloca el circuito electrónico, y se realiza el cableado de todo el sistema de mando.



Se procede a colocar la manguera para la descarga de aire, y el techo.



Se asegura las dos boyas a la estructura de la máquina, y se coloca el difusor.

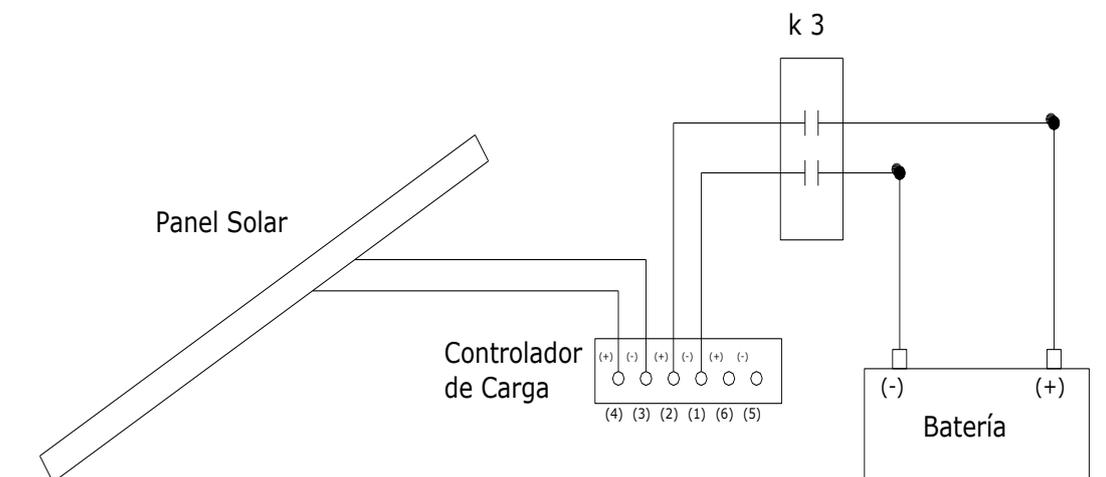


Finalmente la máquina está lista para ser colocada en el agua y empezar el proceso de oxigenación.

