



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DESAGÜE AUTOMÁTICO DE ESTANQUES DE TILAPIA PARA RIEGO DE UN CULTIVO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO”

EMPRESA PARA LA QUE SE TRABAJÓ:

EL FARO DE ESPERANZA, A.C.

ALUMNO:

CUNDAPIÁ ARROYO ROGER ALEJANDRO

NÚMERO DE CONTROL:

08270653

ASESOR:

ING. MAY ARRIJOJA FERNANDO ALFONSO

REVISORES:

ING. CIFUENTES VILLAFUERTE ROBERTO

ING. VALENCIA SÁNCHEZ HERNÁN

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; A 19 DE DICIEMBRE DE 2012

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	05
CAPITULO 1.- JUSTIFICACIÓN.....	06
CAPITULO 2.- OBJETIVOS.....	07
CAPITULO 3.- CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DONDE SE TRABAJÓ.....	08
CAPITULO 4.- PROBLEMAS A RESOLVER.....	09
CAPITULO 5.- ALCANCES Y LIMITACIONES.....	10
CAPITULO 6.- FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
6.1 LOS POLICULTIVOS ACUAÓNICOS.....	11
6.1.1 ASPECTOS GENERALES.....	11
6.1.2 ELEMENTOS Y CONSIDERACIONES CLAVE.....	13
6.1.2.1 HIDROPONÍA.....	14
6.1.2.2 NUTRIENTES EN EL EFLUENTE DE ACUICULTURA.....	14
6.1.2.3 PLANTAS ADECUADAS PARA LA ACUAONÍA.....	15
6.1.2.4 PECES.....	15
6.1.2.5 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.....	15
6.1.2.6 BIOFILTRACIÓN Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS.....	15
6.1.2.7 PROPORCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	16
6.1.3 EL RENDIMIENTO DE LA ACUAONÍA	16
6.2 TILAPIAS.....	18
6.2.1 ANTECEDENTES.....	18
6.2.2 DISTRIBUCIÓN.....	19
6.2.3 TAXONOMÍA Y GENÉTICA.....	19
6.2.3.1 GÉNERO TILAPIA.....	20
6.2.3.2 GÉNERO ORECHROMIS.....	20

6.2.4 FUNCIONES BÁSICAS Y METABOLISMO.....	21
6.2.4.1 HÁBITOS ALIMENTICIOS.....	21
6.2.4.2 CRECIMIENTO.....	21
6.2.4.3 RESPIRACIÓN.....	21
6.2.4.4 REPRODUCCIÓN.....	22
6.2.5 ANATOMÍA DE LA TILAPIA.....	23
6.3 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	24
6.3.1 DEFINICIÓN.....	24
6.3.2 ANTECEDENTE DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	24
6.3.3 LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).....	26
6.3.3.1 COMPONENTES DE UN PLC.....	27
6.4 ECUACIONES UTILIZADAS DE HIDRÁULICA.....	32
6.4.1 ECUACIÓN DE CAUDAL.....	32
6.4.2 ECUACIÓN DE TORRICELLI.....	32
6.4.3 TIEMPO DE DESCARGA DE UN TANQUE.....	32
6.4.4 NÚMERO DE REYNOLDS.....	33
6.4.5 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA.....	33
6.4.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA.....	34
6.4.6.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA MAYORES.....	34
6.4.6.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA MENORES.....	35
6.4.7 POTENCIA.....	36
6.4.8 EFICIENCIA DE UNA BOMBA.....	36
6.5 ECUACIONES UTILIZADAS DE HIDROLOGÍA.....	37
6.5.1 EL MÉTODO DE THORNTHWAITE.....	37

CAPITULO 7.- PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS	
ACTIVIDADES REALIZADAS.....	38
7.1 DATOS IMPORTANTES QUE SE NECESITARÁN.....	38
7.2 CÁLCULOS Y DISEÑOS.....	40
7.2.1 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN A DESALOJAR	
DE UN ESTANQUE.....	40
7.2.2 PROPUESTA DEL ESTANQUE PARA EL CULTIVO	
HIDROPÓNICO.....	40
7.2.3 DISEÑO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO (UN ESTANQUE).....	40
7.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	41
7.2.4.1 CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL DESAGÜE DEL	
CULTIVO HIDROPÓNICO.....	41
7.2.4.2 CÁLCULOS RELACIONADOS CON LA	
BOMBA DE DESAGÜE DEL ACUARIO.....	41
7.2.4.3 EVALUACIÓN DE LA ALTURA DEL	
DEPÓSITO DE REPOSICIÓN (TINACO).....	42
7.2.4.4 OBTENCIÓN DEL VOLUMEN EVAPORADO.....	44
7.2.4.5 CÁLCULO DE BOMBA DE LLENADO DEL TINACO.....	45
7.2.5 DEFINIR LAS ELECTROVÁLVULAS A UTILIZAR.....	47
7.2.6 DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO.....	48
CAPITULO 8.- RESULTADOS, PLANOS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS.....	49
8.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	49
CAPITULO 9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
CAPITULO 10.- INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.....	54
ANEXOS.....	55
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	67

INTRODUCCIÓN

Ya que la automatización ha tomado gran importancia desde el siglo pasado y ha tenido un mayor auge en este presente siglo, lo cual ha venido dar como surgimiento una nueva revolución industrial, a tal punto que gran parte de los procesos donde intervenían gran mano de obra y grandes cantidades de tiempo, se han reducido a un mínimo (claro este ha tenido ciertas consecuencias negativas, de lo cual no se hablará en este trabajo porque nos enfocaremos al alcance que tiene la automatización). Es por eso que las empresas que no hacen mejoras en sus procesos se vuelven incompetentes al gigante de la automatización. Es por ello que en este trabajo se reporta el labor realizado con respecto a la automatización de doce sistemas acuapónicos (policultivos que combinan la crianza de peces con plantas), y aquí se hablan de los aspectos más importantes para el presente diseño automático. A su vez se muestran las variables más significativas que se tuvieron que considerar así como también la relación de varias materias para su desarrollo. Como situaciones de ingeniería este trabajo es útil para guiar a resolver futuros problemas. Cabe destacar que este proyecto cuenta con una característica muy importante que es la flexibilidad, es decir, el hecho de poder ajustar las condiciones de operatividad de los sistemas como a su vez de hacer mejoras, lo cual permite darle una aplicación práctica y viable.

CAPITULO 1

JUSTIFICACIÓN

La automatización de estos sistemas acuapónicos nos dan un mejor control acerca del volumen de agua a desalojar como además de hacer posible el funcionamiento automático de dichos sistemas, nos ayuda también a controlar mejor varias variables entre ellas el tiempo de periodicidad de procesos diversos; por ello es conveniente un sistema automático. Se ha escogido como cultivo de plantas un cultivo hidropónico, ya que el agua es un recurso natural no renovable, lo cual obliga a que su uso sea concientizado y óptimo. Debido a que la engorda de mojarra tilapias demanda mucho de este vital líquido por su constante cambio de agua (principalmente para oxigenar su hábitat), no obstante el alto contenido nutrimental del agua de los estanques de cultivo de tilapia lo hace deseable para reutilizarlo para cultivar plantas, en este caso se trabaja en cultivos hidropónicos. Cabe destacar que debido a los múltiples usos que puede tener el agua en las diversas actividades de los seres humanos su reutilización es la mejor opción, es por eso la importancia de un sistema acuapónico porque los cultivos hidropónicos funcionan como filtros biológicos para el agua de los estanques de tilapias como además oxigenan dicha agua y eso hace posible tener un ciclo continuo.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

- Automatizar el proceso de recirculación de agua que utiliza un sistema acuapónico para facilitar dicho proceso, de tal manera que cada actividad que sea necesaria para la operatividad de los sistemas acuapónicos sean completamente automátatas, con la intervención humana solo en mantenimientos o situaciones menores.
- Aplicar este proyecto.
- Aprovechar el agua de desecho de estanques de tilapia para utilizarlo en cultivos hidropónicos y a su vez usar a este último como un filtro biológico.

CAPITULO 3

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPÓ

El lugar donde se trabajó es un terreno de 40 hectáreas, llamado Rancho El Alfarero, que pertenece a la Asociación Civil “El Faro de Esperanza”. Dicho rancho pertenece al municipio de Cintalapa que se encuentra en el Estado de Chiapas y está ubicado en frente del ejido San Marcos en el Kilómetro 7, de la carretera que va de Cintalapa a Arriaga por la autopista. En este terreno se pretende hacer una villa para 20 parejas que adopten alrededor de 8 a 10 niños (los trámites se realizan a través del DIF) para ser sus padres sustituto. Dicho rancho contará con una escuela, con un hospital, parque de recreación y además tendrá su propia fuente de ingreso ya que actualmente se cuenta con una variedad de animales para venderlos o sus derivados, como vacas, borregos, gallinas y conejos; así como cultivos de limones persas, naranjas, mandarinas, limas, cacahuates, calabaza, maracuyá entre otros. Como será un rancho autosustentables, la aplicación de este proyecto proporcionará una fuente más de ingreso para la villa.

El plano del terreno se presenta en tres formas: la primera es la FIG. 1, que es una foto satelital del terreno que lo muestra de manera general; la segunda (ver FIG. A1) es el plano maestro del proyecto general del rancho, en el cual se muestra que dicho plano se divide en dos partes: lado oeste y este. Y el tercero (ver FIG. A2) muestra el lugar donde se pretende que se aplique este proyecto.



FIG. 1. Foto satelital del Rancho del Alfarero, propiedad de “El Faro de Esperanza A.C.”. (FUENTE: GOOGLE MAPS)

CAPITULO 4

PROBLEMAS A RESOLVER

- 1.- Calcular el volumen a desalojar de cada estanque de tilapias en base a sus especificaciones técnicas y datos recolectados acerca de las tilapias.
- 2.- Calcular el tiempo de apertura de la válvula de desagüe de dichos estanques.
- 3.- Definir las características adecuadas de las electroválvulas que se utilizarán.
- 4.- Hacer la investigación correspondiente para un sistema hidropónico para reutilizar el agua de los estanques de tilapias y a su vez aprovechar sus recursos nutrimentales disueltos en el agua.
- 5.- Hacer la sincronización de los estanques de tilapias y el cultivo hidropónico.
- 6.- Definir el método de mover el agua (bomba o gravedad).
- 7.- Diseño del sistema hidráulico.
- 8.- Diseño del sistema automático.

CAPITULO 5

ALCANCES Y LIMITACIONES

Se pretende poder dar una mayor producción tanto de tilapias como de plantas (diversas plantas y hortalizas), así como poder perfeccionar este proyecto para que realice más funciones en este rubro. Se espera que cada 15 días, el proceso completo pueda realizarse en menos de 24 horas y de ser posible poder dar mayor tiempo sin reponer el nivel de agua, más de 15 días (posiblemente un mes).

Lo que limitó mucho el proyecto fueron tanto las diversas variables a considerar como también las materias no afines a la ingeniería mecánica (como lo relacionado con los policultivos) que estaban profundamente relacionadas con este trabajo, es por eso que el proyecto se retrasó un poco debido a la escases de datos que podían obtenerse (a pesar de la amplia información disponible con respecto a este tema) y que eran verdaderamente indispensables para poder diseñar dicho sistema y automatizarlo. También retrasó al proyecto el hecho de no tener diseñado nada, es decir, que no hay estanques ni tampoco cultivos hidropónicos, lo cual llevo a tomar la decisión de proponer las longitudes de tubería, espaciado entre acuarios y entre acuario y cultivo hidropónico, las alturas de los cultivos hidropónicos, como también el material de la tubería (PVC hidráulico), cabe destacar que los diámetros de las tuberías que aquí se manejan se obtuvieron de situaciones que restringieron a esos valores, pero que a su vez resultaron prácticos.

CAPITULO 6

FUNDAMENTO TEÓRICO

6.1 Los policultivos acuapónicos

6.1.1 Aspectos generales

La acuaponía, también conocida como la integración de la hidroponía con la acuicultura, es un sistema biológico integrado que enlaza la acuicultura de recirculación con la producción hidropónica de hortalizas, flores o hierbas.



FIG. 2. Cultivo acuapónico (acuario abajo y cultivo hidropónico arriba)

Los policultivos acuapónicos sirven como modelo de producción sustentable porque respetan ciertos principios:

- Los desechos de un sistema biológico sirven como nutrientes de un segundo sistema biológico.
- La integración de peces y crustáceos con plantas resulta en un policultivo que aumenta la diversidad y brinda múltiples alimentos.
- El agua es reutilizada mediante la filtración biológica y la recirculación.
- La producción local de alimentos mejora la economía comunal y garantiza la seguridad alimentaria mediante el acceso a saludables.

En un sistema acuapónico el efluente rico en nutrientes que sale del acuario de peces es utilizado para fertirrigar barbacoas de cultivos hidropónicos. Esto es beneficioso para los

peces porque las raíces de las plantas y las rizobacterias remueven los nutrientes del agua. Estos nutrientes (producto de las heces y alimentos no consumidos) son contaminantes que de otra manera se acumularían hasta llegar a niveles tóxicos en los acuarios de peces, pero son más bien utilizados como abono orgánico líquido para las plantas cultivadas hidropónicamente.

A su vez, las barbacoas hidropónicas funcionan como biofiltro (removiendo amoníaco, nitratos, nitritos y fósforo) para que el agua depurada pueda ser recirculada a los tanques. Las bacterias nitrificantes que viven en las superficies del sistema y asociadas a las raíces de las plantas cumplen un papel crítico en el ciclo de nutrientes; sin estos organismos todo se detendría (Ver FIG. 3).



FIG. 3. Funcionamiento de un sistema acuapónico (ciclo del nitrógeno)

El interés en los sistemas acuapónicos se ha generado por varias razones:

- Los productores y las productoras de hidropónicos ven la irrigación fertilizada por las heces de los peces como una fuente de abono orgánico que permite que las plantas crezcan bien.
- Las acuicultoras y los acuicultores ven los hidropónicos como un método de biofiltración para facilitar la acuicultura intensiva con recirculación de agua.
- Los productores y las productoras en ambientes de cultivo protegidos ven la acuaponía como una vía para obtener hortalizas hidropónicas orgánicas, ya que el

único insumo externo es el alimento de los peces y todos los nutrientes atraviesan procesos biológicos.

- La acuaponía permite la producción de hortalizas frescas y proteína de pescado en regiones áridas y en granjas con limitaciones de riego, ya que es un sistema de reutilización de agua.
- Los sistemas acuapónicos son ejemplos funcionales de producción sustentable de alimentos donde la agricultura vegetal y animal están integradas y el reciclaje de nutrientes y la filtración del agua están enlazadas.

La tecnología asociada con los policultivos acuapónicos es compleja. Requiere la habilidad de gestionar simultáneamente la producción e intercambio de dos o más productos agrícolas diferentes. Hasta mediados de los 80's, la mayoría de los intentos de integrar artificialmente hidroponía y acuicultura tuvieron éxito limitado. Sin embargo, algunas innovaciones realizadas a partir de esa década han transformado la tecnología acuapónica en un sistema viable de producción agroalimentaria.

6.1.2 Elementos y consideraciones clave

De manera muy general un sistema acuapónico interrelaciona los siguientes bloques que se muestran en la FIG-6.4.

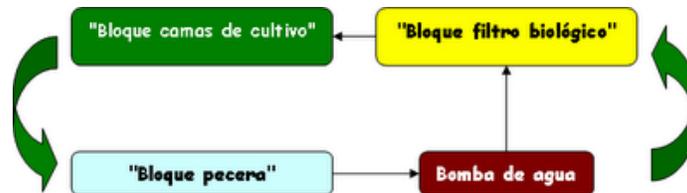


FIG. 4. Bloques necesarios para la acuaponía

Necesitamos de los siguientes "bloques" para que todo funcione: "bloque camas de cultivo", "bloque filtro biológico", "bloque pecera" y finalmente el "bloque bomba de agua", que es el corazón del sistema.

6.1.2.1 Hidroponía

La hidroponía es la producción de plantas en un medio sin suelo, en la cual todos los nutrientes suministrados al cultivo son disueltos en agua. Los sistemas hidropónicos líquidos emplean las técnicas de película de nutrientes (NFT, por sus siglas en inglés), balsas y cultivo en agua sin circulación. Los sistemas hidropónicos con sustrato sólido emplean medios inertes, orgánicos y mixtos contenidos en bolsas, canales, zanjas, tuberías o barbacoas. Los medios sólidos utilizados en estos sistemas incluyen perlita, vermiculita, grava, arena, arcilla expandida, turba y aserrín.

Normalmente, una plantación hidropónica es fertirrigada (fertilizantes químicos solubles, inyectados en el agua de riego) en ciclos periódicos para mantener las raíces húmedas y proveer un flujo constante de nutrientes. Estos nutrientes hidropónicos usualmente son derivados de fertilizantes comerciales sintéticos, tales como nitrato de calcio y otros, que son altamente solubles en agua. Sin embargo, la hidroponía orgánica (basada en abonos orgánicos solubles, tal como hidrolizado de pescado) es una práctica creciente. Las fórmulas de soluciones nutritivas hidropónicas están basadas en recetas químicas que suministran concentraciones precisas de elementos minerales.

Las principales causas del éxito de los cultivos hidropónicos es la disponibilidad controlada de nutrientes y agua.

6.1.2.2 Nutrientes en el efluente de acuicultura

Las productoras y los productores de hidropónicos normalmente suministran cantidades precisas de elementos minerales a sus cultivos, pero en un cultivo acuapónico, los nutrientes son suministrados en el efluente (agua de desecho) del acuicultivo. Dicho efluente contiene niveles suficientes de amoníaco, nitratos, nitritos, fósforo, potasio y otros nutrientes secundarios y micronutrientes para las plantas hidropónicas. Naturalmente, algunas especies de plantas se adaptan mejor a este sistema que otras.

6.1.2.3 Plantas adecuadas para la acuaponía

La variedad de especies de plantas que se adaptan a los cultivos acuapónicos depende de la densidad del cultivo acuícola y la subsecuente concentración del efluente. La lechuga, y varias hierbas y hortalizas (por ejemplo, espinaca, cebollín, cilantro, albahaca y berro) tienen requerimientos nutricionales de bajos a medios y se adaptan bien a los sistemas acuapónicos. Las plantas que producen frutos (tales como tomate, pimentón, pepino, ayuama, melón, etc.) demandan más nutrientes y crecen mejor en un sistema acuapónico maduro y de alta intensidad.

6.1.2.4 Peces

Muchas especies de peces se adaptan a los sistemas intensivos de producción acuícola con recirculación, incluyendo tilapia y cachama. Ambas toleran fluctuaciones en las condiciones del agua tales como pH, temperatura, nivel de oxígeno y sólidos disueltos, y producen carne blanca aceptada por la población en general. En otras latitudes también se han implementado sistemas acuapónicos con truchas, carpas y otros.

6.1.2.5 Características del agua

Los peces cultivados en tanques con recirculación de agua requieren buenas condiciones de la misma, y es indispensable realizar pruebas de calidad. Los parámetros críticos incluyen oxígeno disuelto, dióxido de carbono, amoníaco, nitratos, nitritos, pH, y cloruros, entre otros. La densidad de población de los peces, su tasa de crecimiento y alimentación, el volumen total del tanque y el ambiente pueden provocar cambios rápidos en la calidad del agua. Esto es atenuado en los sistemas integrados.

6.1.2.6 Biofiltración y sólidos suspendidos

El efluente de acuicultura contiene nutrientes, sólidos disueltos y subproductos de desecho. Algunos sistemas acuapónicos incluyen filtros para recoger los sólidos suspendidos en el efluente de los peces, y para facilitar la conversión del amoníaco y

otros productos de desecho en formas más asimilables por las plantas, antes de ser llevados a las barbacoas hidropónicas. Otros sistemas llevan el efluente de los peces directamente a barbacoas hidropónicas con sustrato de grava. La grava funciona como un «bioreactor de cama fluidizada» que remueve los sólidos disueltos y conforma el hábitat para las bacterias nitrificantes que convierten los nutrientes.

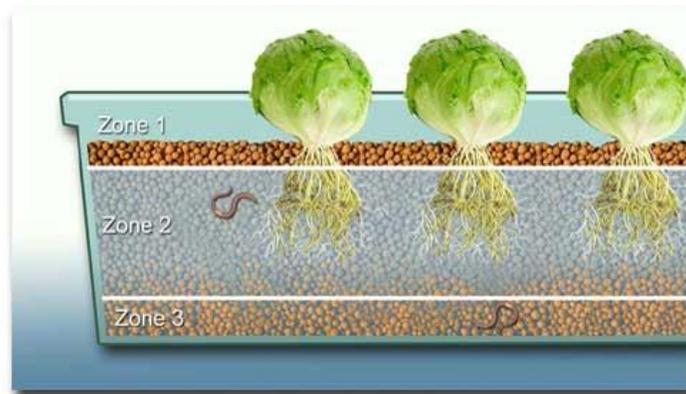


FIG. 5. Biofiltro que muestra diferentes concentraciones de bacterias.

6.1.2.7 Proporción de los componentes

Es necesario equilibrar el volumen del agua en los tanques de peces con el área o el volumen del cultivo hidropónico. Los primeros sistemas acuapónicos estaban basados en una proporción 1:1 entre el volumen del agua de los peces y la del cultivo hidropónico, pero 1:2 es común hoy en día y proporciones hasta 1:4 son usadas. La variación depende del tipo de sistema hidropónico, especie de pez, densidad del cultivo, tasa de alimentación, especies de plantas, etc.

6.1.3 El rendimiento de la Acuaponía

Estudios de SAGARPA están de acuerdo que entre los primeros 2 a 4 meses, el rendimiento de un cultivo acuapónico es inferior al de un cultivo hidropónico después de este tiempo se puede obtener rendimientos hasta 20% superiores a los del sistema hidropónico.

Sobre la rentabilidad de este tipo de sistemas en cuanto a la tilapia se tienen que realizar producciones muy altas para que sea rentable.

Se dice que cuando se acopla un sistema de hidroponía a un sistema de acuicultura, 70 por ciento de las ganancias provienen del cultivo de plantas.

Se estima que con esta técnica hay una reducción de uso de un 45 por ciento en fertilizante y rendimientos de hasta 500 plantas por metro cuadrado anualmente.

6.2 Tilapias

Las Tilapias, como se les conoce a un grupo de peces de origen africano, habitan principalmente en regiones tropicales del mundo, donde existen las condiciones necesarias para su reproducción y crecimiento.

Fue introducida en México en la década de los 60's, proveniente de Estados Unidos. Entre sus variedades destacan la Tilapia del nilo (*O. niloticus*), la Tilapia azul (*O. aureus*) y la Tilapia de Mozambique (*O. mossambicus*).

La Tilapia en comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo, como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades, además de contar con algunos atributos para el mercado, como: carne blanca de buena calidad, buen sabor, poca espina, buena talla y precio accesible, que le confiere una preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial.

6.2.1 Antecedentes

En México, la Tilapia se ha distribuido en una gran cantidad de cuerpos de agua continentales, representando así un recurso más en las actividades piscícolas. Originalmente, las primeras especies llegaron en 1964, procedentes de la Universidad de Auburn, Alabama, EUA. y fueron llevadas al Centro Acuícola de Temascal, en el Estado de Oaxaca. Las especies introducidas en esa época correspondían a: *Tilapia redalli*, *Oreochromis mossambicus* y *O. aureus*.

En 1979, llegaron a México los primeros ejemplares de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) procedentes de Panamá y fueron depositados en el Centro Acuícola de Tezontepec de Aldama en Hidalgo, de donde fueron enviados al Centro Acuícola de Temascal, Oaxaca.

A principios de 1981, la Secretaría de Pesca importó de Palmeto, Florida, EUA. Otra especie: *Oreochromis urolepis homorum*. Esta última especie de una línea genética roja, que fue depositada en el Centro Acuícola El Rodeo en el Estado de Morelos, las que al igual que las especies anteriores fueron distribuidas en todo el territorio nacional.

En julio de 1986, llegó otro lote de *Oreochromis niloticus* en el que venían algunos organismos de color rojo, que fueron donados a nuestro país por la Universidad de Stirling, Escocia y reclutados en las instalaciones del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). No obstante, una parte de este lote se donó a la Secretaría de Pesca, quien se encargó de distribuirla en varios centros de investigación y acuícolas como el de Temascal, Oaxaca; Varejonal, Sinaloa y Zacatepec, Morelos, siendo esta variedad la que mayormente se ha cultivado en México, y que es conocida comúnmente como Tilapia nilótica Stirling. En épocas recientes se han introducido especies menos populares como *O. urolepis* que fue utilizada para la obtención de híbridos monosexo, así como diversas líneas o razas sintéticas con colores atractivos para el consumidor como la tilapia roja de Florida.

6.2.2 Distribución

Son organismos tropicales dulceacuícolas principalmente, originarios de África, los cuales, debido a su facilidad de adaptación se encuentran actualmente distribuidos en la mayoría de los países tropicales y subtropicales con fines de cultivo.

Dentro de sus áreas originales de distribución, las Tilapias han colonizado hábitats diversos, pues es un pez de aguas cálidas, dulces, salobres o salinas que puede adaptarse a aguas con baja concentración de oxígeno, por lo que también es común que habiten en aguas de poca corriente (lenticas), permaneciendo en zonas poco profundas y cercanas a las orillas.

La tilapia se ha introducido en todo el mundo y se cría de manera generalizada en los trópicos y las zonas subtropicales. Aunque Asia domina la producción en la actualidad, se cría cada vez más en condiciones ambientalmente controladas en climas templados.

Se encuentra naturalmente distribuida por América Central, sur del Caribe, sur de Norteamérica y el sudeste asiático y Medio Oriente y África.

6.2.3 Taxonomía y Genética

Los peces que comúnmente se conocen como Tilapias pertenecen a la familia Cichlidae, las tilapias han sido agrupadas en cuatro géneros de la Tribu Tilapiini, dicha tribu es

originaria de África y cuenta con alrededor de cien especies, algunas de las cuales han sido recientemente descubiertas.

Esta situación, aunada a la diferencia de criterios en cuanto a su posición taxonómica, han dificultado la determinación de las especies, lo que ha ocasionado confusiones en cuanto a su identidad, así como el manejo de las diferentes cruces que se han realizado con propósitos comerciales.

6.2.3.1 Género Tilapia

Dentro de este género se reconoce la presencia de *Tilapia rendalli* (antes *Tilapia melanopleura*). Esta especie ha sido diseminada ampliamente en México, pero hasta el momento solo se tiene seguridad de su presencia en la presa presidente Miguel Alemán, Temascal, en el Estado de Oaxaca.

Con respecto a su hueso faríngeo, los ejemplares muestran a simple vista que la parte ventral está totalmente cubierta por un área dentada, en la que los dientes alcanzan un promedio de 3 mm de longitud con una densidad baja. Todas las coronas están pigmentadas de un color café oscuro, siendo la coloración más pronunciada en la parte superior.

6.2.3.2 Género Oreochromis

Las especies de este género presentes en nuestro país, han tenido una excelente adaptación a las aguas intercontinentales, específicamente en las presas de reciente construcción. Por este motivo han sido distribuidas ampliamente en todo el territorio nacional, siendo *Oreochromis aureus* la especie que sostiene en su mayor parte las pesquerías de aguas interiores.

Las características más importantes que distinguen a éste género, en comparación con *Tilapia* es que son incubadores bucales, presentan un marcado dimorfismo y dicromatismo sexual, los huevos son de menor tamaño y éstos carecen de una capa adhesiva.