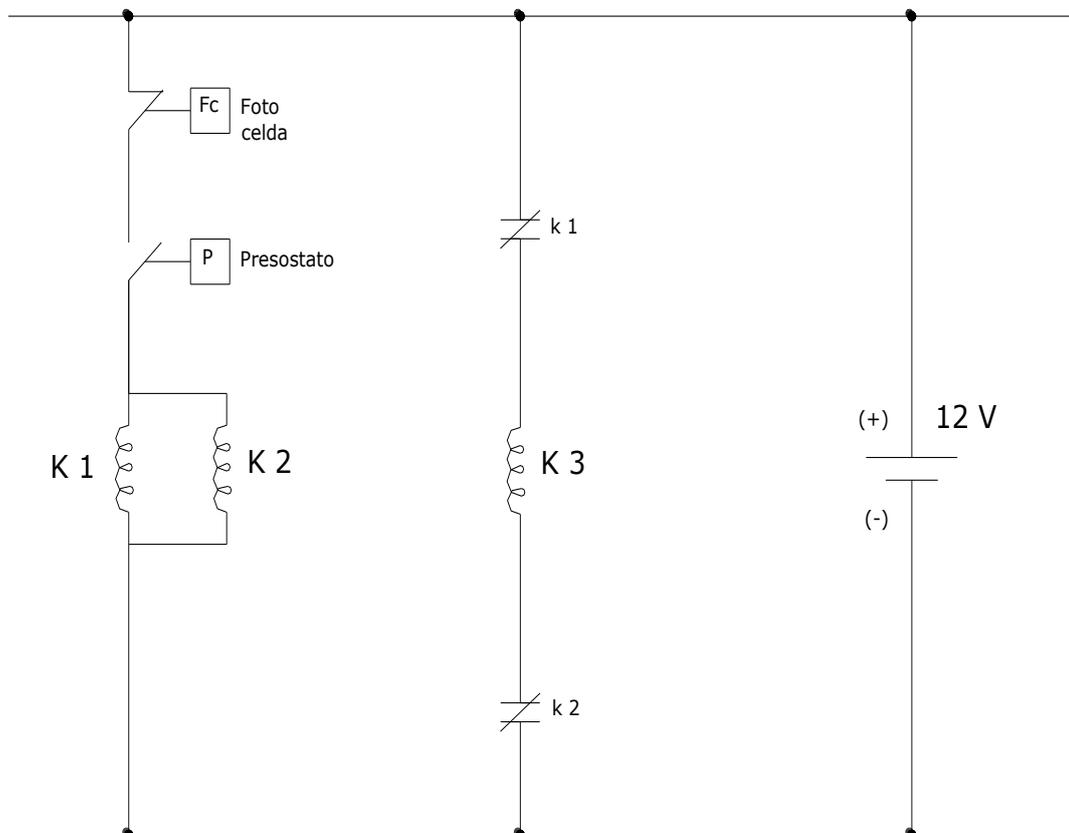


3. Esquemas de conexión de la máquina

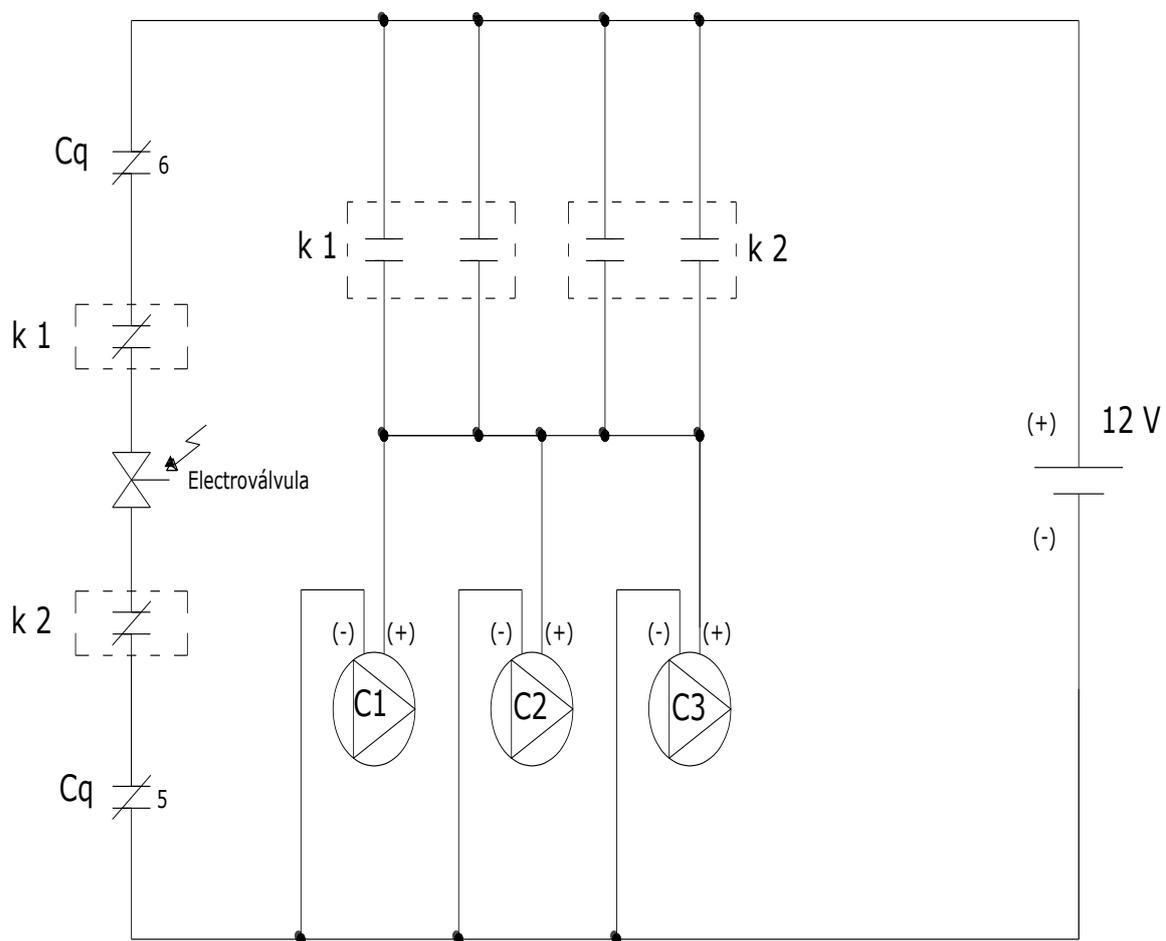
3.1 Circuito de carga



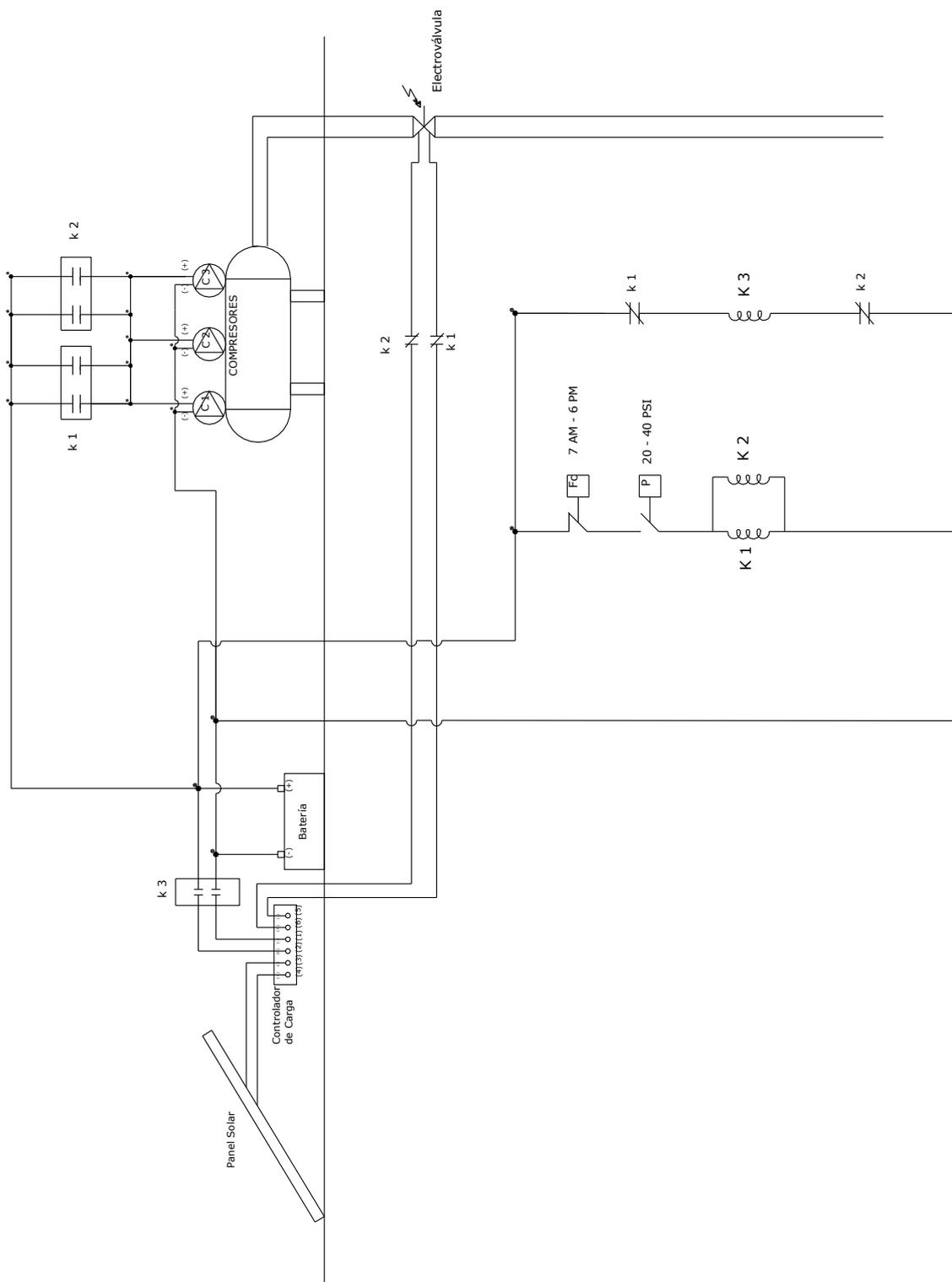
3.1 Circuito de mando



3.2 Circuito de fuerza



3.3 Circuito de montaje del sistema de oxigenación de agua mediante energía solar



4. Ciclos de trabajo de la máquina de oxigenación de agua

El equipo cumple dos ciclos de trabajo, los cuales se repiten en secuencia, el proceso se desarrolla como se indica a continuación:

1. El primer ciclo de trabajo empieza cuando se precarga el tanque de almacenamiento con aire, a través de los compresores propios del equipo hasta una presión de 40 PSI, que es regulada por un presostato.
 - 1.1 El circuito de la foto celda conectado al sistema va permanecer cerrado desde las 7 am hasta las 6 pm aproximadamente, el presostato al llegar a la presión deseada de 40 PSI en el tanque de almacenamiento, abre su contacto desconectando las bobinas del relé 1 y 2 (K1 y K2), esto provoca que los contactos normalmente abiertos de K1 y K2 desconecten los tres compresores que abastecen de aire al tanque de almacenamiento.
 - 1.2 Los contactos normalmente cerrados de K1 y K2 permiten el paso de corriente hacia la electroválvula y la bobina del relé 3 (K3), así los dos contactos normalmente abiertos de K3 se cierran, permitiendo que la batería se empiece a cargar mediante la energía que le suministra el panel solar.
2. El segundo ciclo empieza aquí, la electroválvula al estar energizada se abre permitiendo el paso de aire, el cual empieza a circular por la línea de descarga, este proceso es controlado además por una válvula regulable manual.
 - 2.1 Cuando el rango de descarga del tanque de almacenamiento llega hasta unos 20 PSI (leídos en el manómetro), el presostato cierra su contacto permitiendo que las bobinas de K1 y K2 se energicen nuevamente, esto produce que los contactos normalmente cerrados de K1 y K2 se abran, desconectando la electroválvula terminando así el proceso de descarga de aire hacia el agua, y también desconectan la bobina de K3, con lo cual los dos contactos normalmente abiertos de K3 impiden que la batería se siga cargando.
 - 2.2 Los contactos normalmente abiertos de K1 y K2 se cierran conectando nuevamente los tres compresores, repitiéndose nuevamente el proceso de carga del tanque de almacenamiento, como ya se indicó al inicio.

Cabe mencionar que en el instante que encienden los compresores se desconecta el controlador de carga de las baterías y del panel fotovoltaico, para evitar daños en el sistema

debido a sobre corrientes. Además cuando el sistema se encuentra en descarga del aire el panel fotovoltaico se encuentra cargando la batería del sistema.

5. Manejo de la máquina de oxigenación de agua

Al conectar todo el sistema de mando de la máquina, éste será el que maneje el proceso de oxigenación en ciclos de carga y descarga del aire como ya se indicó anteriormente, con ayuda de un bote se coloca la máquina en la laguna, mediante el ancla se quedara en el sitio que se desee, y trabajará sin necesidad de que nadie la opere, si se desea cambiarla de lugar, con ayuda del bote se la colocará en otro sector de la laguna.

Se incluyó un sistema de control de operaciones para las noches, que permite controlar el encendido y apagado de la máquina utilizando una resistencia de luz (Fig. 39 y 40), evitando que los compresores y la electroválvula se activen y provoquen que se descargue la batería debido a la ausencia de luz solar.

6. Mantenimiento

- Se debe mantener cerradas las puertas de la cajas de protección donde están colocados el sistema de control y los compresores de corriente continua, para evitar provocar algún corto circuito o daño debido al el ingreso de agua mientras esté en funcionamiento la máquina de aireación.
- Se debe limpiar el panel solar con mucho cuidado ya que éste es muy frágil, para que su capacidad de captación de la irradiación solar no se vea reducida, por la presencia de polvo o cualquier otra suciedad que se coloque o adhiera a él.
- Para que haya un funcionamiento adecuado de la máquina de aireación debe haber una revisión periódica de los niveles de carga de la batería (1 a 2 veces por semana) y así evitar que su vida útil se reduzca, también se debe efectuar una revisión de los diferentes dispositivos que se encuentran montados en la máquina, como relés, electroválvula, presostato, compresores, cuando exista la presencia de lluvia es preferible evitar trabajar para prevenir daños en el sistema.