6.2.4 Funciones Básicas y Metabolismo

6.2.4.1 Hábitos Alimenticios

La mayor parte de las Tilapias, poseen tendencia para hábitos alimenticios herbívoros. Las adaptaciones estructurales a este tipo de dieta, son principalmente un largo intestino muy plegado, dientes bicúspides o tricúspides sobre las mandíbulas y la presencia de dientes faríngeos, que utilizan para poder cortar y rasgar plantas y hojas fibrosas.

De forma general y en base a sus hábitos alimenticios predominantes, las Tilapias se clasifican en tres grupos principales:

- a) Especies Omnívoras (que se alimentan tanto de plantas como de animales): *O. mossambicus* (especie que presenta mayor diversidad en los alimentos que ingiere), *O. nilóticos*, *O. spilurus* y *O. aureus*.
- b) Especies Fitoplanctófagas (que se alimentan de las algas y organismos microscópicos conocidos como fitoplancton) *O. macrochir*, *O. alcalicus*, *O. galilaeus* y *S. melanotheron*
- c) Especies Herbívoras (se alimentan exclusivamente de plantas): *T. rendalli*, *T. zillii*, *T. sparmanni*

Los dos usos más importantes del alimento absorbido son mantenimiento y crecimiento. El exceso de alimento es almacenado en forma de grasa una vez satisfechos los requerimientos.

6.2.4.2 Crecimiento

Su crecimiento es longitudinal. Esto es para todas las etapas de su desarrollo a partir del alevín. El crecimiento también va a depender de varios factores como son: temperatura, densidad y tipo de alimentación principalmente. La mayor tasa de crecimiento la presentan los machos de 6 a 8 meses, el crecimiento promedio de estos es de 18 a 25 cm, con un peso de 150 a 300 gr.

6.2.4.3 Respiración

La respiración se define como el consumo de oxígeno y está en relación directa con la temperatura, alimentación, talla y época del ciclo de vida.

La Tilapia, por su capacidad de adaptación, puede vivir en condiciones ambientales adversas, puesto que soporta una concentración muy baja de oxígeno disuelto. Esto se debe principalmente a que posee la cualidad de saturar su sangre de oxígeno y de reducir su consumo cuando la concentración de éste en el medio es inferior a los 3 mg/l.

Se dice que puede cambiar su metabolismo a aeróbico cuando ésta concentración de oxígeno disminuye. La cantidad de oxígeno disuelto ideal para la Tilapia es mayor de 4.5 mg/l.

6.2.4.4 Reproducción

Las Tilapias poseen sexos separados, existiendo en muchos casos una clara diferencia entre macho y hembra, que puede ser por la coloración del cuerpo o su tamaño, siendo generalmente los machos de mayor peso y talla que las hembras. (TAB-6.1).

A diferencia de otros peces cultivados, tienen la característica de reproducirse fácilmente en cautiverio sin necesidad de intervención del hombre. De hecho, puede considerarse como uno de los principales problemas, la gran facilidad con la que se reproducen estos organismos así como la precocidad en la que comienza, pues al iniciar ésta, reducen su tasa de crecimiento a la vez que hay una sobrepoblación en los estanques, motivo por el cual se prefiere el cultivo monosexo, principalmente de machos.

Parámetros de Reproducción de Tilapia	
Peso Adultos	1-3 kg
Madurez Sexual	Machos (4-6 meses), hembras (3-5 meses).
Número de Desoves	5-8 veces por año
Temperatura de Desove	25-31 ° C
Número de huevos/hembra/desove	Condiciones idóneas > 100
Vida útil reproductores	2-3 años
Tipo de incubación	Bucal
Tiempo de incubación	3-6 días
Proporción de siembra de reproductores	15-20 machos por cada 3 hembras
Tiempo de cultivo	7-8 meses, o peso comercial de 300 g

TAB. 1. Tabla que muestra los parámetros más importantes de reproducción de tilapias

La temporada de reproducción abarca desde finales de marzo o principios de abril hasta mayo, cuando la temperatura del agua es aproximadamente de 20 a 22° C.

Para llevar a cabo la reproducción, se toman en consideración parámetros ideales de crecimiento, es así que la talla óptima varía de entre 250 a 500 g. y de 12 a 15 cm. de longitud, cantidades que se alcanzan entre las edades de 6 a 12 meses.

El éxito de la reproducción y sobrevivencia de los alevines y crías depende en gran parte de la selección de los reproductores.

6.2.5 Anatomía de la Tilapia

El cuerpo de estos peces es robusto comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado, con aleta dorsal que tiene de 23 a 31 espinas y radios; la boca es proctátil, mandíbula ancha, a menudo bordeada por labios gruesos con dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos, en otros casos puede presentar un puente carnosos (freno) que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media debajo del labio.

La línea lateral es bifurcada: la porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, en la porción inferior, aparecen varias escamas por debajo de donde termina la línea lateral de la parte superior hasta la terminación de la aleta caudal; la aleta caudal truncada redondeada (ver FIG. 6).

Generalmente, el macho se desarrolla más que la hembra.

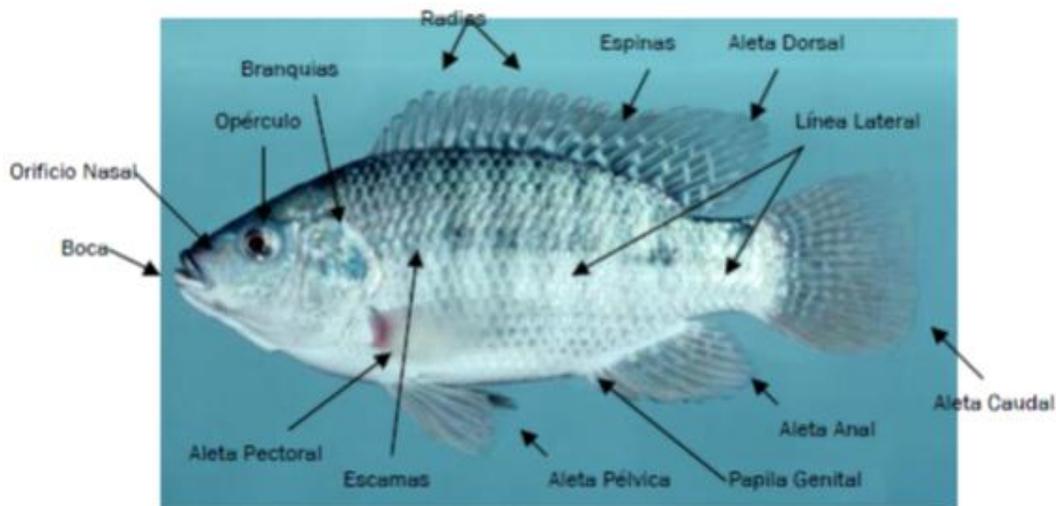


FIG. 6. Anatomía de una tilapia *Orenochromis aerus*

6.3 Automatización industrial

6.3.1 Definición

Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo *auto*: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

La automatización como una disciplina de la ingeniería que es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar, controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

6.3.2 Antecedente de la automatización

Las primeras máquinas simples sustituían una forma de esfuerzo en otra forma que fueran manejadas por el ser humano, tal como levantar un peso pesado con sistema de poleas o con una palanca. Posteriormente las máquinas fueron capaces de sustituir formas naturales de energía renovable, tales como el viento, mareas, o un flujo de agua por energía humana. Los botes a vela sustituyeron a los botes de remos. Todavía después, algunas formas de automatización fueron controladas por mecanismos de relojería o dispositivos similares utilizando algunas formas de fuentes de poder artificiales -algún resorte, un flujo canalizado de agua o vapor para producir acciones simples y repetitivas, tal como figuras en movimiento, creación de música, o juegos. Dichos dispositivos caracterizaban a figuras humanas, fueron conocidos como autómatas y datan posiblemente desde 300 AC.

En 1801, la patente de un telar automático utilizando tarjetas perforadas fue dada a Joseph Marie Jacquard, quien revolucionó la industria del textil.

La parte más visible de la automatización actual puede ser la robótica industrial. Algunas ventajas son repetitividad, control de calidad más estrecho, mayor eficiencia, integración con sistemas empresariales, incremento de productividad y reducción de trabajo. Algunas desventajas son requerimientos de un gran capital, decremento severo en la flexibilidad, y un incremento en la dependencia del mantenimiento y reparación.

Para mediados del siglo XX, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo el concepto solamente llegó a ser realmente práctico con la adición (y evolución) de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de cómputo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960s. Antes de ese tiempo, las computadoras industriales eran exclusivamente computadoras analógicas y computadoras híbridas. Desde entonces las computadoras digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas simples, repetitivas, tareas semiespecializadas y especializadas, con algunas excepciones notables en la producción e inspección de alimentos.

Existen muchos trabajos donde no existe riesgo inmediato de la automatización. Ningún dispositivo ha sido inventado que pueda competir contra el ojo humano para la precisión y certeza en muchas tareas; tampoco el oído humano. El más inútil de los seres humanos puede identificar y distinguir mayor cantidad de esencias que cualquier dispositivo automático. Las habilidades para el patrón de reconocimiento humano, reconocimiento de lenguaje y producción de lenguaje se encuentran más allá de cualquier expectativa de los ingenieros de automatización.

Computadoras especializadas, son utilizadas para leer entradas de campo a través de sensores y en base a su programa, generar salidas hacia el campo a través de actuadores. Esto conduce para controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial.

Existen dos tipos distintos: DCS o Sistema de Control Distribuido, y PLC o Controlador Lógico Programable. El primero era antiguamente orientado a procesos de tipo análogos, mientras que el segundo se utilizaba en procesos de tipo discreto (ceros y unos). Actualmente ambos equipos se parecen cada vez más, y cualquiera de los dos puede ser utilizado en todo tipo de procesos.

Las interfaces Hombre-Máquina (HMI) o interfaces Hombre-Computadora (CHI), formalmente conocidas como interfaces Hombre-Máquina, son comúnmente empleadas para comunicarse con los PLCs y otras computadoras, para labores tales como introducir y monitorear temperaturas o presiones para controles automáticos o respuesta a

mensajes de alarma. El personal de servicio que monitorea y controla estas interfaces es conocido como ingeniero de estación.

Otra forma de automatización que involucra computadoras es la prueba de automatización, donde las computadoras controlan un equipo de prueba automático que es programado para simular seres humanos que prueban manualmente una aplicación. Esto es acompañado por lo general de herramientas automáticas para generar instrucciones especiales (escritas como programas de computadora) que direccionan al equipo automático en prueba en la dirección exacta para terminar las pruebas.

6.3.3 Los Controladores Lógicos Programables (PLC)

Los controladores lógicos programables o PLC (*programmable logic controller* en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial.

El control lógico programable (PLC) procesa señales binarias de entrada y las convierte en señales de salida; con éstas se pueden controlar directamente secuencias mecánicas, procesos fabriles totales o parciales, etcétera.

Los posibles campos de aplicación de un PLC son casi innumerables. Los controles lógicos programables se utilizan hoy principalmente para las siguientes funciones:

- Control de Procesos: En esta función, el PLC se encarga de que cada paso o fase del proceso sea efectuado en el orden cronológico correcto y sincronizado.
- Visualización de instalaciones: En este caso, el PLC verifica automáticamente ciertas condiciones de la instalación (por ejemplo: temperaturas, presiones, niveles). Cuando en su comprobación, el control registra un exceso en los coeficientes máximos o mínimos de los parámetros, actúa de dos formas; adopta las medidas necesarias para evitar deterioros o desperfectos, o emite señales de aviso para el personal de servicio.
- Control puesta a punto para máquinas CNC: Las máquinas herramientas modernas casi siempre están dotadas de un control numérico computarizado (CNC). El tornero o fresador ya no pone a punto su máquina ajustando manivelas y tornillos. En lugar de ello, programa un control numérico computarizado. Este se encarga entonces de realizar automáticamente los ajustes precisos para trabajar la pieza correspondiente. Pero para que el CNC y la máquina herramienta se

entiendan, es preciso integrar un PLC, que se encarga de la comunicación entre ambos equipos.

6.3.3.1 Componentes de un PLC

Según el problema técnico que se tenga que resolver con un PLC, la configuración de éste puede ser más o menos compleja (véase FIG. 7). Independientemente del grado de complejidad de la aplicación, el equipo consta siempre de los componentes esenciales:

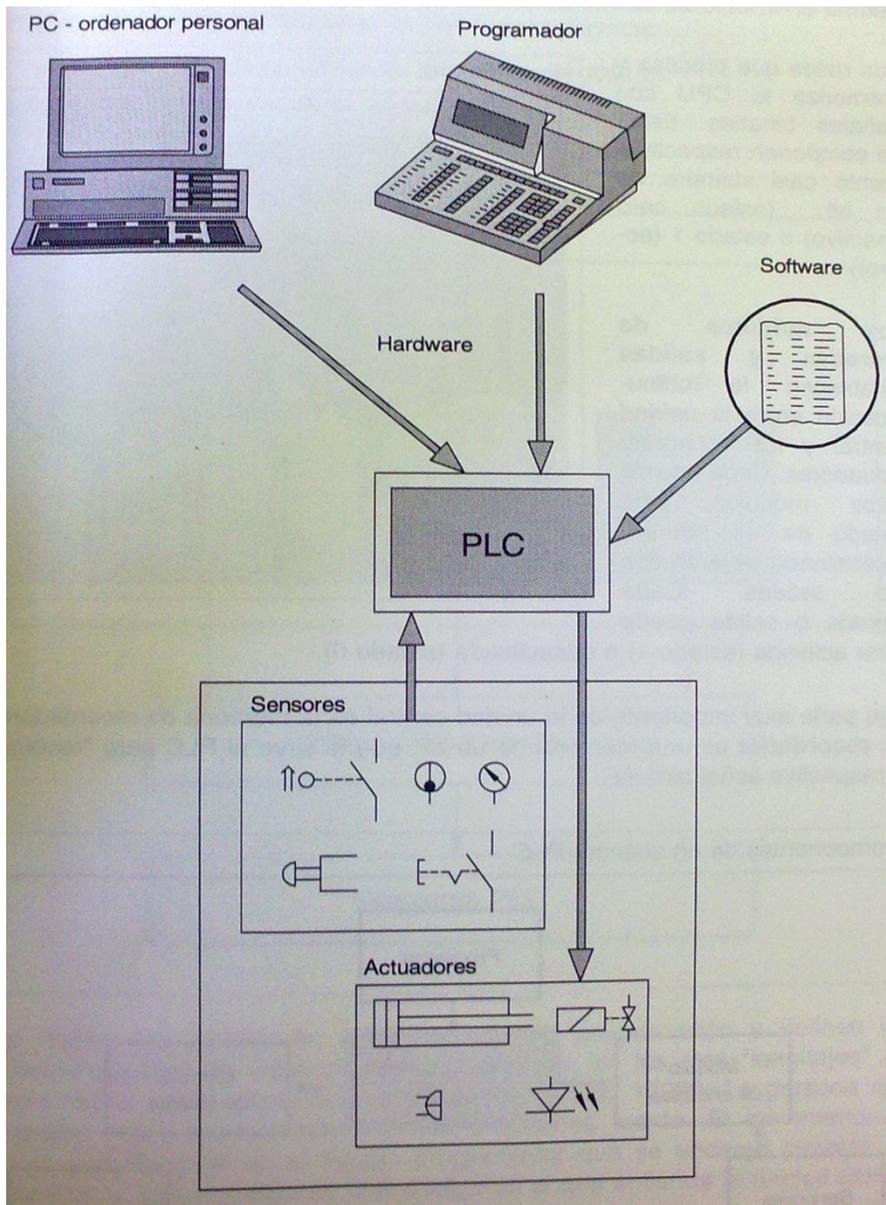


FIG. 7. Componentes de una PLC

Hardware

Por hardware se entienden los grupos electrónicos. Estos se encargan de activar o desactivar las funciones controlables de la instalación o maquinaria en función de una secuencia lógica determinada.

La parte esencial del hardware PLC es la unidad central de proceso (CPU). Por su construcción, la CPU es casi idéntica a un ordenador. La actividad interna en la CPU se califica de procesador.

Los datos que procesa y memoriza la CPU son señales binarias. Estas se componen respectivamente casi siempre de un bit (estado cero (inactivo) o estado 1 (activo)).

Software

Por software se entiende los programas. Estos determinan los enlaces lógicos y, por consiguiente, la activación o desactivación, o sea el mando, de los grupos controlables en la instalación de la maquinaria. El software, o sea los programas, están archivados en una memoria (hardware) propia y especial, de la cual pueden ser recuperados y, en su caso, modificados en cualquier momento dado. Al modificar el programa se altera también la secuencia del mando. Una modificación o cambio de software no implica un cambio del hardware.

Los programas PLC muestran una estructura muy rígida (ver FIG. 8), que es determinada por la electrónica en la unidad central. Esos programas son elaborados por el programador, partiendo de programas o códigos fuente, que el operario programador puede confeccionar de tres formas distintas:

- En forma de programa listado de instrucciones (AWL);
- En forma de diagrama de contacto (KOP);
- En forma de diagrama de funciones (FUP).

Las reglas que inciden en los tres tipos de programación y definen las correspondencias de instrucciones y comandos en los tres “lenguajes” de programación están especificadas en la norma DIN 19239. La persona que programa suele trabajar sólo con los programas fuente. El los memoriza, corrige y documenta en el equipo programador que se encarga

también de traducirlos al código máquina; este código es el que entiende la unidad central de proceso.

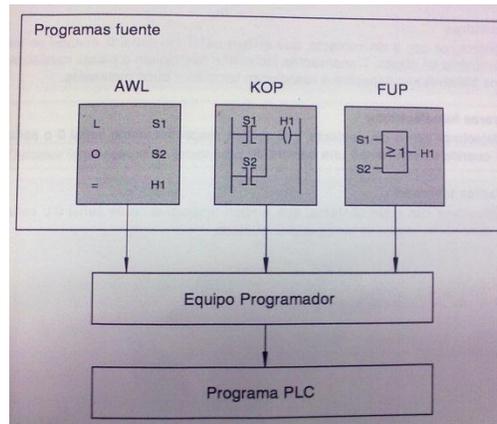


FIG. 8. Enlaces lógicos que muestra los tres tipos de programas fuente

Sensores

Los sensores son transmisores de señales. El PLC utiliza los sensores para consultar estados en la instalación o en los equipos controlables. El PLC trabaja con electricidad; por ello las señales no eléctricas tienen que ser convertidas (por los sensores) en señales eléctricas. De lo contrario, el módulo de entradas no sabría interpretarlas. La técnica de los sensores abarca todos los grupos o dispositivos sobre la instalación o maquinaria controlable, que se encargan de comunicar al PLC la información sobre estados de máquina. Los elementos sensores pueden ser, por ejemplo, conmutadores o detectores de proximidad.

Ejemplo de sensores:

- Detectores de proximidad
 - Interruptores, pulsadores, conmutadores.
- Indicadores
 - Detectores con o sin contacto, que emiten señal 1 o señal 0, cuando se les aproxima un objeto. Transmisores inductivos reaccionan a piezas metálicas; los transmisores capacitivos reaccionan también a otros materiales.
- Barreras fotoeléctricas
 - Detectores con o sin contacto, que emiten respectivamente señal 0 o señal 1 cuando se interrumpe una barrera de luz.
- Sensores térmicos

- Detectores con o sin contacto, que emiten respectivamente señal 0 o señal 1 cuando se llega a la temperatura ajustada.

Actuadores

Los actuadores son los elementos ejecutivos. Estos toman señales binarias de los módulos de salidas y la amplifican para señales de conmutación o las convierten en señales para otras formas de energía.

La técnica de los actuadores abarca todos los grupos sobre la instalación o maquinaria controlable, cuya actuación modifica los estados del PLC, es decir modifica los procesos o indica alteración de estados. Se distinguen actuadores eléctricos, electrónicos, electrohidráulicos y electroneumáticos. Los elementos actuadores pueden ser, por ejemplo, zumbadores o electroválvulas. Estos elementos pueden generar conmutaciones así como desplazamientos lineales y rotativos.

Ejemplo de actuadores:

- Dispositivos de indicación
 - Lámparas piloto, zumbadores, timbres.
- Cilindros neumáticos (con sistemas de válvulas)
 - Cilindros de simple o doble efecto, cilindro con vástago doble, cilindros tándem, cilindros multiposición.
- Electromotores
 - Motores de corriente continua, motores (lentos) de posicionamiento, sincromotores de corriente alterna, motores de aletas.
- Actuadores hidráulicos (con sistemas de válvulas)
 - Cilindros de simple o doble efecto, válvulas reguladores de caudal, motores hidráulicos.
- Motores electrohidráulicos
 - Motores lentos, servoaccionamientos.

Equipo programador

El equipo programador se utiliza para introducir y editar los programas, para traducirlos al código de PLC, para implementarlos en el PLC y para comprobarlos (ver FIG. 9).

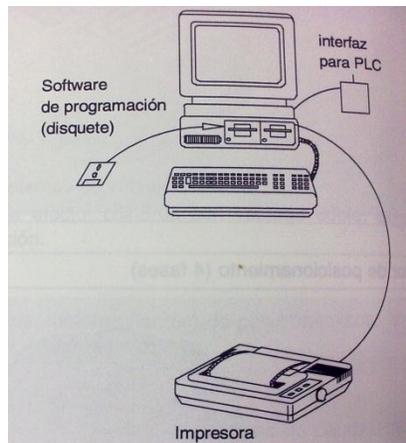


FIG. 9. Equipo programador y sus componentes

Ordenador personal

Antes se solían utilizar equipos especiales que eran sólo compatibles con los equipos de control de una marca determinada. En la actualidad se utiliza cada vez más un ordenador personal normal como equipo de programación. Para que el ordenador personal pueda desempeñar las funciones de programador, es preciso incorporarle un software específico para los fines de control.

Sistemas de programación

Los sistemas de programación implementados en ordenadores personales ofrecen, casi siempre varias alternativas de programación. El programador redacta el programa fuente gráficamente o bien en texto completo. El sistema de programación se encarga entonces de traducir el programa a código máquina; este es el que interpreta el correspondiente PLC. Si el ordenador personal respectivo está dotado de un interfaz correspondiente a la marca del control, los programas pueden ser pasados directamente a la memoria del PLC.

Equipos especiales de programación: estos permiten, normalmente, la programación con símbolos específicos y propios para la correspondiente tarea de control; los símbolos indicados se basan en la norma DIN 19239.

El programa puede ser comprobado sobre la máquina. Para ello existen equipos programadores de bolsillo. Con estos programadores miniaturizados se pueden modificar los programas en máquina.

6.4 Ecuaciones Utilizadas de Hidráulica

6.4.1 Ecuación de caudal

$$Q = V \cdot A \text{ --- EC.1}$$

En donde:

Q, es el caudal del fluido (m³/s)

V, es la velocidad del fluido (m/s).

A, es el área de la sección transversal (m²)

Para una sección transversal circular, tenemos:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot V \text{ --- EC.1'}$$

En donde D es el diámetro (m).

Para calcular el caudal (Q) en función del volumen por unidad de tiempo:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}} \text{ --- EC.2}$$

6.4.2 Ecuación de Torricelli

$$V = \sqrt{2gH} \text{ --- EC.6.3}$$

En donde:

V, es la velocidad del fluido que sale de un depósito (m/s).

H, es la altura de la columna de fluido que va desde el punto medio del orificio hasta el espejo del agua (m).

g, es la aceleración de la gravedad (m/s²).

6.4.3 Tiempo de descarga de un tanque

La siguiente ecuación es para calcular el tiempo de descarga de un depósito de sección transversal constante circular y orificio de descarga circular, de una altura H hasta una altura h .

$$t = \frac{D^2}{g \cdot d^2} \sqrt{2g} (\sqrt{H} - \sqrt{h}) \text{ --- EC.4}$$

En donde:

t, es el tiempo de descarga del estanque (s).

H, altura inicial del depósito (m).

h, altura final del depósito (m).

D, diámetro del depósito (m).

d, diámetro del orificio de descarga (m).

g, aceleración de la gravedad (m/s²).

6.4.4 Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) que es un grupo adimensional, vienen dado por el coeficiente de las fuerzas de inercia por las fuerzas debido a la viscosidad.

Para tuberías circulares, el flujo a tubería llena:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \text{----- EC. 5}$$

En donde:

Re, es el número de Reynolds (adimensional).

V, es la velocidad del fluido de trabajo (m/s).

D, es el diámetro de la tubería (m)

ν , es la viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

6.4.5 Ecuación de la Energía

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) \text{----- EC. 6}$$

En donde:

p_1 y p_2 , son las presiones en los puntos 1 y 2, respectivamente, (Pa).

V_1 y V_2 , son las velocidades del fluido en los puntos 1 y 2, respectivamente, (m/s²).

z_1 y z_2 , son las alturas del fluido con respecto a una referencia en los puntos 1 y 2, respectivamente, (m).

H_A , es la energía agregada -bombas, compresores, etc.- (m)

H_L , es la energía que se pierde por fricción o por accesorios (m)

H_E , es la energía extraída -turbinas u otras máquinas- (m)

γ , es el peso específico del fluido de trabajo (N/m^3).

g , es la aceleración de la gravedad (m/s^2).

6.4.6 Cálculo de pérdidas de carga

En los flujos de fluidos en tuberías existen dos tipos de pérdidas, las cuales al sumarse dan la pérdida total de carga, es decir:

$$H_L = H_{mayores} + H_{menores} \text{ --- --- --- --- --- EC. 7}$$

De donde:

H_L , es la pérdida total de carga (m).

$H_{mayores}$, son las pérdidas mayores de carga (m).

$H_{menores}$, son las pérdidas menores de carga (m).

6.4.6.1 Cálculo de pérdidas de carga mayores

Fórmula de Darcy-Weisbach

La Fórmula de Darcy-Weisbach es la fórmula básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. La ecuación es la siguiente:

$$H_{mayores} = f \left(\frac{L}{d} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \text{ --- --- --- --- --- EC. 8}$$

En donde:

$H_{mayores}$, son las pérdidas mayores de carga (m)

f , es el coeficiente de fricción (adimensional)

L , longitud de la tubería (m)

D , diámetro de la tubería (m)

V , velocidad media del flujo (m/s)

g, aceleración de la gravedad (m/s²).

Ecuación de Colebrook

Para todas las tuberías, el Hydraulic Institute de los Estados Unidos de Norteamérica y la mayoría de los ingenieros consideran la Ecuación de Colebrook como la más aceptable para calcular f . La ecuación es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] \text{ --- --- --- EC. 9}$$

En donde:

f , es el coeficiente de fricción (adimensional)

ϵ , coeficiente de rugosidad absoluta (m)

d , diámetro interno de la tubería (m)

Re , Número de Reynolds

6.4.6.2 Cálculo de pérdidas de carga menores

El resto de las pérdidas, no consideradas hasta ahora, se agrupan con el nombre de pérdidas de carga <<menores>>. Se producen, en general, como resultado de una variación significativa de la configuración del flujo. Por tanto, tienen lugar en las contracciones o ensanchamientos (sean bruscos o graduales) de los conductos, en válvulas, accesorios, codos, etc., y en las entradas o en las salidas. En algunos casos estas pérdidas <<menores>> pueden ser muy importantes.