ANEXO 5. PRIMER ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Solicitado por: Sr. Jose Luis Roa Bustamante INFORME Nro. 2133
 Procedencia: Parque LAGUNA DANIEL ALVAREZ CODIGO: LU- 2116
 Fecha y Hora de recolección de la muestra: 02/01/10 10h00
 Fecha y hora de recepción de la muestra: 04/01/2010 11h00
 Fecha y Análisis de la muestra: 04/01/2010 13h30
 Presentación y Cantidad: Envase Plástico de 2000 ml
 Tipo de muestra: Agua Cruda
 Muestreador: Personal Interesado

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLE
Potencial Hidrógeno	pH	7,32	7 - 8,5
Temperatura	°C		
Turbiedad	NTU	6,85	5
Color	Pt/Co	166	30

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLE
Alc.Total como CaCO3	mg/L	73	20
D.Total como CaCO3	mg/L	70,04	120
D.Magn.como CaCO3	mg/L	48,62	
D.Cálcica como CaCO3	mg/L	21,42	150
Calcio (Ca++) como CaCO3	mg/L	52	30
Manganeso	mg/L	0,051	
Hierro Total (Fe++)	mg/L	0,005	0,2
Hierro Ferroso	mg/L	0	
Cobre (Cu++)	mg/L	0	0,05
Nitratos	mg/L	0,00	10
Nitritos(NO2 -)	mg/L	0,006	0,1
Cloruros	mg/L	9,5	50
Magnesio	mg/L	11,67	
Sulfatos	mg/L	8	50
Sulfuros	mg/L	36	
Nitrogeno Amoniaco	mg/L	0,14	0,5
Solidos Suspendidos	mg/L	19	
DBO 5	mg/L		190
DQO	mg/L	102,00	430
Conductividad Eléctrica	µs/cm	180,8	400
Fosfatos	mg/L	0,16	0,3
Fluoruros	mg/L	0	1,4

OBSERVACIONES
 Los limites permisibles corresponden exclusivamente para agua potable.
RESPONSABLE:


 Ing. Rocio Minchala
 QUÍMICO UMAPAL



Fuente: UMAPAL

ANEXO 6. PRIMER ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja



ANÁLISIS FÍSICO QUIMICO

Solicitado por: Sr. Jose Luis Roa Bustamante INFORME Nro. 2134
 Procedencia: Parque LAGUNA DANIEL ALVAREZ CODIGO: LU- 2117
 Fecha y Hora de recolección de la muestra: 03/01/10 14h00
 Fecha y hora de recepción de la muestra: 04/01/2010 11h00
 Fecha y Análisis de la muestra: 04/01/2010 13h30
 Presentación y Cantidad: Envase Plástico de 2000 ml
 Tipo de muestra: Agua TRATADA
 Muestreador: Personal Interesado

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLE
Potencial Hidrógeno	pH	7,68	7 - 8,5
Temperatura	°C		
Turbiedad	NTU	7,78	5
Color	Pt/Co	155	30

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLE
Alc.Total como CaCO3	mg/L	40	20
D.Total como CaCO3	mg/L	45,32	120
D.Magn.como CaCO3	mg/L	31,32	
D.Cálcica como CaCO3	mg/L	14	150
Calcio (Ca++) como CaCO3	mg/L	36	30
Manganeso	mg/L	0,021	
Hierro Total (Fe++)	mg/L	0,006	0,2
Hierro Ferroso	mg/L	0	
Cobre (Cu++)	mg/L	0	0,05
Nitratos	mg/L	0,01	10
Nitritos(NO2 -)	mg/L	0,004	0,1
Cloruros	mg/L	3,5	50
Magnesio	mg/L	7,2	
Sulfatos	mg/L	0	50
Sulfuros	mg/L	59	
Nitrogeno Amoniac	mg/L	2,15	0,5
Solidos Suspendidos	mg/L	22	
DBO 5	mg/L		190
DQO	mg/L	70,00	430
Conductividad Eléctrica	µs/cm	119,8	400
Fosfatos	mg/L	-	0,3
Fluoruros	mg/L	0,27	1,4

OBSERVACIONES
 Los limites permisibles corresponden exclusivamente para agua potable.