El estudio teórico de las pérdidas de carga menores son, por lo general, muy complicados, por lo que estas pérdidas se evalúan mediante métodos experimentales. Comúnmente se expresan en función de la altura de velocidad. En forma matemática:

$$H_{menor} = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \text{ --- --- --- EC. 10}$$

En donde:

$H_{menores}$, son las pérdidas menores de carga (m).

K , coeficiente de pérdida de carga menor (adimensional), (consultar TAB. C2).

V , velocidad media del flujo (m/s).

g , aceleración de la gravedad (m/s²).

6.4.7 Potencia

La potencia se calcula multiplicando el caudal en peso, o gasto, γQ , por la energía H en kpm/kp o Nm/N . Así resulta la ecuación:

$$P = \gamma Q H \text{ --- --- --- --- } EC. 11$$

O en caballos de fuerza

$$CV = \frac{\gamma Q H}{745.7} \text{ --- --- --- --- } EC. 11'$$

Para estas dos ecuaciones anteriores:

P , potencia (W).

γ , peso específico del fluido de trabajo (N/m^3).

Q , caudal del fluido (m^3/s).

CV , potencia en (hp).

6.4.8 Eficiencia de una bomba

La eficiencia de una bomba se obtiene con la siguiente relación:

$$n_B = \frac{H_{real}}{H_{teórico}} \text{ --- --- --- --- } EC. 12$$

La n_B es siempre menor a 1.

6.5 Ecuaciones utilizadas de Hidrología

6.5.1 El Método de Thornthwaite

El Método de Thornthwaite es un método climático (uno de los métodos para calcular la evapotranspiración), a continuación se expresa la ecuación de Thornthwaite:

$$ET_p = 1.6 \left(\frac{l_1}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10T_a}{I} \right)^{a_1} \text{ --- EC. 13}$$

Donde l_1 es el número de horas reales de sol a día, N es el número de días al mes, T_a es la temperatura media mensual en °C, y a_1 , se define como:

$$a_1 = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49 \text{ --- EC. 14}$$

I es el índice de calor derivado de la suma de los 12 valores de los índices mensuales (i) obtenida a partir de:

$$i = \left(\frac{T_a}{5} \right)^{1.514} \text{ --- EC. 14'}$$

CAPITULO 7

PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

7.1 Datos importantes que se necesitarán

Las ecuaciones que se definieron en el capítulo anterior manejarán los siguientes datos, (los cuales se omitirán su mención en los cálculos aquí realizados, dando por entendido que los siguientes datos no van a cambiar de una ecuación a otra al menos que se indique lo contrario):

Especificaciones técnicas de los estanques (datos más significativos):

- Capacidad máxima funcional: 120 m^3 (120,000 litros)
- Diámetro (D): 12 m
- Altura mayor de 1.0610 m (altura a la cual se alcanza los 120 m^3)

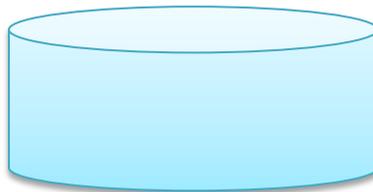


FIG. 10. Acuario de tilapias)

Constantes utilizadas

Aceleración de la gravedad (g) = 9.81 m/s^2 .

Propiedades utilizadas del agua:

El fluido de trabajo en este proyecto es agua, el clima del rancho es aproximadamente 25°C . Lo cual a partir de ahí podemos tener las siguientes propiedades (ver TAB. C1):

Viscosidad cinemática (ν) = $0.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Peso específico (γ) = 9777 N/m³.

Rugosidad de la tubería a utilizar

Este proyecto va orientado a una tubería de PVC hidráulico, el cual se le considera como tubo liso y tiene la siguiente propiedad tomada de la TAB. C3:

$$\epsilon = 0.0015 \text{ m}$$

7.2 Cálculos y diseños

7.2.1 Determinación del volumen a desalojar de un estanque

El volumen a desaguar diario de cada estanque es el 10% de su capacidad máxima, lo cual corresponde a 12,000 litros. Esto equivale a una altura de 0.1061 metros (Ver SECCIÓN 7.1).

7.2.2 Propuesta del estanque para el cultivo hidropónico

El tamaño del estanque para cultivo hidropónico se propondrá debido a las consideraciones de tamaño del acuario, el cultivo hidropónico contará con el mismo tamaño de base que el acuario, pero con una capacidad máxima funcional del 20% del acuario, esto equivale a 24,000 litros, es decir, con altura funcional de 0.2122 m.



FIG. 11. Cultivo hidropónico

7.2.3 Diseño del sistema acuapónico (un estanque)

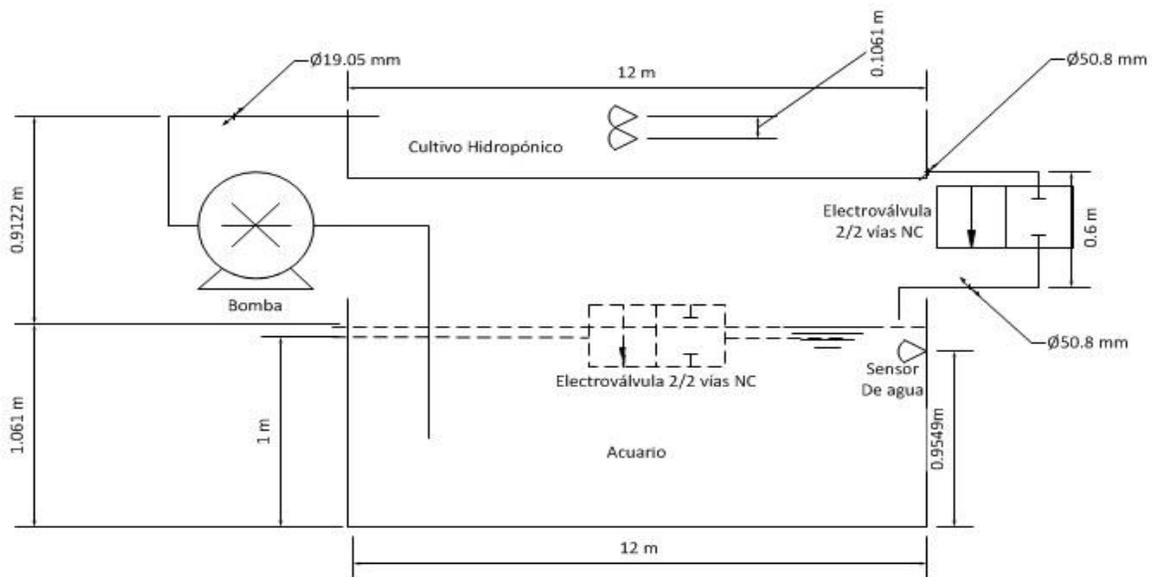


FIG. 12. Sistema acuapónico, para apreciar mejor toda la instalación ver ANEXO D.

7.2.4 Diseño del Sistema hidráulico

7.2.4.1 Cálculos relacionados con el desagüe del cultivo hidropónico

Datos obtenidos de la FIG. 12:

$$H = 0.6122 \text{ m}$$

$$h = 0.5061 \text{ m}$$

$$D = 12 \text{ m}$$

$$d = 0.0508 \text{ m}$$

Sustituyendo estos valores en la EC. 4 y haciendo un arreglo para convertir el resultado de segundos a horas se obtiene:

$$t = \frac{12^2}{9.81 \cdot 0.0508^2} \sqrt{2 \cdot 9.81} (\sqrt{0.6122} - \sqrt{0.5061}) \left(\frac{1}{3600} \right) = 2.28 \text{ horas} \text{ --- R. 1}$$

7.2.4.2 Cálculos relacionados con la bomba de desagüe del acuario

Para este caso no se considerarán ni pérdidas mayores ni las menores debido al tramo corto de tubería que se utilizará.

Utilizando la FIG. 12 se obtienen los siguientes datos:

$$D = 3/4" = 0.01905 \text{ m}$$

$$p_1 = p_2 = 0$$

$$V_1 = 0$$

$$H_1 = 0$$

$$H_2 = 0.9122 \text{ m}$$

El volumen a desaguar es 12 m^3 , y se desea que sea en un tiempo de 1 h, utilizando la EC. 2, se obtiene:

$$Q = \frac{12}{3600} = 3.3333 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ --- R. 2}$$

Despejando la velocidad (V) de la EC. 1' y sustituyendo R. 2 y los datos correspondientes para este caso, se obtiene:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{(4)(3.3333 \times 10^{-3})}{\pi(0.01905^2)} = 11.6948 \frac{m}{s^2} \text{ --- R. 3}$$

Sustituyendo los valores y condiciones anteriores, y R. 3, en la EC. 6 se obtiene:

$$H_A = \frac{(11.6948)^2}{(2)(9.81)} + 0.9122 = 7.8831 \text{ m --- R. 4}$$

Para calcular la potencia en "hp" utilizamos la EC. 6.11'

$$P = \frac{(7.8831)(3.3333 \times 10^{-3})(9777)}{745.7} = 0.3445 \text{ hp --- R. 5}$$

Lo cual podríamos pensar que una bomba de ½ hp puede satisfacer la potencia requerida, pero hay un factor muy importante que considerar, y es la eficiencia; para una bomba comerciar de ½ hp, se tiene una eficiencia de 62%. Dado que el R. 5 es la potencia teórica, despejando la potencia real (P_{real}) de la EC. 12 se tiene:

$$P_{real} = \frac{P_{teórica}}{n_B} = \frac{0.3445}{0.62} = 0.5556 \text{ hp --- R. 6}$$

Podemos apreciar que $P_{real} > \frac{1}{2}$ hp. Lo cual significa que una bomba de ½ hp con una eficiencia de 62% no puede trasegar 12 m³ en 1 h. Para determinar el tiempo que tardaría una bomba con estas características se utiliza un procedimiento inverso, lo cual da como resultado:

$$t = 1 \text{ hora con } 6 \text{ minutos y } 40.90 \text{ segundos --- R. 7}$$

Como se puede apreciar la diferencia de tiempo es muy pequeña, lo cual no causa mayor problema; es por eso que la bomba adecuada para el desagüe es ½ hp con 62% de eficiencia.

7.2.4.3 Evaluación de la altura del depósito de reposición (tinaco)

Antes de seguir con este paso es necesario hacer una aclaración, la capacidad del tinaco no es tan importante, sino más bien las alturas que se maneja en el croquis del ANEXO D del cual se extraen los datos que se necesitarán para este fin y los valores más críticos, por ejemplo la altura H_1 , se considera al nivel mínimo del tinaco porque en base a este se restringirá el sistema. Datos:

$$D = 2'' = 0.0508 \text{ m}$$

$$p_1 = p_2 = 0$$

$$V_1 = 0$$

$$H_1 = 0$$

$$H_2 = 2.5 \text{ m}$$

Para esta situación se procederá a calcular tanto las pérdidas menores y mayores.

- Cálculo de pérdidas menores

Observando el croquis del ANEXO D se obtienen los siguientes datos:

TAB. 2. Coeficientes de pérdidas por accesorios			
Cantidad (n)	Accesorio	K	n·K
3	Codo 90°	0.75	2.25
1	Depósito-tubería*	1	1
1	Codo 45°	0.45	0.45
1	Electroválvula	10	10
*Tubería entrante			ΣK = 13.7

Nota: como no se tienen la constante K de la electroválvula se propone el valor de 10 que corresponde a una válvula de globo.

Sustituyendo valores de la TAB. 2 en la EC. 10 se obtiene H_{menores} en función de V_2 :

$$H_{\text{menores}} = \frac{V_2^2}{2 \cdot 9.81} (13.7)$$

$$H_{\text{menores}} = 0.6983V_2^2 \text{ --- EC. 15}$$

- Cálculo de cargas mayores

Sustituyendo valores en la EC. 8 se obtiene H_{mayores} en función de f y V_2 :

$$H_{\text{mayores}} = f \left(\frac{75}{0.0508} \right) \left(\frac{V_2^2}{2 \cdot 9.81} \right)$$

$$H_{mayores} = 75.2486 f V_2^2 \text{ --- --- --- EC. 16}$$

Sustituyendo EC. 15 y EC. 16 en la EC. 7 se obtiene:

$$H_L = 0.6983V_2^2 + 75.2486 f V_2^2 \text{ --- --- --- EC. 17}$$

Sustituyendo EC. 17 en la EC. 6 se tiene:

$$2.5 = 0.051V_2^2 + 0.6983V_2^2 + 75.2486 f V_2^2$$

Reduciendo:

$$2.5 = 0.7493V_2^2 + 75.2486 f V_2^2 \text{ --- --- --- EC. 18}$$

Dejando el Reynolds (EC. 5) en función de V_2 , se obtiene:

$$Re = \frac{0.0508V_2}{0.897 \times 10^{-6}}$$

Reduciendo:

$$Re = 56886.8981V_2 \text{ --- --- --- EC. 19}$$

Sustituyendo valores y EC. 19 en la EC. 9 se obtiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{0.0015}{3.7(0.0508)} + \frac{2.51}{56886.8981V_2\sqrt{f}} \right] \text{ --- --- --- EC. 20}$$

Resolviendo las EC. 18 Y EC. 20 simultáneamente se obtiene:

$$V = 0.7014 \text{ m/s --- --- --- R. 8}$$

Este valor positivo de velocidad nos indica que la altura piezométrica del sistema es suficiente para vencer las perdidas en la instalación (por fricción y accesorios).