RESPONSABLE:


 Ing. Rocio Minchala S.
 QUIMICO UMAPAL

Fuente: UMAPAL

ANEXO 7. PRIMER ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja



ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Solicitado por: Ing. Rafael Gonzalez		INFORME Nro 2133
Procedencia: Parque LAGUNA DANIEL ALVAREZ		CODIGO: LU-2116
Fecha y hora de recolección de la muestra:	02/01/2010	10h00
Fecha y hora de recepción de la muestra:	04/01/2010	11h00
Fecha y Análisis de la muestra:	04/01/2010	13h30
Presentación y Cantidad: Funda plástica WHIRL-PAK 150 ml		
Tipo de muestra: AGUA CRUDA		
Muestreador: Personal Interesado		

ANÁLISIS REALIZADO

DETERMINACION	RESULTADOS	UNIDAD	METODO	LIMITES PERMISIBLES
COLIFORMES TOTALES	2400	UFC/100ml	MF	Ausencia
COLIFORMES FECALES	4	UFC/100ml	MF	Ausencia
BACTERIAS	8800	UFC/100ml	MF	30
MOHOS	400	UFC/100ml	MF	Ausencia
LEVADURAS	1600	UFC/100ml	MF	Ausencia
PSEUDOMONAS	3600	UFC/100ml	MF	Ausencia

OBSERVACIONES:
Los límites permisibles corresponden para aguas potables.

RESPONSABLES:



Ing. Cristina Vélez
QUÍMICO UMAPAL
LABORATORIO

Fuente: UMAPAL

ANEXO 8. PRIMER ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA TRATADA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja



ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Solicitado por: Ing. Rafael Gonzalez		INFORME Nro 2134
Procedencia: Parque LAGUNA DANIEL ALVAREZ		CODIGO: LU-2116
Fecha y hora de recolección de la muestra:	03/01/2010 14h00	
Fecha y hora de recepción de la muestra:	04/01/2010 11h00	
Fecha y Análisis de la muestra:	04/01/2010 13h30	
Presentación y Cantidad: Funda plástica WHIRL-PAK 150 ml		
Tipo de muestra: AGUA TRATADA		
Muestreador: Personal Interesado		

ANÁLISIS REALIZADO

DETERMINACION	RESULTADOS	UNIDAD	METODO	LIMITES PERMISIBLES
COLIFORMES TOTALES	1280	UFC/100ml	MF	Ausencia
COLIFORMES FECALES	2	UFC/100ml	MF	Ausencia
BACTERIAS	640	UFC/100ml	MF	30
MOHOS	100	UFC/100ml	MF	Ausencia
LEVADURAS	800	UFC/100ml	MF	Ausencia
PSEUDOMONAS	2800	UFC/100ml	MF	Ausencia

OBSERVACIONES:
Los límites permisibles corresponden para aguas potables.

RESPONSABLES:



Ing. Cristina Velez
QUIMICO UMAPAL

Fuente: UMAPAL

ANEXO 9. SEGUNDO ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA CRUDA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO



Solicitado por: Sr. Jose Luis Roa Bustamante INFORME: Nro. 2213
 Procedencia: Paque LAGUNA DANIEL ALVAREZ CODIGO: LU-2116
 Fecha y Hora de recolección de la muestra: 25/10/10 09h00
 Fecha y Hora de recepción de la muestra: 25/10/10 15h00
 Fecha y Análisis de la muestra: 26/10/10 08h30
 Presentación y Cantidad: Envase Plástico de 8000 ml
 Tipo de muestra: AGUA CRUDA
 Muestreador: Personal Interesado

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLES
Potencial Hidrógeno	pH	7,57	7 -8,5
Temperatura	°C		
Turbiedad	NTU	7,15	5
Color	Pt/Co	192	30

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLES
Alc. Total como CaCO ₃	mg/L	78	20
D. Total Como CaCO ₃	mg/L	71,24	120
D. Magn como CaCO ₃	mg/L	46.80	
D. Cálcia como CaCO ₃	mg/L	19.20	150
Calcio (Ca+ +) como CaCO ₃	mg/L	50	30
Magnesio	mg/L	0,086	
Hierro Total (Fe+ +)	mg/L	0,005	0,2
Hierro ferroso	mg/L	0	
Cobre (Cu+ +)	mg/L	0	0,05
Nitros	mg/L	0	10
Nitros (NO ₂ -)	mg/L	0,007	0,1
Cloruros	mg/L	9,7	50
Magnesio	mg/L	12,21	
Sulfatos	mg/L	7	50
Sulfuros	mg/L	39	
Nitro Amoniac	mg/L	0,19	0,5
Solidos Suspendidos	mg/L	21	
DBO 5	mg/L		190
DQO	mg/L	120,03	430
Conductividad Eléctrica	us/cm	183,9	400
Fosfatos	mg/L	0,32	0,3
Flururos	mg/L		1,4