Para obtener el caudal se sustituye R. 8 en la EC. 1 lo que da como resultado:

$$Q = \frac{\pi(0.0508)^2(0.7014)}{4} = 1.4216 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \text{ --- --- --- R. 9}$$

7.2.4.4 Obtención del volumen evaporado

Para obtener el volumen que se evaporaría se necesitarán los siguientes datos (valores críticos):

T = 25°C

N = 15 días

$l = 12$ horas

Sustituyendo valores en la ecuación EC. 13 y sus ecuaciones auxiliares: EC. 14 y EC. 14' se tiene:

$$ET_p = 6.6311 \times 10^{-3} m \text{ --- --- --- } R. 10$$

Por lo tanto el volumen a desalojar de cada recipiente (sea estanque o acuario) sería:

$$volumen = \frac{\pi}{4} D^2 h = \frac{\pi}{4} (12)^2 (6.6311 \times 10^{-3}) = 0.75 m^3 \text{ --- --- --- } R. 11$$

Para calcular el tiempo que tardaría en reponerse el nivel de agua, considerando que son 24 recipientes (12 acuarios y 12 cultivos hidropónicos), se despeja t de la EC. 2 y haciendo un arreglo da como resultado lo siguiente:

$$t = \frac{volumen}{Q} = 24 \left(\frac{0.75}{1.4216 \times 10^{-3}} \right) = 12661.8948 s = 3.5172 \text{ horas --- --- } R. 12$$

Como el funcionamiento del sistema se hará de dos estanques simultáneamente y tomando los resultados R. 1, R. 7 y R. 12, da como resultado lo siguiente:

$$t_{total} = 6(2.28 + 1.0391) + 3.5172 = 23.4318 h \text{ --- --- } R. 13$$

El número "6" de la operación anterior es porque son 6 parejas de sistemas acuapónicos que funcionan de manera simultánea. Otra cosa que se puede apreciar con respecto a R. 13 es que $t_{total} < 24 \text{ horas}$, esto quiere decir que este proceso se completa en menos de 1 día (este dato se usa para el diseño automático)

7.2.4.5 Cálculo de bomba de llenado del tinaco

Antes de calcular la potencia de la bomba necesaria para que este sistema funcione correctamente se habrá de mencionar lo siguiente, el agua del tinaco entrará en función cada 15 días (1296000 segundos), y la velocidad de flujo del agua se consideró tomando en cuenta la distancia mayor debido a que la pérdida carga (tanto mayores como menores) sería más grande, pero eso nos da un caudal menor. Haciendo un análisis análogo a la SECCIÓN 7.2.4.3 para los cultivos acuapónicos más próximos ($L = 9$ m y no $L = 75$ m, como el anterior) y considerando una tubería de 2" de diámetro se obtiene:

$$V = 1.4054 \frac{m}{s} \text{ --- --- --- --- --- } R. 14$$

$$Q = 2.848 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \text{ --- --- --- } R. 15$$

Se requiere que el caudal de la bomba a calcular sea igual o mayor a R. 15 ya que se pretende disminuir el tiempo de llenado de los acuarios (ya que debe culminarse el

proceso en menos de 24 horas), y a la distancia más próxima (cuando $L = 9$ m) se pueda tener un flujo estable.

Ahora bien para encontrar la potencia de la bomba que llena el tinaco se tienen los siguientes datos del ANEXO D:

$$L = 100 \text{ m y } D = 0.0508 \text{ m}$$

Mismo material que se usó en la SECCIÓN 7, lo diferente serán los accesorios.

TAB. 3. Coeficientes de pérdidas por accesorios			
Cantidad (n)	Accesorio	K	n·K
3	Codo 90°	0.75	2.25
1	Tubería-depósito	0.318	0.318
			$\Sigma K = 2.568$

Por tanto utilizando un procedimiento análogo se sustituyen los valores de esta SECCIÓN en las ecuaciones EC. 5, EC. 6, EC. 7, EC. 8, EC. 9, EC. 10, EC.6.11', obteniendo:

$$P = 2.0536 \text{ hp} \text{ --- --- --- --- --- } R. 16$$

De esto se puede apreciar que una bomba de 3 hp podría satisfacer las necesidades aquí requeridas, solo que el resultado anterior no incluye eficiencia, si consideramos las bombas comerciales de 3 hp, tienen una eficiencia de 72%. Por tanto, sustituyendo la eficiencia y despejando P_{real} de la EC. 12, se tiene:

$$P_{real} = \frac{3.1584}{0.79} = 3.9980 \text{ hp} \text{ --- --- --- --- --- } R. 17$$

Ahora es más que seguro que una bomba de 3 hp puede usarse para el fin demandado en esta SECCIÓN.

Nada más por curiosidad, si se tuviera un tinaco de 5 m^3 y de alguna manera se vaciara todo (quizás para limpieza u otra situación), el tiempo de llenado del tinaco sería determinado despejando t de la EC 2:

$$t = \frac{5}{2.848 \times 10^{-3}} = 1755.618 \text{ s} = 30 \text{ min (aproximadamente)} \text{ --- --- } R. 18$$

7.2.5 Definir las electroválvulas a utilizar

En este apartado se definirá una válvula que satisfaga las características necesarias para este proyecto, dichas especificaciones se obtienen del manual de FESTO (ver ANEXO B).

En base a lo que se requiere para este proyecto se necesita esta electroválvula:

VZWF-B-L-M22C-G2-500-V-3A-P4-6

Que tiene las siguientes características:

Tipo: VZWF

Ejecución del producto: funciones optimizadas

Tipo de válvula de vías: válvula con conexiones roscadas

Función de la válvula: válvula de 2/2 vías normalmente cerrada

Conexión de la válvula: Rosca G2

Diámetro nominal DN: 50 mm

Juntas: FPM

Tensión nominal de funcionamiento: 230 V AC/50-60 Hz

Conexión eléctrica: conector tipo zócalo de 3 contactos

Presión de funcionamiento: Máxima 10 bar

Protección contra la corrosión: estándar (Latón)



FIG. 13. Electroválvula que trabaja con líquidos

7.2.6 Diseño del sistema automático

El Diseño automático que cumple con lo demandado de este proyecto se muestra en el diagrama escalera en el CAPITULO 8. El diagrama hace funcionar a 2 parejas de sistemas acuapónicos, las 4 parejas restantes de sistemas acuapónicos funcionan exactamente igual. Dicho proceso está programado para que se inicie exactamente cada 24 horas (controlado por un temporizador). Sólo el tinaco que sirve para reponer el nivel del agua del sistema, que se ha perdido por evaporación y transpiración, entra en función cada 15 días. Cabe destacar que la programación del tiempo de repetición del proceso es variable dependiendo de las condiciones reales. Por ejemplo, el tinaco de reposición está programado para que entre en función cada 15 días, pero en el verano que hay una mayor temperatura puede entrar en función en un tiempo menor a 15 días, lo contrario sería para el invierno. El diagrama está elaborado en Automation Studio 5.0.

CAPITULO 8

RESULTADOS, PLANOS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

8.1 Descripción del sistema

Hardware

Bueno este sistema consiste en doce sistemas acuapónicos con un PLC que hace posible el funcionamiento automático de todo el conjunto. Para esto se necesitan en total:

- 24 electroválvulas (VZWF-B-L-M22C-G2-500-V-3A-P4-6).
- 12 bombas eléctricas de ½ hp con una eficiencia de 62% o mayor (1 bomba por cada sistema).
- 1 bomba eléctrica de 3 hp con una eficiencia de 72% o mayor.
- Un PLC.
- 36 sensores de nivel de agua (cada sistema lleva 3).
- 1 flotador de agua comercial.

Para apreciar un sistema acuapónico vea la FIG. 12 y para apreciar todo el sistema completo ver ANEXO D.

Nota: Las eficiencias de las bombas se tomaron de la marca SIEMENS, las cuales son comerciales en el estado.

Software

Funcionamiento del sistema

El diagrama que se mostrará a continuación (ver FIG. 14) está diseñado para que trabajen dos sistemas acuapónicos simultáneamente pero independiente uno de otro (sus propias electroválvulas y bomba), pero solo hasta que se completen los procesos de los dos sistemas, se pasa a la siguiente pareja de sistemas acuapónicos; por lo tanto el sistema funciona de la siguiente manera (ver también FIG 15):

1.- Al momento de oprimir el botón “inicio” ocurren dos cosas simultáneamente: se inicia el funcionamiento de dos temporizadores, uno programado a 24 horas y el otro a 15 días

(360 horas); y abre las dos primeras electroválvula de desagüe del tanque hidropónico (sistema 1 y 2) hasta un la altura de un sensor de nivel de agua colocado a la mitad (lo que equivale a conservar un volumen de 12000 litros de agua).

2.- Se cierra la electroválvula y se activa una bomba de desagüe del acuario que transporta el agua al cultivo hidropónico hasta que se llega a un sensor de nivel de agua colocado a una altura tal que equivale a una capacidad de 24,000 litros, en ese momento se desactiva la bomba.

3.- Al momento que los procesos para la pareja de sistemas acuapónicos se hayan completados y sólo hasta entonces se pasa al siguiente sistema de manera análoga hasta llegar a la sexta pareja de sistemas. Al terminar esto, sólo cada 15 días se realizará el paso 4:

4.- Hasta aquí se ha completado parcialmente este proceso, ya que ahora (después de 15 días) se inicia la reposición del nivel de agua que se ha perdido por evaporación y transpiración de los sistemas, debido a un sensor de nivel de agua colocado en cada acuario, al censar que no hay agua al nivel requerido abrirá las electroválvulas una por una (del sistema 1 al sistema 12) que están conectadas del tinaco al acuario.

5.- Pasado 24 horas de haber iniciado el paso 1, se volverá a iniciar el paso 1 hasta el paso 5 (sólo con la misma condición para el paso 4) y de esta manera queda automatizado el sistema.

A continuación se muestra el diagrama escalera que se elaboró para resolver el problema:

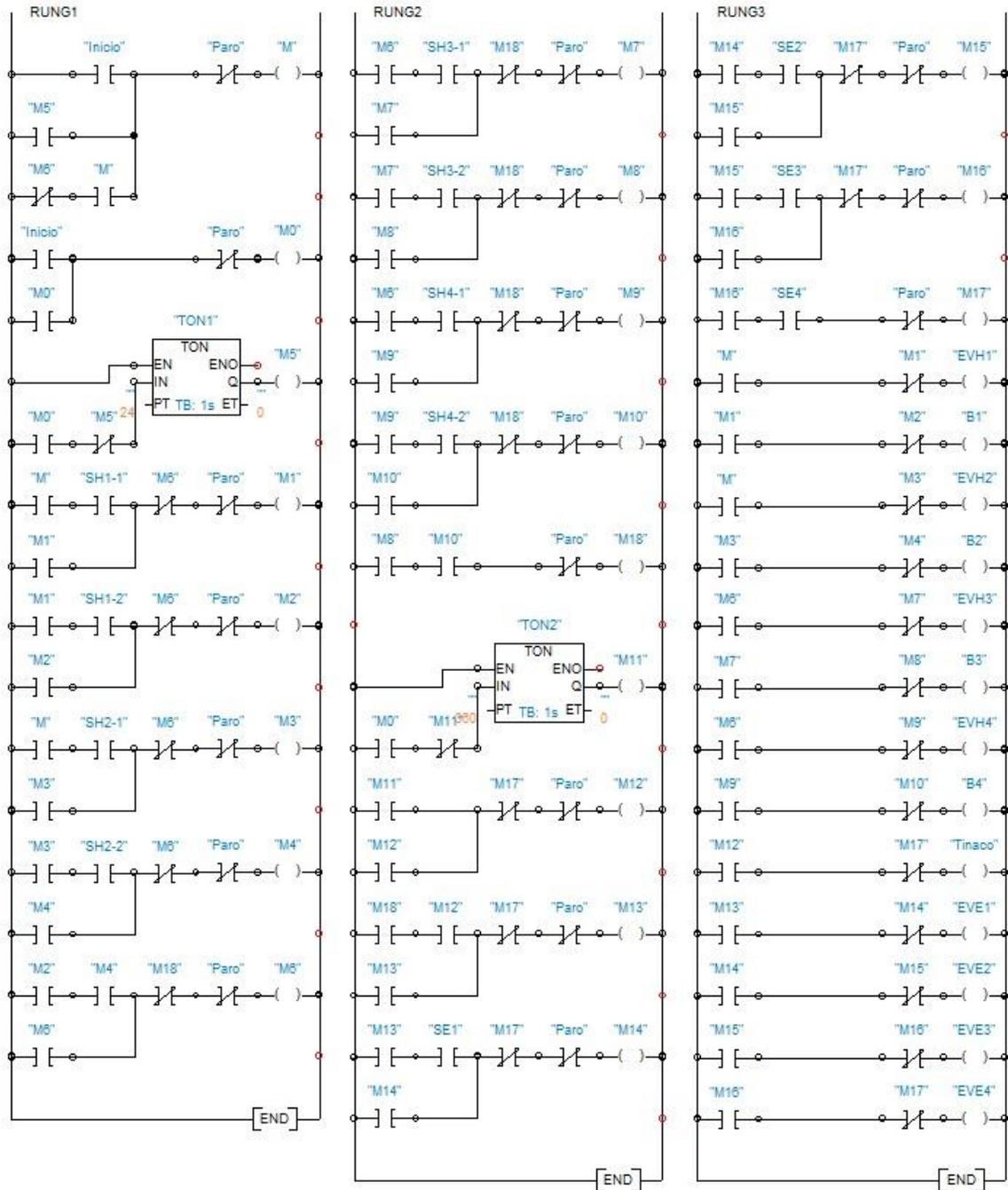


FIG. 14. Diagrama escalera al que se llegó para resolver el problema.

La FIG. 15 muestra una representación de las dos parejas de sistemas acuapónicos, la cual muestra lo siguiente:

- 1.- Los sensores de nivel de agua se representan con switch que al momento de pulsarse simulará un sensor y según el switch representaría un sensado cerrando o abriendo el switch.
- 2.- Las activaciones de las bombas y las electroválvulas se representan con configuraciones de encendido de lámparas.
- 3.- El tinaco que serviría para reponer el nivel de agua que se pierde del sistema se representa con una configuración de lámparas en paralelo, lo cual muestra que al momento que entra en función el tinaco esto se representa con el paso de la corriente (esto nos ayudaría a visualizar el instante en el que se completan los 15 días de haber oprimido el botón "inicio") que está de la fuente a las cuatro lámparas las electroválvulas y por consiguiente cada vez que se active alguna electroválvula se mostrará con el encendido de su lámpara correspondiente.