OBSERVACIONES

Los limites permisibles corresponden exclusivamente para agua potable

RESPONSABLE:

Ing. Victor A. Salinas
 QUÍMICO UMAPAL

ANEXO 10. SEGUNDO ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA TRATADA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO



Solicitado por: Sr. Jose Luis Roa Bustamante INFORME: Nro. 2214
 Procedencia: Paque LAGUNA DANIEL ALVAREZ CODIGO: LU-2116
 Fecha y Hora de recolección de la muestra: 25/10/10 09h00
 Fecha y Hora de recepción de la muestra: 25/10/10 15h00
 Fecha y Análisis de la muestra: 27/10/10 10h00
 Presentación y Cantidad: Envase Plástico de 8000 ml
 Tipo de muestra: AGUA TRATADA
 Muestreador: Personal Interesado

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

PARÀMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLES
Potencial Hidrógeno	pH	8.0	7 -8,5
Temperatura	°C		
Turbiedad	NTU	6,5	5
Color	Pt/Co	123	30

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

PARÀMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	LIMITE CONSIDERABLES
Alc. Total como CaCO ₃	mg/L	35	20
D. Total Como CaCO ₃	mg/L	39,4	120
D. Magn como CaCO ₃	mg/L	29,35	
D. CàlciCa como CaCO ₃	mg/L	10,23	150
Calcio (Ca+ +) como CaCO ₃	mg/L	27,86	30
Magnesio	mg/L	0,012	
Hierro Total (Fe+ +)	mg/L	0,006	0,2
Hierro ferroso	mg/L	0	
Cobre (Cu+ +)	mg/L	0	0,05
Nitratos	mg/L	0,01	10
Nitros (NO ₂ -)	mg/L	0,003	0,1
Cloruros	mg/L	2,4	50
Magnesio	mg/L	6,21	
Sulfatos	mg/L	0	50
Sulfuros	mg/L	54	
Nitro Amoniac	mg/L	1,91	0,5
Solidos Suspendidos	mg/L	15	
DBO 5	mg/L		190
DQO	mg/L	50,83	430
Conductividad Eléctrica	us/cm	158.9	400
Fosfatos	mg/L		0,3
Flururos	mg/L	0	1,4

OBSERVACIONES

Los limites permisibles corresponden exclusivamente para agua potable

RESPONSABLE:

Ing. Victor A. Salinas
 QUÍMICO UMAPAL

Fuente: UMAPAL

ANEXO 11. SEGUNDO ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja



ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Solicitado por:	Egdo. José Lus Roa Bustamante	INFORME Nro 2213
Procedencia:	Parque LAGUNA DANIEL ALVAREZ	CODIGO: LU- 2116
Fecha y Hora de recolección de la muestra:	25/10/10	09h00
Fecha y Hora de recepción de la muestra:	25/10/10	15h00
Fecha y Análisis de la muestra:	26/10/10	08h30
Presentación y Cantidad : Envase Plástico de 8000 ml		
Tipo de muestra: AGUA CRUDA		
Muestreador: Personal Interesado		

ANÁLISIS REALIZADO

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDAD	METODO	LIMITES PERMISIBLES
COLIFORMES TOTALES	3200	UFC/100ml	MF	Ausencia
COLIFORMES FECALES	25	UFC/100ml	MF	Ausencia
BACTERIAS	9600	UFC/100ml	MF	30
MOHOS	750	UFC/100ml	MF	Ausencia
LEVADURAS	2300	UFC/100ml	MF	Ausencia
PSEUDOMONAS	4200	UFC/100ml	MF	Ausencia

OBSERVACIONES

Los límites permisibles corresponden exclusivamente para agua potable

RESPONSABLE:

Ing. Víctor A. Salinas
QUIMICO



Fuente: UMAPAL

ANEXO 12. SEGUNDO ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA TRATADA



MUNICIPIO DE LOJA

Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja



ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Solicitado por:	Egdo. José Lus Roa Bustamante	INFORME Nro 2214
Procedencia:	Parque LAGUNA DANIEL ALVAREZ	CODIGO: LU- 2116
Fecha y Hora de recolección de la muestra:	25/10/10	09h00
Fecha y Hora de recepción de la muestra:	25/10/10	15h00
Fecha y Análisis de la muestra:	27/10/10	10h00
Presentación y Cantidad :	Envase Plástico de 8000 ml	
Tipo de muestra:	AGUA TRATADA	
Muestreador:	Personal Interesado	

ANÁLISIS REALIZADO

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDAD	METODO	LIMITES PERMISIBLES
COLIFORMES TOTALES	980,6	UFC/100ml	MF	Ausencia
COLIFORMES FECALES	3	UFC/100ml	MF	Ausencia
BACTERIAS	540	UFC/100ml	MF	30
MOHOS	60	UFC/100ml	MF	Ausencia
LEVADURAS	450	UFC/100ml	MF	Ausencia
PSEUDOMONAS	1900	UFC/100ml	MF	Ausencia

OBSERVACIONES

Los límites permisibles corresponden exclusivamente para agua potable

RESPONSABLE:



Fuente: UMAPAL

ANEXO 13. RECOPIACIÓN DE PARÁMETROS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN ANÁLISIS DEL AGUA

Parámetros	Unidad	Valor Característico	Referencia
pH norma para Ecuador	pH	6-9	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Turbidez norma para Ecuador agua dulce	UNT	10	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Turbidez norma para Ecuador condiciones naturales	UNT	100	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Color norma para Ecuador en agua que requiere desinfección, o para descarga de efluentes	Pt/Co	20	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006) (Wikipedia, 2006)
Color en agua que necesita tratamiento convencional	Unid de Pt - Co	75	(Wikipedia, 2006)
Conductividad de manera natural	uS/cm	1000	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Cloruros norma para Ecuador	mg/lit	250	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Sulfatos en lagunas	mg/lit	300	(Presidencia, 2002)
Sulfatos norma para Ecuador	mg/lit	400	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Sulfuro el umbral de gusto y olor	mg/lit	100 – 300	(Ambiental, Grupo de Estudio Técnico, 2006)
Levaduras en agua de canal	UFC/100ml	2300	(Quezada, Sánchez, Muñoz, Martínez, & Villalobos, 2008)

ANEXO 14. NIVELES DE EFLUENTES PARA LA ACUICULTURA

Contaminantes	Unidades	Valor Indicativo
pH	pH	6 - 9
DBO ₅	mg/lit	50
DQO	mg/lit	250
Nitrógeno Total	mg/lit	10
Fósforo Total	mg/lit	2
Aceite y Grasa	mg/lit	10
Sólidos en Suspensión Totales	mg/lit	50
Aumento de Temperatura	° C	< 3 ^b
Bacterias Coliformes Totales	NMP ^a /100ml	400
Ingredientes activos/ Antibióticos	A determinar en cada caso	
<p>NOTAS:</p> <p>^a NMP = Numero más probable</p> <p>^b Al borde de una zona de mezcla científicamente establecida que toma en cuenta la calidad del agua ambiente, el uso del agua receptora, los receptores potenciales y la capacidad de asimilación.</p>		

ANEXO 15. RODAMIENTOS RADALES RÍGIDOS DE UNA HILERA DE BOLAS

Elección del tipo de cojinete				
d	D	Ancho B	Capacidad de carga Cr	Designación
3	10	4	170	623
4	13-16	5	315-440	624-634
5	16-19	6	440-710	625-635
6	19	6	710	626
7	19-22	6-6	710-1340	607-627
8	22	7	1340	608
9	24-26	7-8	1530-1960	609-629
10	26-30-35	8-9-11	1960-2240-3750	6000-6200-6300
12	28- 32 -37	8- 10 -12	2240- 3100 -4650	6001- 6201 -6301
15	32-35-42	9-11-13	2500-3550-5400	6002-6202-6302
17	35-40-47-62	10-12-14-17	2500-4500- 6550-11800	6003-6203- 6303-6403
20	42- 47 -52-72	12- 14 -15-19	4400- 6200 - 7800-16600	6004- 6204 - 6304-6404
25	47 -52-62-80	12 -15-17-21	5600 -6950- 11400-19600	6005 -6205- 6305-6405
30	55-62-72-90	13-16-19-23	6950-10000- 15000-24000	6006-6206- 6306-6406

ANEXO 16. PLANOS

ANEXO 17. PROYECTO DE TESIS