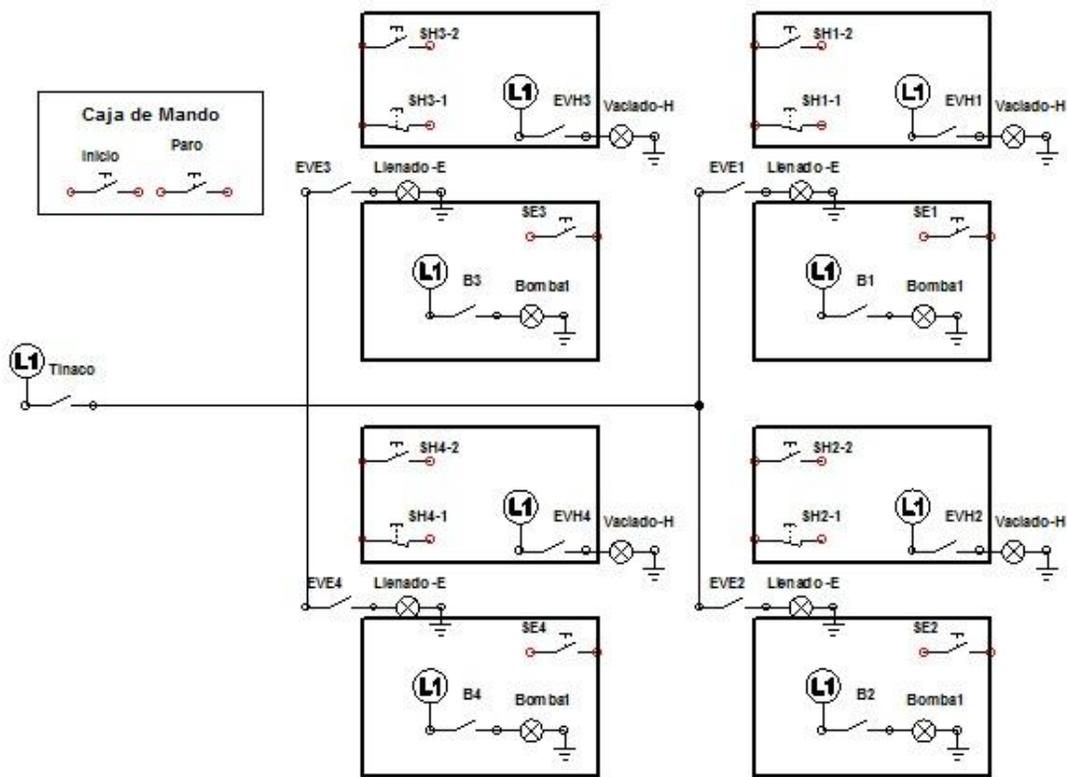


FIG. 15. Representación de las dos parejas de sistemas acuapónicos automatizados.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones iniciales para el funcionamiento de estos sistemas son las siguientes:

1. Para cada acuario el volumen de agua a contener son de 108000 litros (90% de la capacidad máxima de 120000 litros).
2. Para cada cultivo hidropónico el volumen a contener es de 24000 litros (20% de la capacidad máxima de los acuarios).

Se recomienda empezar la enumeración de los estanques de la manera que se ha propuesto, debido a que al ir reponiendo el nivel de agua a los estanques de tilapia con el agua del depósito de reposición se va perdiendo altura lo cual disminuye la velocidad de salida (ecuación de Torricelli EC. 6.2) y que a su vez disminuya la presión (debido a la altura de la columna de agua).

Se recomienda dejar el tinaco (depósito utilizado para reponer el nivel del agua del estanque de tilapia) tal como se ha diseñado ya que es mejor manejar su llenado con un flotador comercial que no tenga relación con el sistema automático, ya que, la manera de relacionar las variables que intervienen aquí lleva a muchos parámetros a considerar (por el fenómeno de la evapotranspiración), ya que además dicho flotador comercial satisface por completo a este proyecto y para fines prácticos hace funcional el presente trabajo.

La automatización hace posible que este sistema sea autómatas y solo requiera intervención humana para actividades menos ya sea de mantenimiento u otras actividades que tiene que ver con la cosecha (alimentación, fertilizantes, pesca, cosechas, etc.).

CAPITULO 10

INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN

La Asociación Civil “El Faro de Esperanza” se constituyó legalmente en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, del estado de Chiapas, República Mexicana, con fecha dieciocho de febrero del Año Dos Mil Dos. Fundada por el señor WILLIAM ALLEN WOODS, quien ahora funge como director de dicha asociación. La Asociación está ubicada en la siguiente dirección: Central poniente número 116, de la ciudad de Arriaga, del estado de Chiapas. Teniendo diversos objetivos, entre ellos cito el presente por ser el más general de todos: Llevar a cabo una labor asistencial entre las personas y grupos más necesitados, cuyas carencias en las áreas materiales, culturales, intelectuales y espirituales son indiscutibles. Dicha Asociación tiene un proyecto de hacer una villa con 20 familias y que sea autosustentable.



FIG. 16. Logotipo de la institución.

ANEXOS

ANEXO A. PLANOS MAESTROS DEL RANCHO DEL ALFARERO

FIG. A1 (PLAN MAESTRO DEL RANCHO DEL ALFARERO).....	56
FIG. A2 (PLAN MAESTRO-ESTE DEL RANCHO DEL ALFARERO).....	57

ANEXO B. ELECTROVÁLVULA VZWF, ACCIONAMIENTO FORZADO

FIG. B1 (CARACTERÍSTICAS Y CUADRO GENERAL DE PRODUCTOS).....	58
FIG. B2 (CÓDIGO DEL PRODUCTO).....	59
FIG. B3 (DATOS TÉCNICOS GENERALES Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y DEL ENTORNO).....	60
FIG. B4 (TABLA DE MATERIALES Y TABLAS DE DATOS ELÉCTRICOS).....	61
FIG B5 (DIMENSIONES DE LA ELECTROVÁLVULA).....	62

ANEXO C. DATOS PARA CÁLCULOS EN HIDRÁULICA

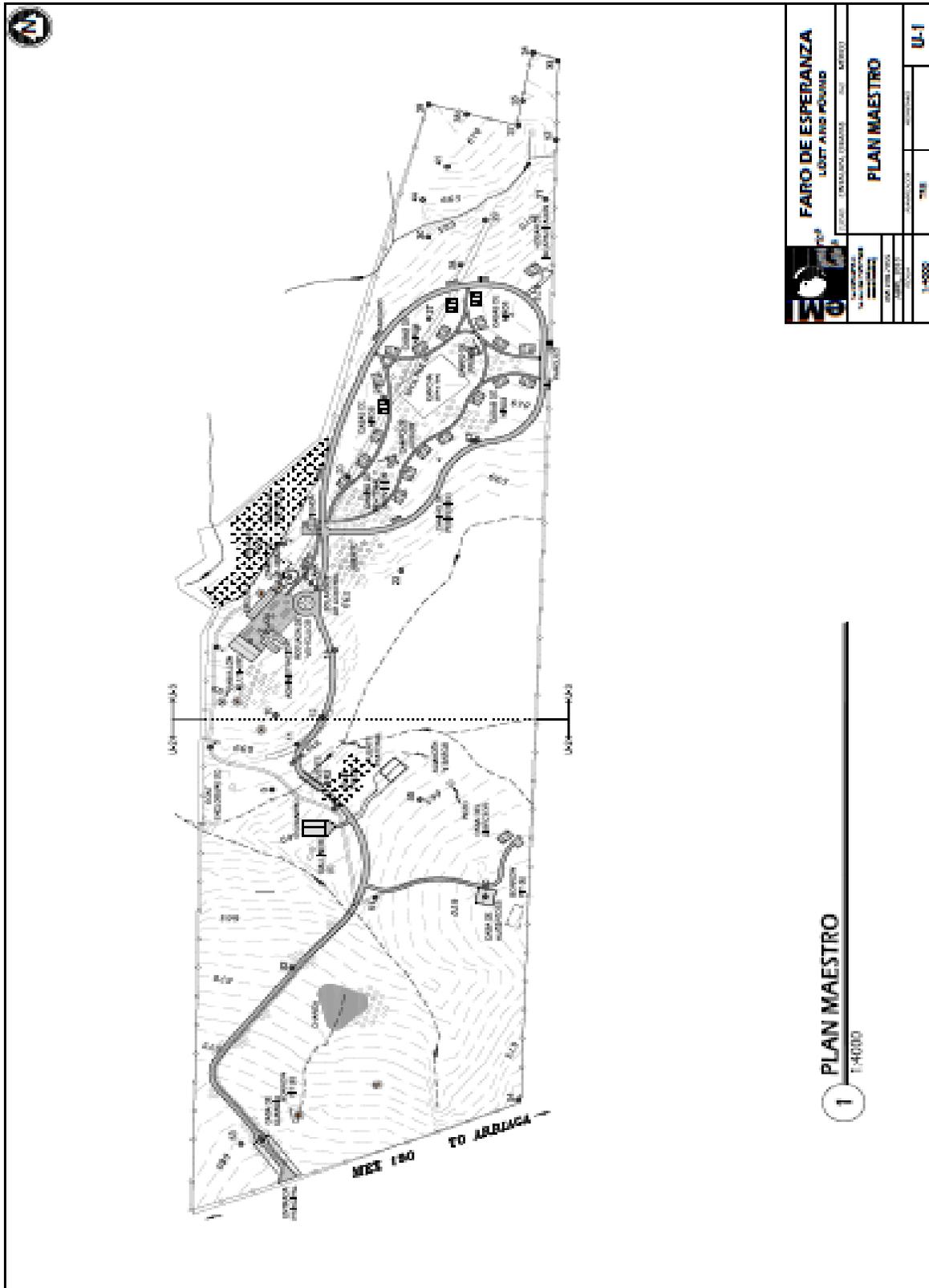
TAB. C1 (PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA PARA UNA PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR AL NIVEL DE MAR).....	63
TAB. C2 (PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS).....	64
TAB. C3 (VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES DE RUGOSIDAD).....	65

ANEXO D. CROQUIS DE LA INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS ACUAPÓNICOS

FIG. D (CROQUIS QUE MUESTRA LA VISTA LATERAL Y SUPERIOR DE LA INSTALACIÓN).....	66
---	----

ANEXO A. Planos maestros del Rancho del Alfarero

FIG. A1 (Plan maestro del Rancho del Alfarero)



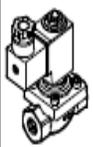
ANEXO B. Electroválvula VZWF, accionamiento forzado

FIG. B1 (Características y cuadro general de productos)

FESTO

Función	
Electroválvula con membrana, elevación forzada, normalmente cerrada. Aplicando corriente en el electroimán se produce una diferencia de presión en el lado secundario de la membrana a través del taladro de servopilotaje.	La membrana se separa del asiento de la válvula debido a la diferencia de presión. Sin diferencia de presión, la membrana se eleva por efecto del electroimán, con lo que la válvula abre y cierra el paso entre la entrada y la salida.

Datos generales	Aplicaciones	Construcción	Ventajas
<ul style="list-style-type: none">  Rosca de conexión G$\frac{1}{4}$... G2  Caudal Kv 1,8 ... 28 m³/h 	<ul style="list-style-type: none"> Apropiada para aplicaciones con circuitos cerrados como, por ejemplo, sistemas de refrigeración o de llenado Vacío Gas líquido Llenadoras 	<ul style="list-style-type: none"> Válvulas de membrana Elevación forzada de la membrana de la válvula Válvula de 2/2 vías, normalmente cerrada 	<ul style="list-style-type: none"> Juntas de diversos materiales, a elegir según aplicación Presión del fluido a partir de 0 bar

Ejecución	Tipo	Conexión de la válvula	Diámetro nominal DN	Presión nominal PN en la válvula	→ Página/Internet
	VZWF-...	G $\frac{1}{4}$	13,5	40	4
		G $\frac{3}{8}$	13,5		
		G $\frac{1}{2}$	13,5		
		G $\frac{3}{4}$	27,5		
		G1	27,5		
	VZWF-...	G114	40	40	8
		G112	40		
		G2	50		

ANEXO B. Electroválvula VZWF, accionamiento forzado



FIG. B2 (Código del producto)

		VZWF	-	B	-	L	-	M22C	-	G14	-	135	-	V	-	2AP4	-	10	-	R1
Tipo		VZWF	Electroválvula de accionamiento forzado																	
Ejecución del producto		B	Funciones optimizadas																	
Tipo de válvula de vías		L	Válvula con conexiones roscadas																	
Función de válvula		M22C	Válvula de 2/2 vías, normalmente cerrada																	
Conexión de la válvula		G14	Rosca G 1/4																	
		G38	Rosca G 3/8																	
		G12	Rosca G 1/2																	
		G34	Rosca G 3/4																	
		G1	Rosca G1																	
		G114	Rosca G 1 1/4																	
		G112	Rosca G 1 1/2																	
		G2	Rosca G2																	
Diámetro nominal DN		135	13,5 mm																	
		275	27,5 mm																	
		400	40 mm																	
		500	50 mm																	
Juntas		V	FPM																	
		E	EPDM																	
			Estándar (NBR)																	
Tensión nominal de funcionamiento		1	24 V DC																	
		2A	110 V AC/50-60Hz																	
		3A	230 V AC/50-60Hz																	
Conexión eléctrica		P4	Conector tipo zócalo de 3 contactos																	
Presión de funcionamiento		10	Máx. 10 bar																	
		6	Máx. 6 bar																	
Protección contra corrosión		R1	Acero inoxidable																	
			Estándar (latón)																	

ANEXO B. Electroválvula VZWF, accionamiento forzado

FESTO

FIG. B3 (Datos técnicos generales y condiciones de funcionamiento y del entorno)

Función



- - Caudal Kv
20 ... 28 m³/h



- - Rosca de conexión
G1¼ ... G2

Datos técnicos generales			
Conexión de la válvula	G114	G112	G2
Diámetro nominal DN	40	40	50
Función de válvula	2/2 monoestable normalmente cerrada		
Construcción	Electroválvula de membrana de accionamiento forzado		
Tipo de fijación	Montaje en línea		
Tipo de accionamiento	Eléctrico		
Accionamiento manual auxiliar	No		
Posición de montaje	Electroimán, posición vertical		
Tipo de junta	Por junta de material sintético		
Sentido del flujo	Irreversible		
Viscosidad máxima [mm ² /s]	22		
Grado de protección	IP 65		
Peso del producto [g]	4 500		6 500

Condiciones de funcionamiento y del entorno			
Conexión de la válvula	G114	G112	G2
Tiempo de respuesta para la conexión [ms]	620		1 220
Tiempo de respuesta para la desconexión [ms]	1 140		2 140
Caudal nominal [l/min]	21 370	23 500	29 900
Caudal [m ³ /h]	20	22,5	28
Presión de funcionamiento [bar]	0 ... 10		0 ... 6
Presión nominal PN en la válvula	40		
Diferencia de presión [bar]	0		
Fluido con junta NBR (estándar)	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4] Gases inertes, Agua fría, Otros medios bajo consulta		
Fluido con junta EPDM	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Gases inertes, Agua, Otros medios bajo consulta		
Fluido con junta FPM	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Gases inertes, Líquidos neutrales, Agua, aceite mineral, Otros medios bajo consulta		
Temperatura ambiente [°C]	-10 ... +35 °C		
Temperatura del fluido [°C]	-10 ... +80 °C		
Coefficiente de fuga según EN 12266-1	A		
Resistencia a la corrosión			
KBK ¹⁾ latón	1		
KBK ²⁾ acero inoxidable	3		

ANEXO B. Electroválvula VZWF, accionamiento forzado



FIG. B4 (Tabla de materiales y tablas de datos eléctricos)

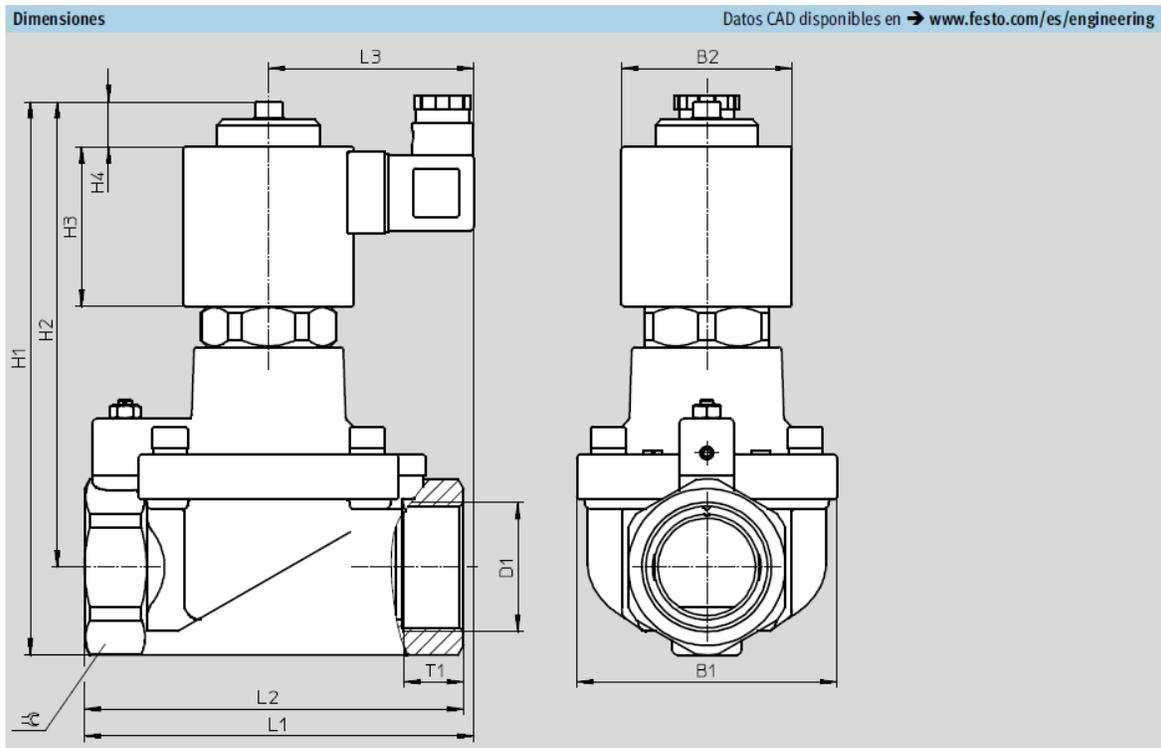
Materiales		
Electroválvulas		Código del material
1 Cuerpo	Fundición de latón	CW617N
	Fundición de acero inoxidable	1.4581
2 Tornillos	Acero de aleación fina, inoxidable	1.4301
3 Juntas	NBR, FPM, EPDM	–
– Características del material	Contiene sustancias agresivas para la laca; cumple con la normativa RoHS	

Datos eléctricos				
		VZWF- ... 1	VZWF- ... 2A	VZWF- ... 3A
Conexión eléctrica		Conector cuadrado tipo clavija, según EN 175301-803, forma A		
Símbolo CE según directiva UE de aparatos de presión		–	Sí	Sí
Valores de identificación de la bobina	Tensión continua DC [V]	24	–	–
	Tensión alterna AC [V]	–	110	230
	[W]	11	–	–
	Potencia de arranque [VA]	–	19	18
	Potencia de retención [VA]	–	16	15
	[Hz]	–	50, 60	50, 60
Valores de identificación de la bobina	Tensión continua DC [V]	24	–	–
	Tensión alterna AC [V]	–	110	230
	[W]	30	–	–
	Potencia de arranque [VA]	–	30	30
	Potencia de retención [VA]	–	30	30
	[Hz]	–	50, 60	50, 60
Oscilaciones admisibles de la tensión	[%]	±10		

ANEXO B. Electroválvula VZWF, accionamiento forzado



FIG B5 (Dimensiones de la electroválvula)



	B1	B2	D1	H1	H2	H3	H4	L1	L2	L3	T1	☞
VZWF-L-M22C-G114-400-...	96	63	G1¼	205	172,2	59	17	148	140	76	22	58
VZWF-L-M22C-G112-400-...	96	63	G1½	205	172,2	59	17	148	140	76	22	58
VZWF-L-M22C-G2-500-...	112	63	G2	218	178,6	59	17	159	168	76	25	70

ANEXO C. Datos para cálculos en Hidráulica

TAB. C1 (Propiedades físicas del agua para una presión atmosférica estándar al nivel de mar).

Temp. °C	Peso Espec., γ (kN/m ³)	Densidad, ρ (kg/m ³)	Visc.Abs., μ (10 ⁻³ N-s/m ²)	Visc. Cin., ν (10 ⁻⁶ m ² /s)	Pre. Vap., p_v (kN/m ²)*
0	9.805	999.8	1.781	1.785	0.611
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.872
10	9.804	999.7	1.307	1.306	1.230
15	9.798	999.1	1.139	1.139	1.710
20	9.789	998.2	1.002	1.003	2.34
25	9.777	997.0	0.890	0.893	3.17
30	9.765	995.7	0.798	0.800	4.24
40	9.731	992.2	0.653	0.658	7.38
50	9.690	988.0	0.547	0.553	12.33

*Presión absoluta

(Fuente: Fluid Mechanics with Engineering Applications, Tenth Edition, McGraw-Hill)

ANEXO C. Datos para cálculos en Hidráulica

TAB. C2 (Pérdidas de carga en accesorios)

(Subíndice 1 = aguas arriba y subíndice 2 = aguas abajo)

Accesorios	Pérdida de carga media
1. De depósito a tubería (pérdida a la entrada)	
- conexión a ras de la pared	$0.50 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$
- tubería entrante	$1.00 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$
- conexión abocinada	$0.05 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$
2. De tubería a depósito (pérdida a la salida)	$1.00 \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$
3. Ensanchamiento brusco	$K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
4. Codos, accesorios, válvulas* Algunos valores corrientes de K son:	$K \frac{V^2}{2g}$
- 45°, codo..... 0.35 a 4.5	
- 90°, codo..... 0.50 a 0.75	
- Tes 1.50 a 2.00	
- Válvula de compuerta (abierta) aprox. 0.25	
- Válvula de control (abierta) aprox. 3.0	
- Válvula de globo abierta 10	
- Válvula de ángulo abierta 5	
- Válvula cheque abierta 2.5	
- Codo en U 2.2	

* Véanse manuales de hidráulica para más detalles

ANEXO C. Datos para cálculos en Hidráulica

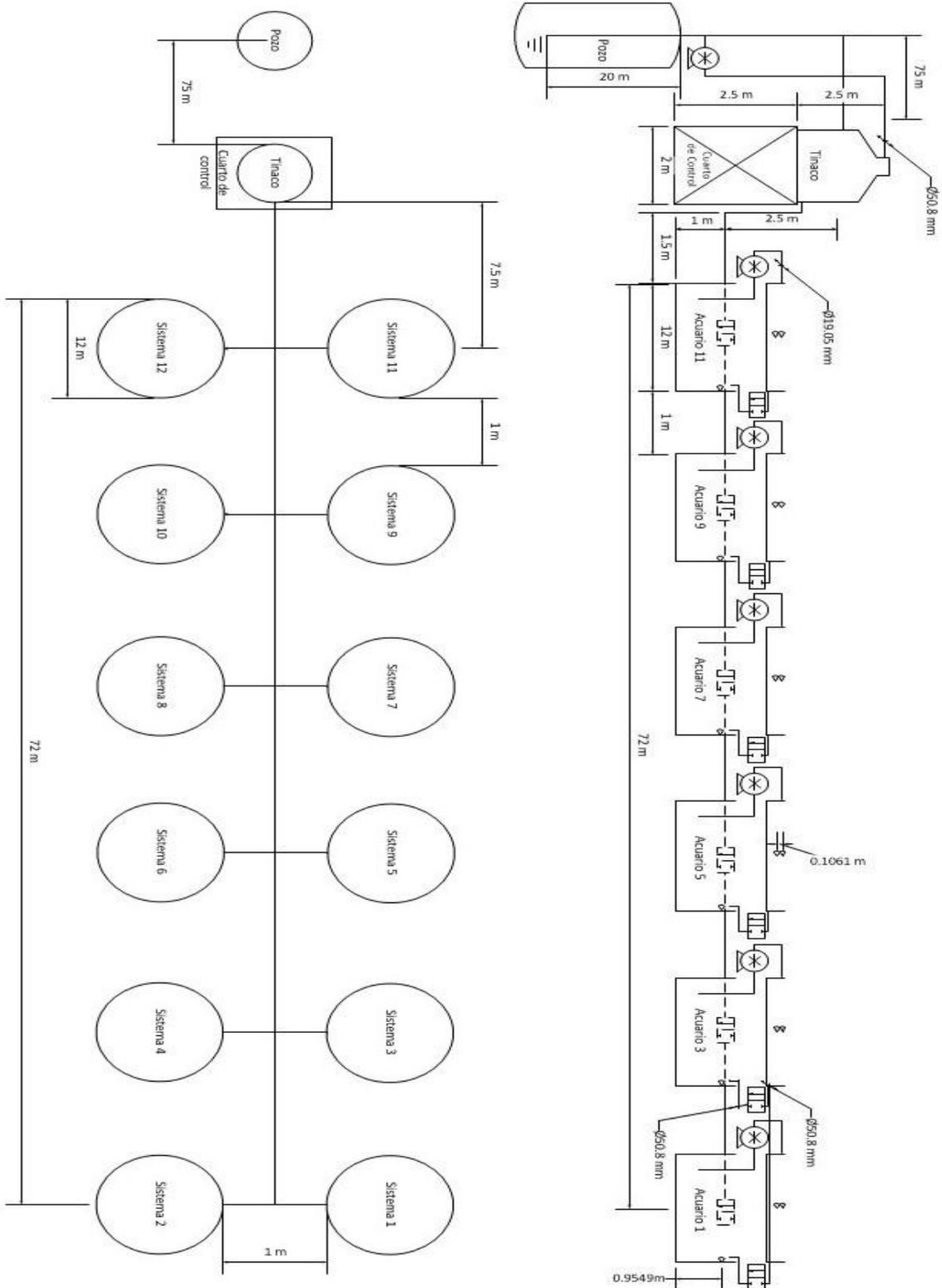
TAB. C3 (Valores típicos de coeficientes de rugosidad)

Material	Coefficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C_H	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmalado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

(Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods)

ANEXO D. Croquis de la instalación de los sistemas acuapónicos

FIG. D (Croquis que muestra la vista lateral y superior de la instalación). Elaborado en Microsoft Visio 2010



FUENTES DE INFORMACIÓN

- Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad:
<http://www.funprover.org/formatos/cursos/Manual%20Buenas%20Practicas%20Acuicolas.pdf>
- http://acuaponia-argentina.blogspot.mx/2012_01_01_archive.html
- <http://es.scribd.com/doc/51061825/Policultivos-acuiponicos>
- Mecánica de los fluidos e hidráulica, Giles Ranald, tercera edición. Editorial McGraw-Hill
- <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH04.pdf>
- Fluid Mechanics with Engineering Applications, Tenth Edition, McGraw-Hill
- Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods
- Controles lógicos programables – Nivel básico TP 301 (manual de estudio) por FESTO DIDACTIC.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial