	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Dependencia	Aprobado	Pág.	
	SUBDIRECTOR ACADEMICO	1(1)		

i

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	MAYERLY DURAN PINZÓN		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA MECNICA		
DIRECTOR	PEDRO JULIAN GARCIA GUARÍN		
TÍTULO DE LA TESIS	SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCION TECNIFICADA DE PECES Y HORTALIZAS EN HUERTAS URBANAS.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>LAS HUERTAS URBANAS SON UNA SOLUCIÓN QUE PERMITE EL CONSUMO DE ALIMENTOS FRESCOS EN EL HOGAR. SIN EMBARGO, LA EXPANSIÓN DE CENTROS URBANOS, LE ESTÁ QUITANDO ZONAS VERDES A OCAÑA, Y EN EL MUNDO. POR LO TANTO, SE DISEÑÓ Y SE CONSTRUYÓ UNA HUERTA URBANA AUTO-SOSTENIBLE ACUAPÓNICA AUTOMATIZADA, EN EL CUAL CON HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES SE MONITOREA LAS PRINCIPALES VARIABLES QUE INTERVIENEN Y CONTROLAR UN NIVEL DE AGUA NECESARIO PARA QUE LAS PLANTAS RECIBAN TODOS LOS NUTRIENTES.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 128	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:1



**SISTEMA ACUAPÓNICO PARA LA PRODUCCION TECNIFICADA PECES Y
HORTALIZAS EN HUERTAS URBANAS**

**Autor:
MAYERLY DURAN PINZON**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

**Director:
PEDRO JULIAN GARCIA GUARIN
MAGISTER EN INGENIERIA MECANICA**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA**

Ocaña, Colombia

Enero de 2019

DEDICATORIA.

A mis padres, Samuel Duran Herrera y María Yamile Pinzón, por todo su apoyo y amor, por creer en mí, por su esfuerzo, por estar siempre conmigo en los momentos de angustia, de tristeza y darme una mano para levantarme, por sus consejos y motivación, porque sin ellos no hubiera sido posible alcanzar esta meta tan anhelada.

A mis hermanos Jesús Antonio Duran y Juan Daniel Duran, por acompañarme en cada paso de mi vida, por brindarme su apoyo y consejos.

A Johan Blanco Manosalva, por estar a mi lado, por darme motivación, por brindarme su apoyo, y por qué desde el principio de mi carrera siempre me dio una motivación más para salir adelante.

También a Nahun Duran Herrera por acompañarme en cada momento, por cuidarme y guiarme siempre por el buen camino.

AGRADECIMIENTOS.

Darle gracias a Dios, por todas las bendiciones recibidas, por darme fortaleza y sabiduría para llevar a cabo este proyecto hasta el final.

A mi director de tesis al MSc. Pedro Julián García Guarín, por ser una excelente persona, por su ayuda incondicional, por dedicar su tiempo en la realización del proyecto, por sus consejos y su apoyo para poder cumplir una meta más. Muchas gracias.

Al ingeniero Mecatrónico Francisco Eliecer Pérez Monsalve, por sus asesorías y su ayuda incondicional.

Agradecerle a mi amigo y colega Jorge Eliecer Páez Arango, por el apoyo incondicional, por brindarme una verdadera amistad y ayudarme en cada momento.

ÍNDICE

Pág.

Introducción	xii
Capítulo 1. Sistema Acuopónico Para La Produccion De Peces Y Hortalizas En Huertas Urbanas.....	1
1.1 Planteamiento Del Problema	1
1.2 Formulación Del Problema.....	2
1.3 Descripción Del Problema.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 General.....	2
1.4.2 Específicos.....	2
1.5 Justificación.....	3
1.6 Alcances.....	4
1.7 Delimitaciones.....	4
1.7.1 Geográfica.....	4
1.7.2 Conceptual.....	4
1.7.3 Operativa.....	4
Capítulo 2. Marco Referencial.....	5
2.1 Marco Histórico.....	5
2.2 Marco Conceptual.....	8
2.2.1 Piscicultura.....	8
2.2.2 Hidroponía.....	8
2.2.3 Reciclable.....	9
2.2.4 Horticultura.....	9
2.2.5 Automatización.....	10
2.3 Marco Teórico.....	10
2.3.1 Sistema acuapónico.....	10
2.3.2 Ventajas.....	11
2.3.3 Desventajas.....	11
2.3.4 Automatización de sistemas acuapónicos.....	12
2.3.5 Modelo matemático de la planta.....	12
2.3.6 Controles PID.....	16
2.3.7 Modelos de sistemas de filtración.....	17
2.4 Marco Legal.....	18
2.4.1 Fundamentos conceptuales de Ciencias naturales 2007.....	18
2.4.2 Artículo 65 constitución política de Colombia.....	19
2.4.3 Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.....	19
Capítulo 3. Metodología	21
3.1 Tipo De Investigación.....	21
3.1.1 Etapas del proyecto.....	21
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto por medio de las actividades propuestas.....	23
4.1. FASE I: Identificación de las variables fundamentales que intervienen en el cultivo acuapónico.....	23
4.2. FASE II: Diseño de un prototipo a escala en el software Soliworks de la huerta a construir.....	26
4.2.1. Desarrollo de la huerta en el software Soliworks.....	26
4.3. FASE III: Desarrollar un sistema electrónico de monitoreo y control de nivel....	34
4.4. FASE IV: Construcción de filtros para la huerta.....	69
Conclusiones	85
Referencias Bibliográficas.....	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Hidroponía.....	9
Figura 2 Sistema tradicional acuapónico.	10
Figura 3 Sistema de control en lazo cerrado.....	12
Figura 4 Sistema del nivel de líquido	14
Figura 5 Control PID de una planta.	17
Figura 6 Ley de Darcy.	18
Figura 7 Capsicum annum.	24
Figura 8 Plántula de ají topito.....	24
Figura 9 Tilapia roja.	25
Figura 10 Mojarra roja en pecera.....	25
Figura 11 Botellas reutilizables para las plántulas.....	26
Figura 12 Vista posterior de la huerta.....	27
Figura 13 Vista superior de la huerta.	27
Figura 14 Diseño de la huerta con sistema acuapónico.	28
Figura 15 Vista de la estructura en Soliworks.	28
Figura 16 Huerta urbana automatizada con sistema acuapónico.	34
Figura 17 Conexiones con el arduino del sensor de caudal.	35
Figura 18 Conexiones con el arduino del sensor de PH.	35
Figura 19 Conexiones con el arduino sensor de ultrasonido.	36
Figura 20 Conexiones con el arduino sensor de humedad relativa.	36
Figura 21 Panel frontal de labVIEW del sistema de monitoreo.....	37
Figura 22 Diagrama de bloques de labVIEW.	37
Figura 23 Diagrama de bloques de LabVIEW.....	38
Figura 24 Diagrama de bloques de LabVIEW.....	38
Figura 25 Adquisición de datos de entrada y salida.....	40
Figura 26 Carga de datos adquiridos en las diferentes pruebas.	40
Figura 27 Extracción del vector posición y vector caudal de la adquisición de datos.	41
Figura 28 Extracción de cada una de las pruebas de adquisición de datos.	41
Figura 29 Llenado de parámetros a controlar.	42
Figura 30 Llenado de parámetros a controlar.	42
Figura 31 Entradas y salidas para diferentes tomas de datos.	43
Figura 32 Modelo 2 de la adquisición de datos.	44
Figura 33 Grafica de respuesta para un step.	45
Figura 34 Respuesta en dominio de frecuencia.	46
Figura 35 Diagrama de bloques para control PID.	47
Figura 36 Grafica generada por el código en Matlab.....	48
Figura 37 Grafica del código del PI.....	49
Figura 38 Grafica de sintonización de ganancias.....	49
Figura 39 Amplitud vs tiempo.	50
Figura 40 Diseño paralelo de controlado PID.....	52
Figura 41 Algoritmo de programación de PID.	52
Figura 42 Tarjeta de control a la base de 18f2550.....	56
Figura 43 Grafica de cruce por cero.	57
Figura 44 Etapa de control de potencia.	57
Figura 45 Etapa de potencia de cargas AC.	58
Figura 46 Diagrama de flujo del control con salida a relé.	60
Figura 47 Etapa de potencia del control.	61
Figura 48 Arduino y sensor de ultrasonido.....	62
Figura 49 Plataforma Android Bluetooth Terminal HC-05.....	62
Figura 50 Niveles del sistema de huerta.	65
Figura 51 Función de optimización.	67
Figura 52 Código VNS	68

Figura 53 Código de tolerancia para los falsos positivos.....	68
Figura 54 Código de la memoria EEPROM.....	69
Figura 55 Diseño de la tapa de entrada y salida del filtro con medio poroso.	70
Figura 56 Diseño en Soliworks del filtro con medio poroso.	70
Figura 57 Filtro con medio poroso.	71
Figura 58 Diseño en Soliworks del filtro por gravedad.	71
Figura 59 Filtro por gravedad.	72
Figura 60 Dibujo libre de fuerzas para el filtro de gravedad.	72
Figura 61 Materiales para el filtro con medio poroso.	74
Figura 62 Medio poroso utilizado.....	75
Figura 63 Malla del filtro del medio poroso.	75
Figura 64 Construcción del filtro con medio poroso.	76
Figura 65 Esquema de la tubería del filtro.....	80
Figura 66 Vista del medio poroso en el filtro.	83
Figura 67. Comparación de cambios de presión.	83
Figura 68 Botella plástica para la ubicación del biofiltro.	84
Figura 69 Cascarilla de arroz, como biofiltro.	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Estructura mecánica y fluidos.....	29
Tabla 2 Sistema electrónico y control.....	30
Tabla 3 Agropecuario.	33
Tabla 4. Tabla de modelos.....	44
Tabla 5 Elementos de la etapa de fuerza.....	61
Tabla 6 Comparación de los tres algoritmos de la competencia.	63

LISTA DE APENDICES

APENDICE A. Imágenes de la construcción de la huerta	88
APENDICE B Código arduino del sistema de monitoreo.	91
APENDICE C: Prueba 1. Adquisición de datos	94
APENDICE D. Prueba 2. Adquisición de datos	97
APENDICE E. Prueba 3. Adquisición de datos.....	100
APENDICE F.Código del arduino para el control con salida a relé	103
APENDICE G. Código del algoritmo de inteligencia artificial.....	121

Pág.

Introducción

Los sistemas acuapónicos han ganado popularidad en todo el mundo y se utilizan cada vez más para diversos propósitos. El objetivo de la acuaponía es crear un ciclo en el que se aprovechan entre sí los diferentes elementos del cultivo y, por ello, resulta más ecológico, ya que es una mezcla entre piscicultura e hidroponía, un método en el que las plantas crecen en una solución acuosa con nutrientes, en vez de hacerlo en tierra. Los peces generan unos residuos en el agua que se aprovechan como nutrientes para los vegetales. Al utilizar los desechos como fertilizante natural, las plantas hacen de depurador del agua para que sea óptima para los peces, también las construcciones de filtros ayudan a la limpieza del sistema, y la utilización de filtros biológicos se implementan para que las plántulas reciban todos los nutrientes necesarios en su desarrollo.

El consumo de alimentos sanos es un ideal para preservar la salud humana. Las huertas urbanas son una solución al problema que permite el consumo de alimentos frescos en el hogar. Sin embargo, la expansión de centros urbanos, le está quitando zonas verdes a Ocaña, y en el mundo. Por lo tanto, se diseñó y se construyó una huerta urbana auto-sostenible automatizada en el cual se monitorea las principales variables que intervienen en este. Con la ayuda de herramientas computacionales se puede monitorear la huerta y controlar un nivel de agua necesario para que las plantas reciban todos los nutrientes. Las huertas urbanas tienen múltiples beneficios para las familias tales como, sirven para adornar los espacios internos, con diferentes plantas que le dan vida y armonía en el hogar. Por otro lado, el consumo de alimentos frescos tiene efectos benéficos en la salud, además las huertas urbanas disminuyen la cantidad de CO₂ y aumentan el oxígeno en los hogares.

En el siguiente documento se tienen en cuenta las siguientes fases:

Fase 1: Agropecuaria.

En esta fase se denotan las variables principales del sistema, el tipo de plántulas al utilizar, la especie de peces al producir, para encontrar un equilibrio ecológico estable.

Fase 2: Estructura mecánica y fluidos.

En esta fase se mostrará el diseño de la huerta en el software Solidworks, la construcción de la misma y la implementación de filtros ecológicos en el sistema.

Fase 3: Sistema electrónico de monitoreo y control.

En esta fase se encontrará el sistema electrónico para el monitoreo de las principales variables que intervienen en la huerta, y se desarrollaron dos tipos de controladores para el nivel de agua sea el apropiado para las plántulas.

Congresos y publicaciones:

- El trabajo titulado “Modelado Numérico para Flujos en un Medio Poroso Homogéneo” fue presentado en el XI CONGRESO COLOMBIANO DE METODOS NUMERICOS, en la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia), el 16 de agosto del 2017, en modalidad PONENCIA.

- El trabajo titulado “FLOW THROUGH SOILS IN A HOMOGENEOUS POROUS MEDIA” fue presentado en el 3rd International Congress of Mechanical Engineering and Agricultural Science (CIIMCA 2017), en la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga (Colombia), octubre 2 al 6, 2017, en modalidad PONENCIA.

- Publicación del artículo “Modelado numérico y análisis experimental para flujos en un medio poroso homogéneo a través de suelos” en la REVISTA ITECKNE, volumen 15, número 1, en junio del 2018.

- El trabajo titulado “Sistema acuapónico para la producción tecnificada de peces y vegetales” se presentó en el II Congreso Internacional Catatumbarí, en el evento de Expoaula, el cual se obtuvo el primer puesto en la categoría Senior (semestres 9°, 10°), Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña- Norte de Santander.

Capítulo 1. Sistema Acuopónico Para La Produccion De Peces Y Hortalizas En Huertas Urbanas.

1.1 Planteamiento Del Problema.

“Debido a la crisis agroalimentaria que existe a nivel mundial, hace que estrategias válidas surjan de la población urbana, que cada vez tiene menos acceso a alimentos sanos y seguros. Es así como la agricultura en la ciudad vuelve a figurar como una forma de producir alimento” (Catalina Elizabet Clavijo Palacios, 2010). El costo y la variedad de químicos utilizados en la horticultura han ido aumentando cada vez más, también ciertos alimentos son importados y traen consigo una gran cantidad de conservantes para soportar el viaje, así mismo la forma como algunas personas cultivan inadecuadamente, son estos los factores para que un gran número de personas estén construyendo su propia huerta. Las personas destinan un espacio de su vivienda para el cultivo de sus alimentos de una manera más económica, libre de químicos y conservantes de una forma más saludable.

El uso de cultivos tradicionales en huertas urbanas es escasamente utilizado, por el poco espacio libre, que se posee dentro de una vivienda, en este caso se ha optado por cultivos hidropónicos, “Mediante esta técnica se producen plantas principalmente de tipo herbáceo, aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva” (Beltrano & Gimenez, n.d.).

Con el uso de un sistema acuapónico se sustituye, las soluciones minerales por los desechos producidos por peces, de esta forma ampliamos los beneficios de un cultivo hidropónico ya que no solo se obtendrán hortalizas o frutas, de igual manera se tendrán peces para el consumo.

En la actualidad no se cuenta con un sistema que lleve un seguimiento de las variables presentes en el cultivo en una huerta, mediante el cual podamos monitorear los factores que ayudan al desarrollo de la planta y también poder controlar un nivel de agua necesario para las plántulas.

1.2 Formulación Del Problema.

¿Por medio de la construcción de una huerta auto-sostenible con un cultivo acuapónico se podrá lograr un equilibrio ecológico que se adapte a un tipo de vivienda urbana?

1.3 Descripción Del Problema.

En el transcurso de los años se han detectado que, por medio de la gran variedad de químicos utilizados en la agricultura, un número considerable de personas sufren de enfermedades transmitidas por los alimentos, por virus y bacterias que son adquiridos a través del agua o los alimentos contaminados. Algunas personas han optado por construir su propia huerta en sus casas con sistemas hidropónicos ya que estos no necesitan suelo. También gran parte de nuestros bosques se han ido acabando y están llenos de plásticos, esto hace que se utilicen materiales reciclables para algunas aplicaciones.

1.4 Objetivos.

1.4.1 General. Diseñar un prototipo acuapónico automatizado para la producción tecnificada de peces y hortalizas en una huerta auto-sostenible para viviendas urbanas.

1.4.2 Específicos.

- Identificar las variables fundamentales que intervienen en el desarrollo de cultivos acuapónicos.

- Desarrollar un sistema electrónico de monitoreo y un control de nivel para la huerta con cultivo acuapónico.
- Construir sistemas de filtración para la limpieza del sistema y la captura de los nutrientes requeridos por la planta.

1.5 Justificación.

Debido a la gran acogida que han tenido los cultivos acuapónicos y la poca oferta de herramientas tecnológicas de bajo costo para el seguimiento del desarrollo de estas, es necesario un diseño que ayude al propietario de la huerta en la producción de las vegetales, y se logre un equilibrio ecológico en la parte agrónoma y agropecuaria, además que sea decorativa y de bajo costo, ya que será diseñado de manera reutilizable y asegura que los alimentos no llevan químicos, por lo que los nutrientes son obtenidos de las heces de los peces y a su vez estos pueden ser consumidos por los propietarios.

En el caso de los vegetales, se tiene un buen rendimiento cualquier tipo común de verdura y fruta, como fresas, pimientos, tomates o guisantes. En cuanto a los peces, casi cualquier especie de agua dulce de tamaño medio puede adaptarse, pero la opción más común son las tilapias, muy resistentes y capaces de vivir en grandes cantidades en un pequeño espacio

El sistema supone un considerable ahorro de agua y fertilizantes. El agua sólo se agrega para reemplazar las pérdidas por la absorción de las plantas, la evaporación o la extracción de la biomasa del sistema. Puede ser dulce o salada en función de los peces y la vegetación utilizada. (Cultivos acuapónicos: un sistema de producción de vegetales y animales acuáticos, ALEX FERNÁNDEZ MUERZA, 2010).

1.6 Alcances.

Se estudiará las variables que intervienen en el sistema acuapónico, para llevar un monitoreo a tiempo real por medio de sensores.

Se construirá un montaje funcional del sistema acuapónico para tener producción de peces y hortalizas, a bajo costo con materiales reutilizables.

Se controlará la recirculación del agua, para tener un nivel estable y adecuado para el cultivo.

Se efectuará medidas de filtración, por medio de filtros construidos y filtros biológicos.

1.7 Delimitaciones.

1.7.1 Geográfica. Este proyecto se materializará en las instalaciones del tecno Parque nodo Ocaña bajo la vigilancia del director del proyecto y en la Universidad Francisco de Paula Santander de la facultad de ingeniería.

1.7.2 Conceptual. La temática de este proyecto se enmarca en los siguientes conceptos: cultivos hidropónicos, sistemas automatizados, sensores, programación, acuapónico, piscicultura, agricultura.

1.7.3 Operativa. El desarrollo de este proyecto contribuirá a la zona agrícola y será en base a este documento contando con la asesoría del director del trabajo y asesorías necesarias para su ejecución.

1.7.4 Temporal. El presente proyecto tendrá una duración de 9 a 10 semanas a partir de la aprobación del anteproyecto.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico.

La producción de peces (piscicultura) y los cultivos hidropónicos han sido realizadas desde la antigüedad, la mezcla de estos es relativamente nuevo (Al-Hafedh et al., 2008; Fox et al., 2010). Los primeros pasos en esta área, inicio en la década de los setenta con investigaciones que buscaban desarrollar sistemas de cultivo de peces a pequeña escala (Rakocy y Hargreaves, 1993). Hasta la década de los ochenta, la mayoría de los intentos para integrar la hidroponía y la acuicultura tuvieron éxitos limitados; sin embargo, en 1986, gracias a las innovaciones en los sistemas de recirculación propuestas por McMurtry et al. (1993, 1997), fue creado el primer sistema acuapónico (llamado sistema acua-vegecultivo) que utilizó los efluentes de tilapia dentro de un cultivo de tomate. Comercialmente, los sistemas acuapónicos están en sus inicios, pero como la tecnología se desarrolla y es redefinida cada día, estos sistemas tienen el gran potencial de ser un método más eficiente y sostenible para el cultivo de peces y vegetales (Adler et al., 1996; McMurtry et al., 1997; Rackoy et al., 1992, 1997; Watten y Busch, 1984; Al-Hafedh et al., 2008; Hollyer et al., 2009; Villarroel et al., 2011). En la acuaponía, los desechos de los peces son ricos en nutrientes y son usados para fertilizar la producción del cultivo hidropónico (Van Gorder, 2003; Martins et al., 2005; Diver, 2006; Kotsen y Appelbaum, 2010).

Otorgar el desarrollo inicial de la acuaponía a alguna de las culturas antiguas es arriesgado por la falta de evidencia contundente. Actualmente no existe acuerdo sobre donde se originó

la acuaponía. De hecho, es posible que esta técnica fuese desarrollada por civilizaciones de América y Asia. Muchos autores atribuyen el origen de este cultivo a los aztecas. Su argumento se basa en el desarrollo de las chinampas. Una chinampa es básicamente una isla agrícola de origen artificial. En la construcción de estas islas los aztecas presentaron gran maestría, al grado de convertir parte del Lago de Texcoco en zona cultivable.

En las chinampas los cultivos se producían sobre las islas, que estaban rodeadas por canales donde se realizaba la cría de peces. De esta manera podemos considerar a las chinampas como un sistema acuapónico de grandes dimensiones, cuyo éxito permitió el desarrollo de la cultura azteca en el centro de México.

Sin embargo, otros autores se decantan por China y Tailandia. En ambos países desde hace mucho tiempo se cultiva arroz y entre los arrozales se producen peces. Estos sistemas se han definido como sistemas de acuaponía temprana. También se consideran dentro de los sistemas acuapónicos de dimensiones considerables.

Los cultivos acuapónicos es la unión de un sistema hidropónico y un sistema acuícola. El sistema hidropónico no utilizan suelo agrícola para su producción, ya que se cultivan en una solución acuosa con nutrientes, estos son generados por las heces de los peces.(OLMO AXAYACATL, 2017).

2.1.1 Acuaponía en Colombia. En Colombia se han desarrollado investigaciones tanto en acuaponía tradicional como en acuaponía con automatización, se destacan trabajos en la Universidad Militar Nueva Granada, la Universidad del Quindío, la Universidad Sur colombiana, sin embargo en el ámbito comercial la acuaponía en nuestro país no ha tenido un avance significativo debido a que las regulaciones medioambientales no son cumplidas por los acuicultores actuales, quienes vierten agua cargada producto de la salida de sus actividades piscícolas sin realizar

ningún tipo de tratamiento debido a que les generaría costos económicos adicionales.

El instituto de ictiología de la Universidad Militar Nueva Granada ha realizado diversas investigaciones con sistemas acuapónicos, dentro de los que se destacan la evaluación del crecimiento de goldfish, carpa común y orégano en un sistema acuapónico donde encontró la necesidad de suministrar quelatos de hierro e hidróxido de potasio debido a la ausencia en la generación del sistema acuapónico, evaluación de sistema goldfish – lechuga. Ramirez (2009), quien realizó un estudio comparativo entre un sistema hidropónico y un sistema acuapónico encontrando deficiencias en el segundo por falta de nutrientes, efecto de la biomasa de *Carassius auratus* - *Cyprinus carpio* sobre el crecimiento de *Origanum vulgare* en sistemas acuapónicos (Hurtado, 2014), Evaluación preliminar de sistemas acuapónicos e hidropónicos en cama flotante para el cultivo de orégano (Gómez et al, 2011), Montaje y evaluación de sistemas de cultivo acuapónicos carpa roja “*Ciprinus carpio*”-orégano “*Origanum vulgare* “ (Hurtado, 2010).

Lozano (2015), realizó un estudio de factibilidad para el montaje de sistemas acuapónicos en la isla de providencia y santa catalina. Respecto al ámbito empresarial, en el municipio de Tenjo “Cundinamarca” se encuentra la empresa Acuapónicos La Mariana con producción de lechuga y trucha arcoíris, en Itagüí la empresa Acuaponía colombiana quienes realizan investigación y fabrican sistemas acuapónicos para hogar e industria, en Casanare la empresa AcuaponiCas trabajan con tomate y tilapia.(Felipe & Zambrano, 2017) .

2.2 Marco Conceptual.

2.2.1 Piscicultura.

La piscicultura es el estudio de la producción, reproducción y crecimientos de los peces bajo a condiciones específicas. Su especificidad en relación con la actividad general de la pesca, radica precisamente en que, en la piscicultura, el desarrollo de los peces se da con la intervención, el conocimiento y la acción del hombre, especialmente en lo relativo a mejoramiento genético, incubación, reproducción artificial de peces, alimentación y sanidad, entre otros.(ANDRÉS MANUEL ARBOLEDA BERNAL, 2009)

2.2.2 Hidroponía.

La hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas crezcan en un medio libre de suelo, su estructura es simple para producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados entre otros. A partir de ello, se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes.

Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de nutrientes, a través del agua, con este cultivo es posible obtener vegetales, frutas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. En la actualidad es muy utilizado ya que requiere un mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad como se puede ver en la figura 1.(Beltrano & Gimenez, n.d.)



Figura 1 Hidroponía.
Fuente: (Gilsanz, 2007).

2.2.3 Reciclable.

El reciclaje es la actividad de recuperar los desechos sólidos al fin de reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos, con lo que podemos lograr varios beneficios económicos, ecológicos y sociales. Al disminuir la cantidad de desechos se podrá contribuir al que el medio ambiente no sufra, también permitirle a la industria a conseguir materia prima a bajo costo y aumentar su competencia en el campo laboral.(Röben, n.d.)

2.2.4 Horticultura.

La horticultura es la actividad de cultivar más antigua del ser humano. Esta ciencia agrícola estudia la producción, aprovechamiento y mejoramiento de frutas, hortalizas y planta ornamentales o conjunto de actividades de cultivo que se realizan imitando el diseño de huerto esta es esencial y muy importante para el desarrollo de la vida humana debido a que es uno de los principales aportes de alimentos y bienes primarios a partir de los cuales se pueden generar otras combinaciones de alimentos. (Adams, Bamford, & Early, 1993).

2.2.5 Automatización.

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales, la parte operativa, en donde esta actúa directamente sobre la máquina y la parte de mando la cual suele ser autómata programable, en el cual se utilizan tarjetas electrónicas, módulos lógicos neumáticos, relés electromagnéticos, entre otros. (Curso Básico de Autómatas Programables, 2001).

2.3 Marco Teórico.

2.3.1. Sistema acuapónico.

La acuaponía es la unión entre la acuicultura y la hidroponía dentro de un modelo de producción. Los sistemas acuapónicos buscan producir de tal manera que los recursos naturales sean mejorados, en la figura 2 se muestra un sistema acuapónico tradicional. El agua pasa por un proceso de recirculación en la cual los desechos producidos por los peces son absorbidos por los cultivos hidropónico. Estos desechos contienen nutrientes que se encargan de suplir las necesidades de los cultivos. (Coral, C., & Daniel, M, 2015)

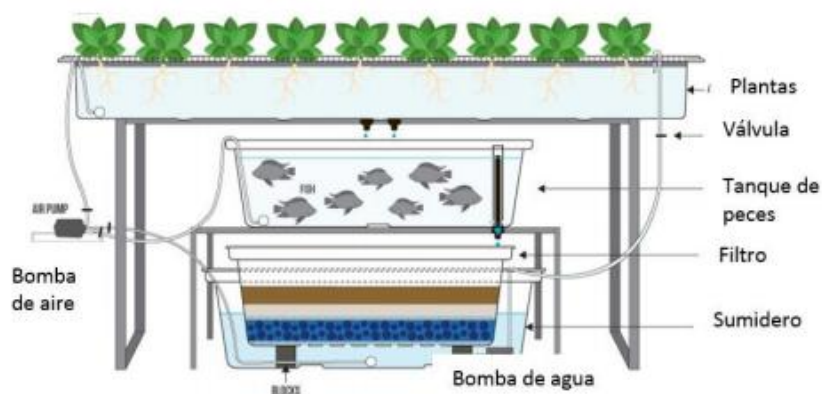


Figura 2 Sistema tradicional acuapónico.

Fuente: Goddek, 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics.

2.3.2. Ventajas.

La acuaponía es considerada como un sistema de producción sustentable debido a que presenta una serie de características benéficas para el medioambiente. Algunas de las ventajas son las siguientes:

- **Uso eficiente del agua.**

En los sistemas acuapónicos el agua es el medio de vida de los peces y de las raíces de las plántulas. Es decir, el agua se utiliza por partida doble. Con este cultivo se reduce a un 10% el consumo de agua, que en un cultivo tradicional con suelo.

- **Fertilización orgánica.**

Los desechos de los peces constituyen un fertilizante rico en nutrientes para las plantas. De esta manera es posible disminuir considerablemente el gasto en sales fertilizantes.

- **No se requiere suelo.**

Para zonas con problemas de suelo y también para zonas desérticas, este sistema acuapónico representa una alternativa interesante. También es un sistema que podría ser de mucho interés para cultivar en las ciudades, donde la tierra cultivable es prácticamente inexistente. (OLMO AXAYACATL, 2017)

2.3.3. Desventajas.

El sistema acuapónico presenta varias desventajas que hay que tener presentes en el momento de su producción:

- **Costo inicial.**

Iniciar un proyecto con sistema acuapónico tiene un costo inicial alto que los demás cultivos tradicionales. Sin embargo, no es posible dar una cifra real porque esta va a depender del tamaño del sistema y del nivel tecnológico al implementar.

- **Éxito no asegurado.**

Ningún sistema de producción presenta una tasa perfecta de éxito, pero para la acuaponía el porcentaje es bastante reducido. El caso es que muchos sistemas están estandarizados en gran medida. Sobre un sistema con cultivo hidropónico, hay gran variedad de información sobre este, en cambio en un sistema acuapónico hay poca investigación. (OLMO AXAYACATL, 2017)

2.3.4. Automatización de sistemas acuapónicos.

Existen pocas investigaciones sobre sistemas acuapónicos automatizados, generalmente es un cultivo tradicional el seguimiento de la producción se realizan de forma manual, los parámetros son medidos con kits de muestreo o análisis en laboratorio repercutiendo en la imposibilidad de tomar una decisión en tiempo real del comportamiento del sistema acuapónico. Para asegurar el crecimiento y la producción de los organismos en acuaponía se debe tener en cuenta a medir los parámetros de calidad del agua temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, nitrógeno amoniacal total, turbidez y parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono y luminosidad. (Kumar, 2016)

2.3.5. Modelo matemático de la planta

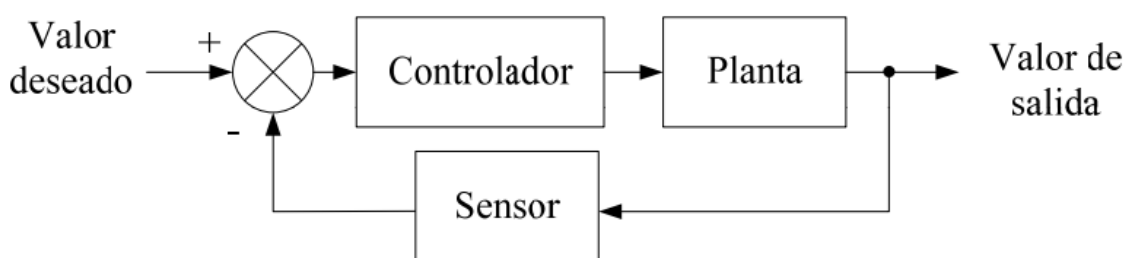


Figura 3 Sistema de control en lazo cerrado.

Fuente: Gonzalez-Longatt, Francisco 2008/01/01, Introducción a la Teoría de Control.

2.3.5.1. Sistema de nivel de líquido.

Al analizar sistemas que implican el flujo de líquidos, resulta necesario dividir los regímenes de flujo en laminar y turbulento, de acuerdo con la magnitud del número de Reynolds. Si el número de Reynolds es mayor que entre 3000 y 4000, el flujo es turbulento. El flujo es laminar si el número de Reynolds es menor que unos 2000. En el caso laminar, tiene lugar un flujo estable en las corrientes, sin turbulencia. Los sistemas que contienen un flujo turbulento a menudo deben representarse mediante ecuaciones diferenciales no lineales, en tanto que los sistemas con un flujo laminar pueden representarse mediante ecuaciones diferenciales lineales.

Resistencia y capacitancia de sistemas del nivel de líquido. La resistencia R para el flujo de líquido en tal tubo se define como el cambio en la diferencia de nivel (la diferencia entre el nivel de líquido en los dos tanques) necesaria para producir un cambio de una unidad en la velocidad del flujo; es decir,

$$R = \frac{\text{cambio en la diferencia de nivel, } m}{\text{cambio en la velocidad de flujo, } \frac{m^3}{seg}} \quad (1)$$

Si el flujo a través de esta restricción es laminar, la relación entre la velocidad del flujo en estado estable y la altura en estado estable en el nivel de la restricción se obtiene mediante,

$$Q = KH \quad (2)$$

En donde Q = velocidad del flujo del líquido en estado estable, $\frac{m^3}{seg}$

K = coeficiente, $\frac{m^2}{seg}$

H = altura en estado estable, m

Para el flujo laminar, la resistencia **RI** se obtiene como:

$$Rl = \frac{dH}{dQ} = \frac{H}{Q} \quad (3)$$

La **capacitancia C** de un tanque es el cambio necesario en la cantidad de líquido almacenado, para producir un cambio de una unidad en el potencial (altura).

$$C = \frac{\text{cambio en el liquido almacenado, } m^3}{\text{cambio en la altura, } m} \quad (4)$$

Debe señalarse que la capacidad (m^3) y la capacitancia (m^2) son diferentes. La capacitancia del tanque es igual a su área transversal. Si ésta es constante, la capacitancia es constante para cualquier altura.

Sistemas del nivel de líquido.

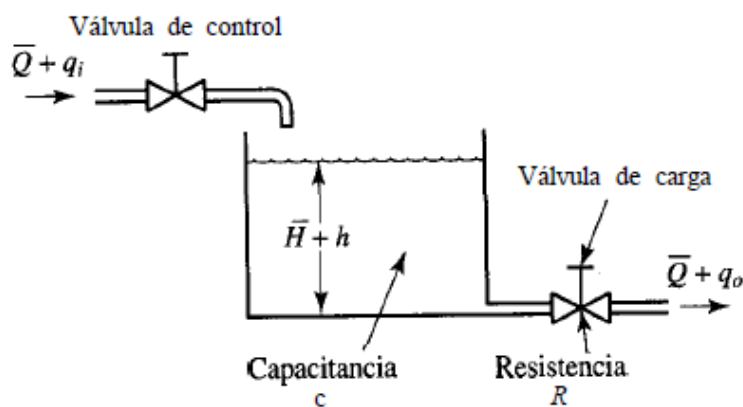


Figura 4 Sistema del nivel de líquido

Fuente: Ogata, ingeniería de control moderna

Donde:

\dot{Q} = velocidad de flujo en estado estable (antes de que haya ocurrido cualquier cambio),

m^3/seg

q_i = desviación pequeña de la velocidad de entrada de su valor en estado estable, m^3/seg

q_o = desviación pequeña de la velocidad de salida de su valor en estado estable, m^3/seg

\bar{H} = altura en estado estable (antes de que haya ocurrido un cambio), m

h = desviación pequeña de la altura a partir de su valor en estado estable, m

A partir de la suposición de que el sistema es lineal o linealizado, la ecuación diferencial de este sistema se obtiene del modo siguiente. Dado que el flujo de entrada menos el flujo de salida durante el pequeño intervalo de tiempo dt es igual a la cantidad adicional almacenada en el tanque, observamos que:

$$Cdh = (q_i - q_o)dt \quad (5)$$

A partir de la definición de resistencia, la relación entre q_o y h se obtiene mediante

$$q_o = \frac{h}{R} \quad (6)$$

La ecuación diferencial para este sistema para un valor constante de R se convierte en

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i \quad (7)$$

Observe que RC es la constante de tiempo del sistema. Si tomamos la transformada de Laplace en ambos miembros de la ecuación anterior y suponemos la condición inicial de cero, obtenemos:

$$(RC_s + 1)H(s) = RQ_i(s) \quad (8)$$

En donde

$$H(s) = \mathcal{L}[h] \quad y \quad Q(s) = \mathcal{L}[q_i] \quad (9)$$

Si q_i se considera la entrada y h la salida, la función de transferencia del sistema es:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{R}{RCs+1} \quad (10)$$

(Katsuhiko Ogata, 1998)

2.3.6. Controles PID

Un controlador PID son dispositivos que nos permiten mantener una variable a un determinado valor de referencia (setpoint). Este tipo de control presenta tres módulos, el control proporcional (P), el control integral (I) y el control derivativo (D):

- Control proporcional: su función es crear una respuesta en la salida proporcional al error.
- Control Integral: Este se encarga de eliminar el error residual que da el control P, reduciéndolo a 0.
- Control Derivativo: Se utiliza para eliminar las sobre oscilaciones generando una corrección en la señal de control proporcional al error. (Pablo Turmero, 2015)

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta. En la figura 5 (Katsuhiko Ogata, 1998)

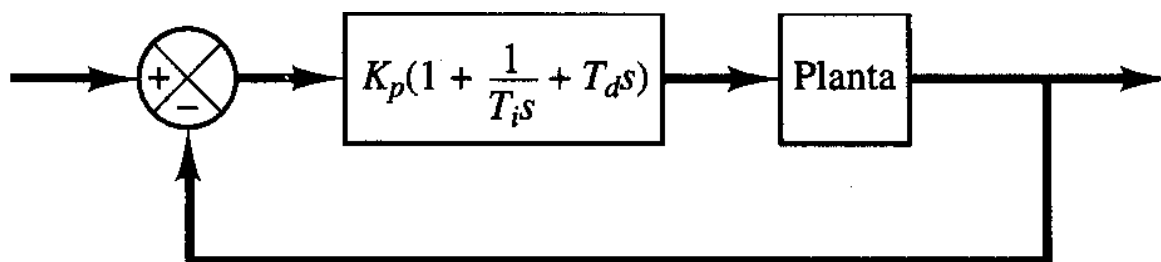


Figura 5 Control PID de una planta.

Fuente: Ogata, Ingeniería de control moderna.

2.3.7. Modelos de sistemas de filtración

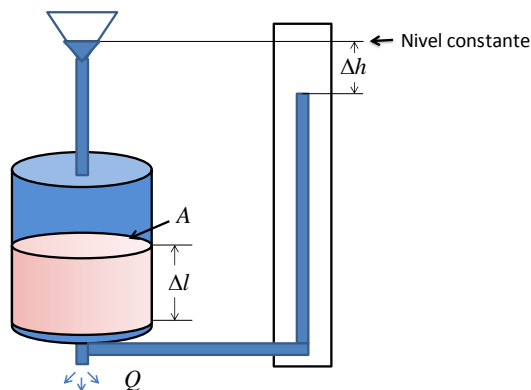
Para la filtración se utilizaron tres tipos de filtros: el filtro por gravedad, Filtro biológico y el filtro por medio poroso, en el cual se basó en los fundamentos de la ley de Darcy.

2.3.8. Ley de Darcy.

La Ley de Darcy, establece que la relación entre la velocidad de descarga y el gradiente hidráulico del flujo del agua en arenas es una invariante del material llamada coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

El estudio para medios porosos se realiza mediante dos tipos de escala diferentes: la escala continua sin poros y la escala de Darcy. En la escala continua sin poros se utiliza la ecuación de Navier Stokes, en la que se describe el movimiento del fluido para medios continuos, donde los efectos de los poros son despreciables, la cual se basa en la derivada material de la velocidad del fluido y un gradiente de velocidad que indica la conservación del fluido e incompresibilidad. La Ley de Darcy del medio poroso se estudia para un medio continuo y homogéneo cuya dimensión característica es del orden de centímetros donde está acoplado al gradiente de velocidad. (Duran-Pinzón et al., 2018)

$$u = K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (11)$$



a) Permeámetro de carga constante.



b) Nivel constante del filtro

Figura 6 Ley de Darcy.

Fuente: (Duran-Pinzón et al., 2018) y autor del proyecto.

2.4 Marco Legal.

2.4.1 Fundamentos conceptuales de Ciencias naturales 2007.

Contiene los principios teóricos y la estructura propuesta por la colegiatura de Ciencias Naturales como base para el diseño y elaboración de las pruebas SABER. Así mismo, el documento se presenta coherente con el pensamiento de algunos investigadores de la educación en Ciencias, quienes destacan la necesidad de educación científica de alta calidad para que los futuros ciudadanos y ciudadanas puedan participar en la toma de decisiones de carácter social y en particular en aquellas relacionadas con los impactos en la sociedad de la Ciencia y de la Tecnología (Lenike, 2016). Reglamenta las competencias a evaluar en pruebas externas en el área de Ciencias Naturales. Los cultivos hidropónicos podrán ser una herramienta que permita desarrollar las competencias propias del área de Ciencias Naturales, aportando a la obtención de buenos resultados en pruebas y al logro de competencias ciudadanas. (Cristina & Corrales, 2017)

2.4.2 Artículo 65 constitución política de Colombia.

Artículo 65. La producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras. De igual manera, el Estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario, con el propósito de incrementar la productividad. (constitucion politica, 2017)

2.4.3 Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.

Se tienen en cuenta con las siguientes normativas:

Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña. Acuerdo 065 de 1996. El cual establece el estatuto estudiantil que es regente actual en la institución. (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 1996)

Artículo 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

A. Proyecto de Investigación.

- Monografía.
- Trabajo de investigación: Generación o aplicación de conocimientos }
- Sistematización del conocimiento.

B. Proyecto de extensión.

- Trabajo social.
- Labor de consultoría aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- Pasantía.
- Trabajo dirigido.

Parágrafo 1. El estudiante podrá optar como componente alternativo al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académico o exámenes preparatorios. 39

Parágrafo 2. Para algunos planes de estudio y de acuerdo a sus características el consejo académico podrá obviar la presentación de trabajo de grado. (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 1996).

Artículo 141. El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

- Presentación de anteproyecto o plan de trabajo correspondiente a la modalidad del proyecto seleccionado.
- Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.
- Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

Artículo 142. Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

Parágrafo 1. La universidad incorporara los trabajos de grado como componentes básicos de su hacer y creara bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría asistente de Investigación y Extensión. (Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 1996).

Capítulo 3. Metodología

3.1 Tipo De Investigación

Este proyecto se enfoca en una investigación proyectiva que consiste en proponer soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, más no necesariamente ejecutar la propuesta. En esta categoría entran los “proyectos factibles” (Upel, 2003). Todas las investigaciones que implican el diseño o creación de algo con base en un proceso investigativo, también entran en esta categoría. (Hurtado J., 2007)

3.1.1. Etapas del proyecto.

3.1.1.1 FASE I.: Identificación de las variables fundamentales que intervienen en los cultivos acuapónicos.

3.1.1.1.1 Actividad 1. Revisión de artículos relacionados con cultivos acuapónicos.

3.1.1.1.2 Actividad 2. Selección del tipo de cultivo para la huerta.

3.1.1.1.3 Actividad 3. Determinar la especie de peces para la huerta dependiendo de la condición de la pecera.

3.1.1.2 FASE II. Diseño de un prototipo de la huerta en el software Soliworks y construcción de esta.

3.1.1.2.1 Actividad 1. Desarrollo de un diseño en 3D de la huerta con cultivo acuapónico.

3.1.1.2.2 Actividad 2. Selección de materiales para la construcción de la huerta.

3.1.1.2.3 Actividad 3. Construcción de la huerta auto-sostenible.

3.1.1.3 FASE III.: Desarrollo del sistema electrónico de monitoreo y control de nivel.

3.1.1.3.1 Actividad 1. identificar los sensores a utilizar y realizar sus conexiones.

3.1.1.3.2 Actividad 2. Programación de interfaz gráfica para el monitoreo.

3.1.1.3.3 Actividad 3. Técnicas de control de nivel de agua el sistema.

3.1.1.4 FASE IV.: Construcción de filtros para la huerta.

3.1.1.4.1 Actividad 1. Determinación de los tipos de filtros necesarios.

3.1.1.4.2 Actividad 2. Diseño en el Software Soliworks del filtro.

3.1.1.4.3 Actividad 3. Selección de materiales y construcción de los filtros necesarios.

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto por medio de las actividades propuestas.

A continuación, se presenta el resultado de las actividades propuestas en el diseño metodológico para el desarrollo del proyecto.

4.1. FASE I: Identificación de las variables fundamentales que intervienen en el cultivo acuapónico.

Mediante las siguientes actividades, se dio cumplimiento al primer objetivo del proyecto.

4.1.1. Revisión de artículos relacionados con cultivos acuapónicos

Para desarrollo de esta actividad se realizó una investigación en la internet encontrando artículos, tesis sobre la acuaponía y de tipos de control, lo cual nos permitió explorar y recolectar información previa enfocada a la construcción de este tipo de sistema y de las variables que intervienen.

Las variables a medir que intervienen en el cultivo acuapónico son:

- **Humedad relativa.**
- **Temperatura del ambiente.**
- **Ph.**
- **Crecimiento de la planta.**
- **Temperatura del agua.**
- **Caudal.**

4.1.2. Selección del tipo de cultivo para la huerta.

El cultivo se realizará en Ocaña este municipio posee una temperatura ambiente promedio de 25 grados Celsius (°C), humedad relativa aproximada de 91 % y está situada a una altitud sobre el nivel del mar de 1.202 m.

Para el cultivo en lugar de semillas se usarán plántulas en su etapa inicial de crecimiento ya que así se aumentan las posibilidades de éxito del cultivo y se disminuye el tiempo de espera para la cosecha del producto final.

El tipo de planta que se utilizó para el cultivo hidropónico fue el **Capsicum annuum** (ají topito) figura 7, ya que esta planta se cosecha por la zona del norte de Santander, y se nos iba adaptar fácilmente a nuestro sistema.



Figura 7 Capsicum annuum.

Fuente: Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2015. Actualizado: 2017.



Figura 8 Plántula de ají topito.

Fuente: Autor del proyecto.

4.1.3. Determinar la especie de peces para la huerta dependiendo de la condición de la pecera.

En Colombia las especies más cultivadas comercialmente son la tilapia roja o mojarra roja (*Oreochromis* sp.), la tilapia nilótica o plateada (*Oreochromis niloticus*) y la mojarra negra (*Oreochromis mossambicus*). (*Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*, 2014)

La tilapia roja, o mojarra roja se utilizó para la huerta, ya que es su producción se adapta a estanques, en donde pueden ser criadas con un resultado favorable. Figura 9



Figura 9 Tilapia roja.
Fuente: Autor del proyecto.



Figura 10 Mojarra roja en pecera.
Fuente: Autor del proyecto.

Parámetros físico-químicos para el cultivo de la mojarra roja.

- Temperatura: esta debe estar entre 22 a 26 °C.
- pH: el PH ideal este entre 5 – 9, al tener valores fuera de este rango ocasionan aletargamiento, disminución en la reproducción y el crecimiento.
- Dureza: Mayor de 60 ppm.
- CO₂: Menor a 20 ppm.

(“Producción y manejo de peces. Ingeniería Agrícola. Colombia,” 2001)

4.2. FASE II: Diseño de un prototipo a escala en el software Soliworks de la huerta a construir.

4.2.1. Desarrollo de la huerta en el software Soliworks.

En las siguientes imágenes figura 11,12,13,14,15 se pueden observar el diseño de la huerta en Soliworks, tienda en cuenta el sitio destinado para la su construcción.

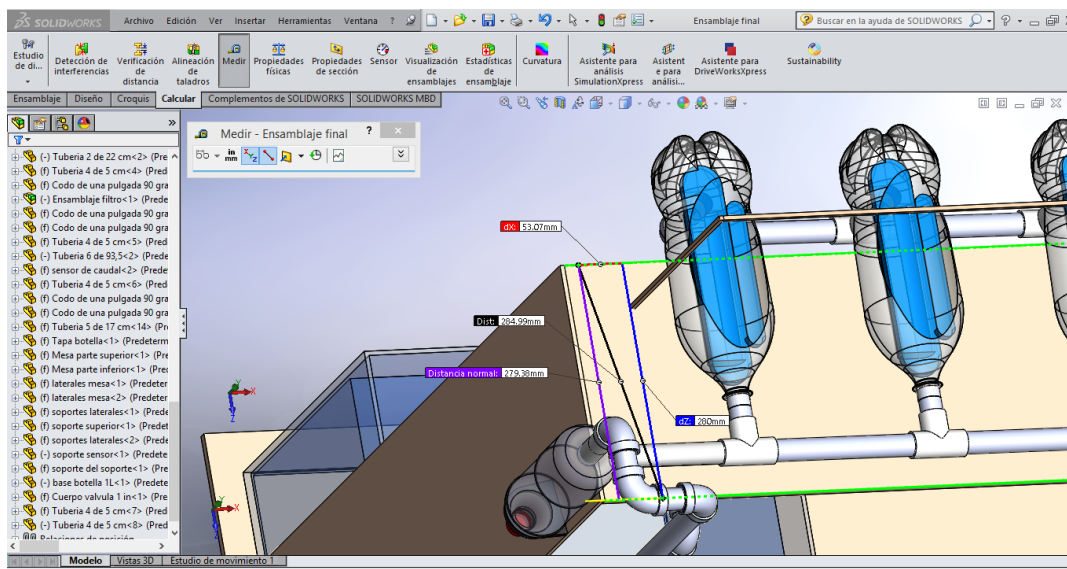


Figura 11 Botellas reutilizables para las plántulas.

Fuente: Autor del proyecto.

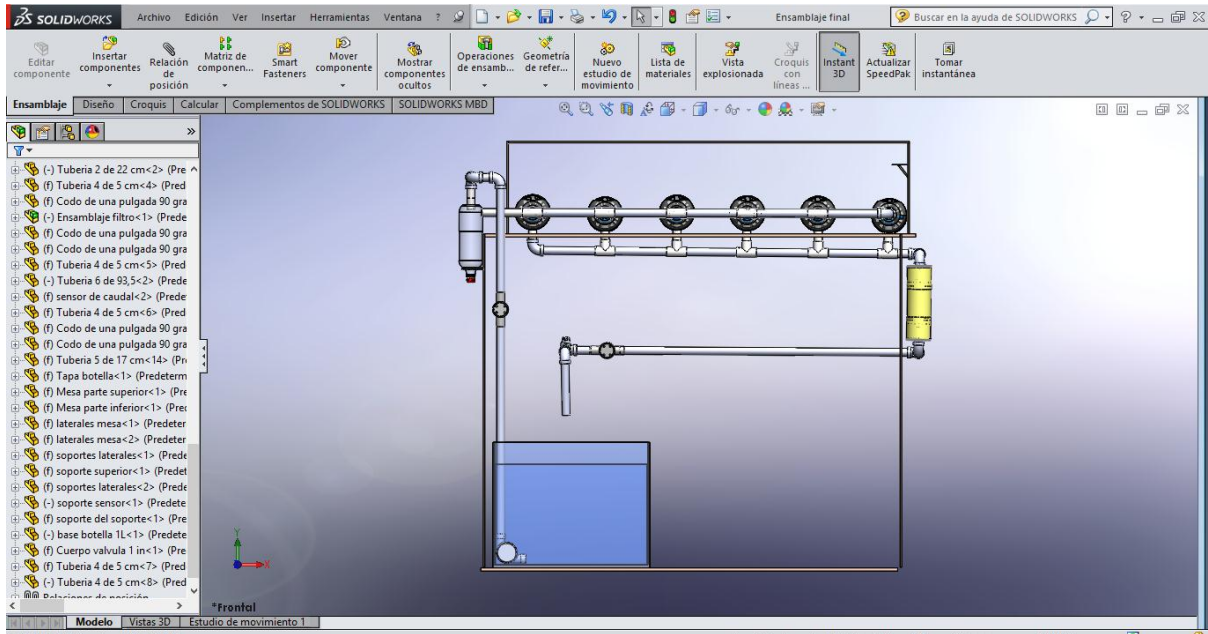


Figura 12 Vista posterior de la huerta.

Fuente: Autor del proyecto.

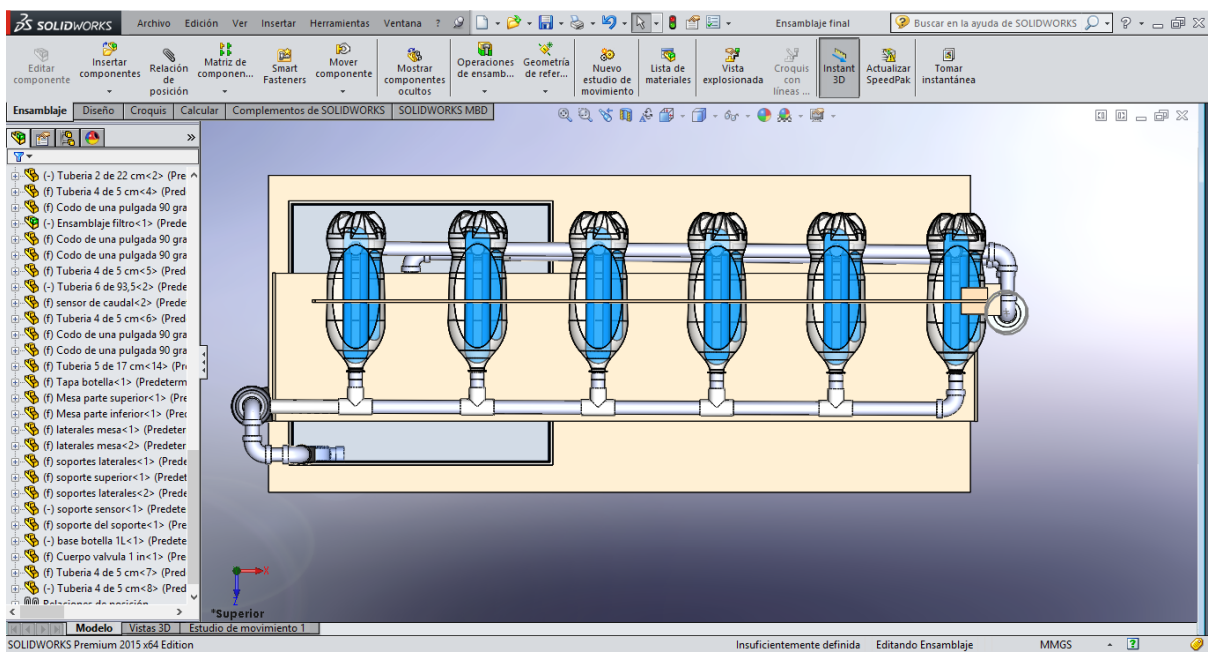


Figura 13 Vista superior de la huerta.

Fuente: Autor del proyecto.

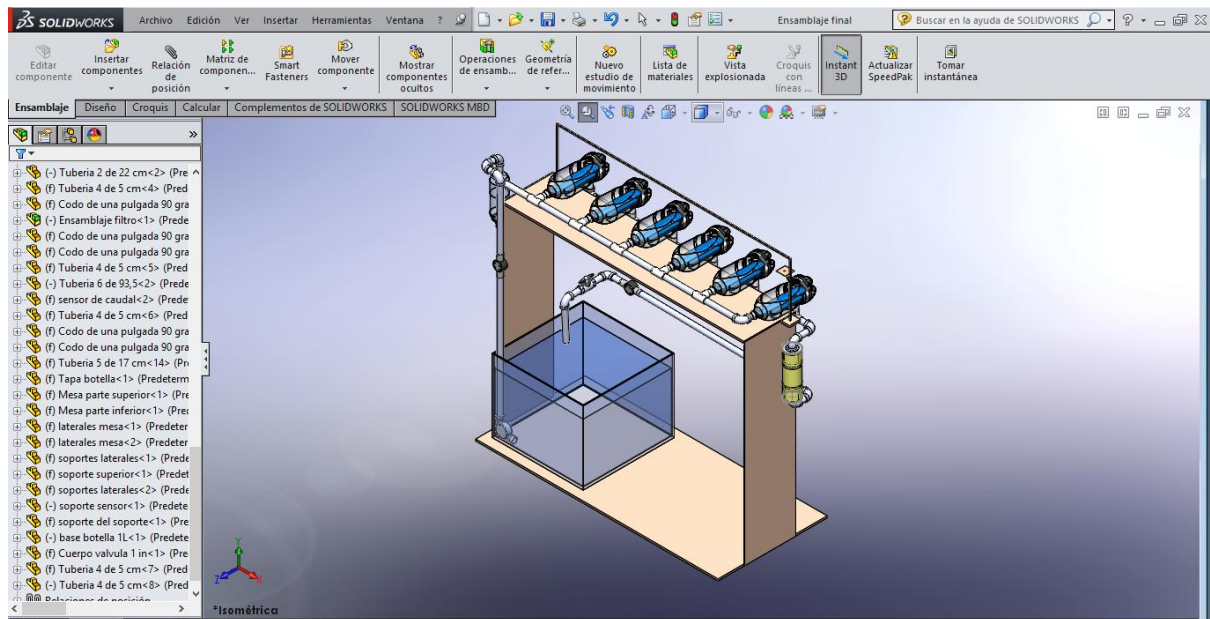


Figura 14 Diseño de la huerta con sistema acuapónico.

Fuente: Autor del proyecto.

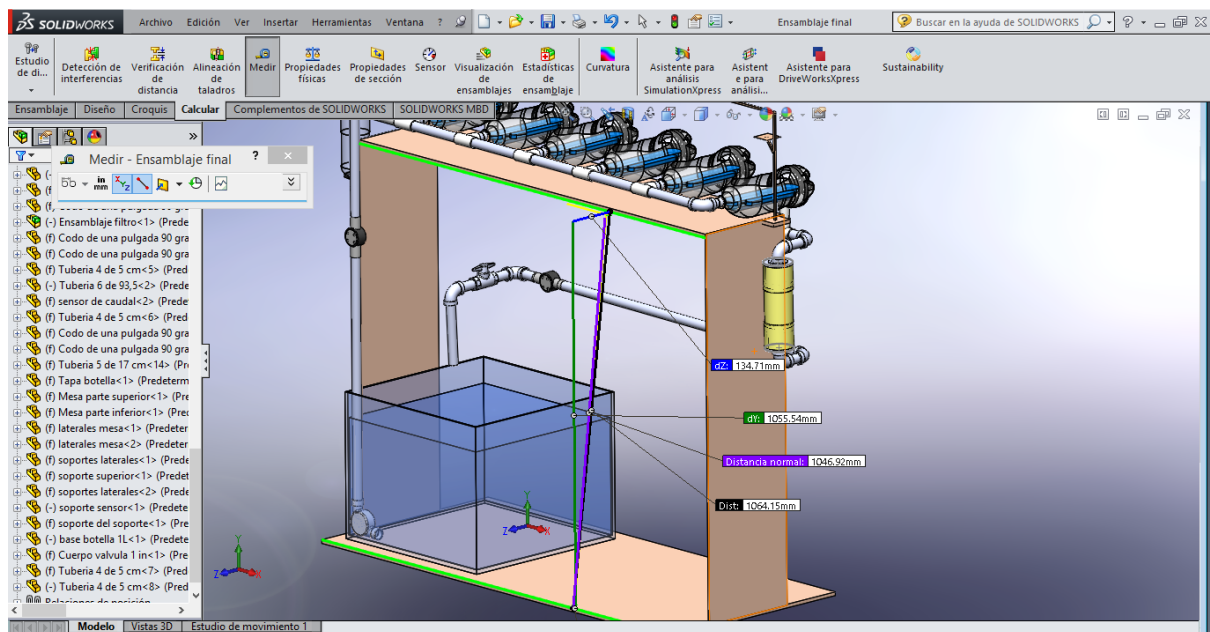


Figura 15 Vista de la estructura en Soliworks.

Fuente: Autor del proyecto.

4.2.2. Selección de materiales para la huerta.

Para la selección de materiales para la huerta, se tuvo en cuenta el impacto ecológico, ya que cada vez más el plástico invade la tierra, en el cual se consideró la metodología R^3 , recirculante(Reduce), reutilizable(Reuse) y reciclable(Recycle) (JOSE DAVID LARA GONZÁLES, 2008). Se implementó estrategias de reciclaje en donde se adaptó botellas de plástico y partes de poliestireno para la ubicación de las plántulas.

En la siguiente tabla 1, se muestran los precios de los materiales que se utilizaron y cuales fueron reutilizables.

Tabla 1 Estructura mecánica y fluidos.

CANTIDAD	CONCEPTO	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	PECERA 50x50x40	\$50.000	\$50.000
3	Metro De Tubería Pvc(1/2")	\$16.000	\$48.000
1	Moto bomba	\$50.000	\$50.000
2	Varetas de madera 5cm ancho y 2metros de largo	\$1.000	\$2000
1	Embace de 3 litros de plástico para filtro de gravedad	0	0
2	REDUCIDOR PVC LISO 2 1/2"X1/2"	\$3000	\$6000
2	Reducción PVC 3" x 2 1/2"	\$4000	\$8000
6	Embaces De 3 Litros Reutilizados	0	0
25	Accesorios Para Tubería De Pvc (1/2")	\$500	\$12.500
1 metro	Malla	\$2000 metro	\$2000
1	Pegante Para Pvc	\$12.000	\$12.000
TOTAL			\$190,500

Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 2 se encuentran el tipo de sensor para el sistema electrónico y el control para el nivel de la huerta.

Tabla 2 Sistema electrónico y control.

CAN.	TIPO DE SENSOR	CARACTERISTICAS	VALOR UNITARIO	TOTAL
2	Sensor de Flujo YF-S201. Hall effect	Voltaje de funcionamiento: 5 a 18 V DC Max consumo de corriente: 15 mA a 5 V Tipo de salida: 5V TTL Trabajo Caudal: de 1 a 30 litros / minuto Rango de flujo: 1-30L/min Modo de detección: Vertical Presión máxima del agua: 2,0 MPa Tiempo de subida de la salida: 0.04us Tiempo de caída de la salida: 0.18us Pulsos por litro: 450	\$15.000	\$30.000
1	Sensor de humedad Dth22	Alimentación $3.3Vdc \leq Vcc \leq 6Vdc$ Rango de medida Humedad De 0 a 100% RH Precisión Humedad 2%RH Resolución Humedad 0.1%RH	\$17.000	\$17.000
4	Sensor de ultrasonido HC-SR04	Rango de medición 2cm a 400 cm resolución de 0.3cm	\$6.000	\$24.000
1	Sensor de ultrasonido HC-SR05	Formato del pin de activación: pulso digital de 10 uS Frecuencia de sonido: 40 kHz Rango de medición: 2cm a ~ 4,5m Resolución de la medida: 0.3cm Ángulo de medición: hasta 15 grados Velocidad de medición: 40 Hz Voltaje de suministro: 4.5V to 5.5V	\$10.000	\$10.000
1	Sensor de Ph	Voltaje de alimentación 5v		

	con sonda	Corriente 5-10 mA Consumo ≤ 0.5 W Temperatura de trabajo 10-50 °C	\$190.000	\$190.000
1	Baquela doble cara	Es una lámina de cobre y la otra es una lámina de un plástico sintético	\$7000	\$7000
1	Pic 18F 2550	Gama alta	\$18.000	\$18.000
	Varios	Condensadores Resistencias Molex, conectores electrónicos Soldadura y quemado	\$30.000	\$30.000
10m	Cable UTP	Conductores de cobre electrolítico 24 AWG (0,51 mm) con aislaciones en polietileno MDPE, hilo de poliamida para corte de cubierta exterior de PVC. Cubierta externa: PVC - LSLH - LSZH. Colores de cubierta externa: Gris - Azul.	\$1.000	\$10.000
1	Arduino Mega	Microcontrolador: ATmega2560. Voltaje Operativo: 5V. Voltaje de Entrada: 7-12V. Voltaje de Entrada(límites): 6-20V. Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM) Pines análogos de entrada: 16. Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.	\$43.000	\$43.000
1	Arduino Genios uno	Microcontrolador: ATmega328. Voltaje Operativo: 5v. Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v. Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) Pines de Entradas Análogas: 6. Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.	\$20.000	\$20.000

1	Optoacoplador Moc 3021	El MOC3021-M consta de un diodo emisor de infrarrojos de arseniuro de galio ópticamente acoplado a un interruptor bilateral de silicio en un encapsulado DIP-6. Este dispositivo está diseñado para su uso en aplicaciones que requieren disparo aislado de TRIAC. Un opto acoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente opto electrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac	\$1.000	\$1.000
1	Triac	El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento. El triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.	\$5.000	\$5.000
TOTAL			\$405.000	

Fuente: Autor del proyecto.

En la tabla 3 se encuentra la parte agropecuaria de nuestro sistema acuapónico

Tabla 3 Agropecuario.

Cantidad	Concepto	Valor
3	Tilapias	\$10.000
10	Plántulas de ají topito	\$750
1 libra	Cascarilla de arroz	\$1000
Total		\$11,750

Fuente: Autor del proyecto.

4.2.3. Construcción de la huerta auto-sostenible

Para la construcción de la huerta funcional se utilizaron materiales reutilizables, como las botellas plásticas, la cual se implementaron como macetas para las plantas y como un filtro de gravedad, también se utilizó el icopor (platos de comida de icopor) para sostener las plantas. Como pueden ver en la figura 14, el prototipo funcional construido. Ver anexos A, imágenes de la huerta en proceso.



Figura 16 Huerta urbana automatizada con sistema acuapónico.

Fuente: Autor del proyecto.

4.3. FASE III: Desarrollar un sistema electrónico de monitoreo y control de nivel

Para dar cumplimiento al segundo objetivo planteado se realizó la tercera fase con las actividades que se describen a continuación.

4.3.1. Sensores y Conexiones

➤ Sensor de caudal YF-S201

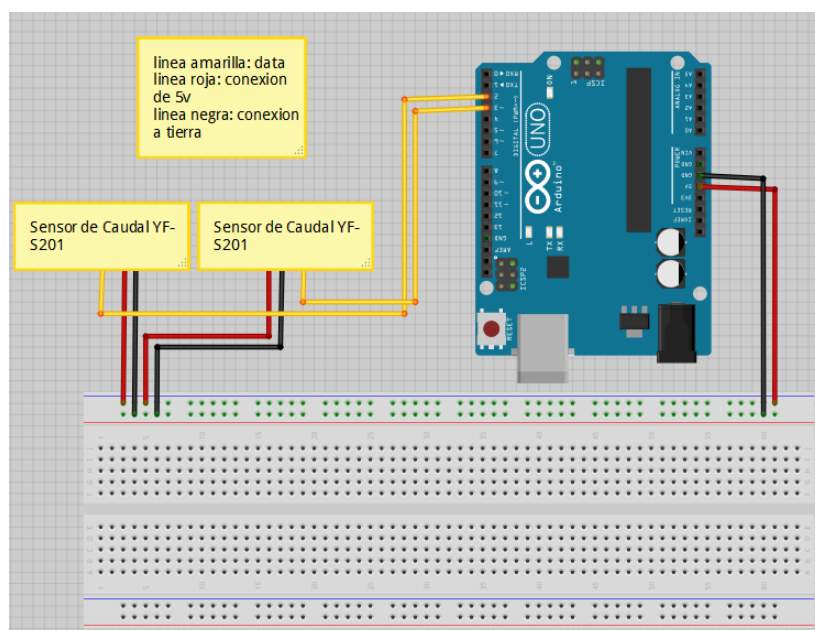


Figura 17 Conexiones con el arduino del sensor de caudal.

Fuente: Autor del proyecto.

➤ Sensor de PH.

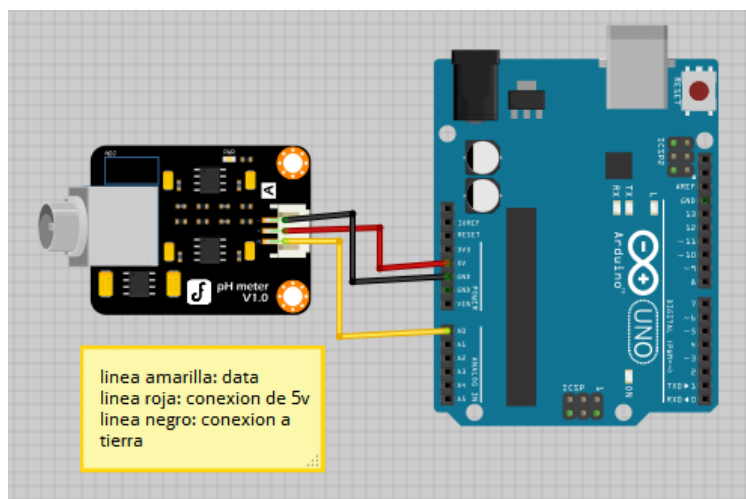


Figura 18 Conexiones con el arduino del sensor de PH.

Fuente: autor del proyecto

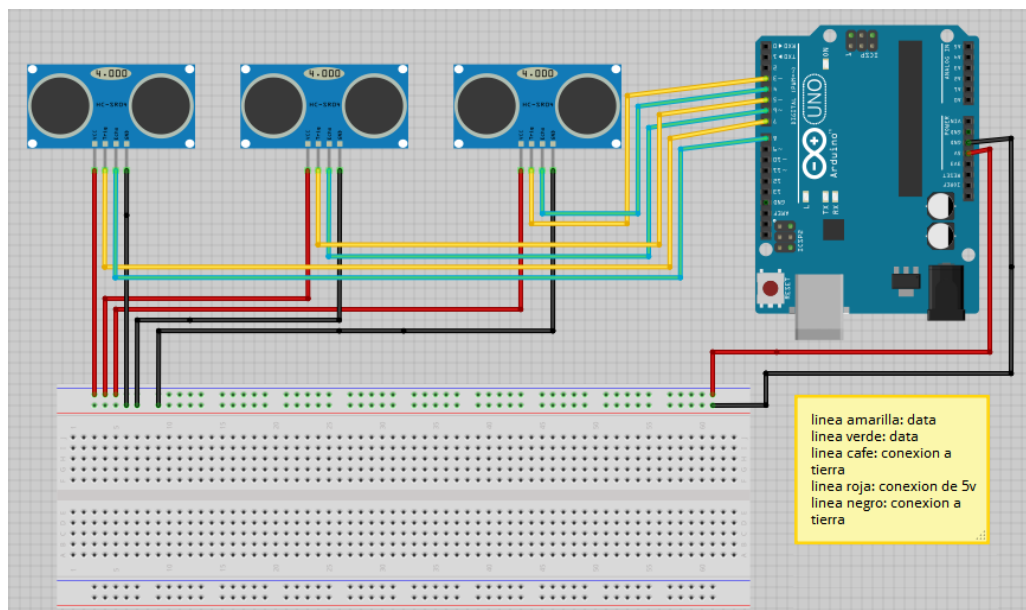


Figura 19 Conexiones con el arduino sensor de ultrasonido.

Fuente: Autor del proyecto.

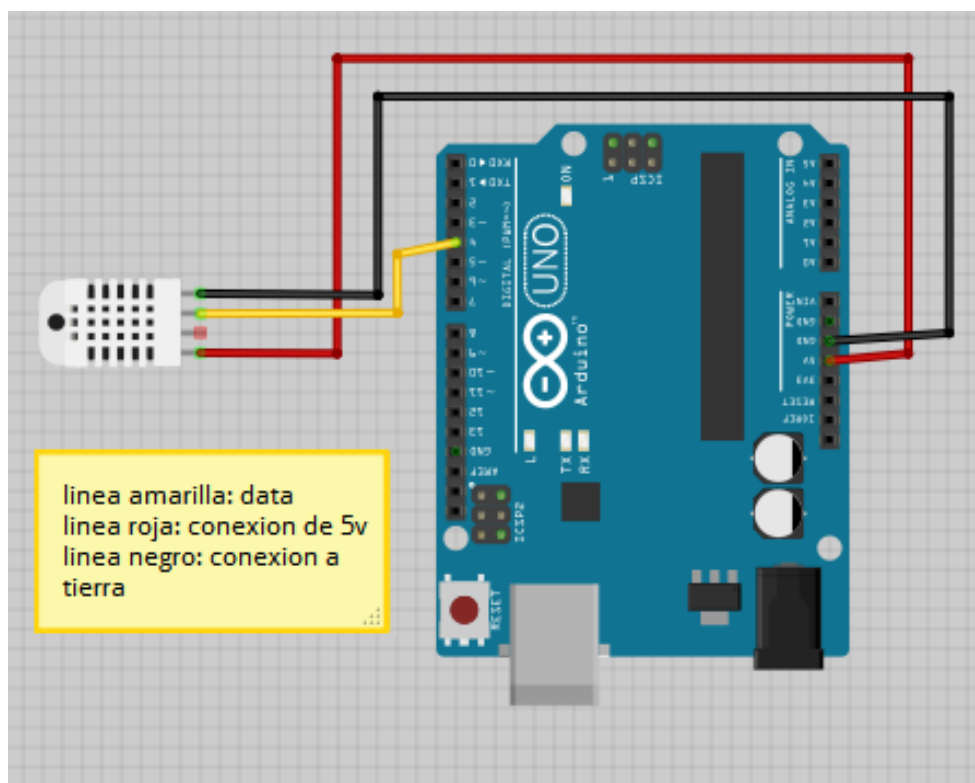


Figura 20 Conexiones con el arduino sensor de humedad relativa.

Fuente: Autor del proyecto.

4.3.2. Programación de interfaz gráfica para el monitoreo.

Para el proyecto se utilizará en la parte de programación dos métodos primero una programación en arduino y segundo un enlace entre el código en arduino código (ver anexo B) y el programa LabVIEW. En LabVIEW se desarrollará la interfaz gráfica donde estarán los datos que se toman mediante los sensores y la activación de los actuadores. En la figura 21 se muestra el panel frontal, figura 22, figura 23 y figura 24, el diagrama de bloques.

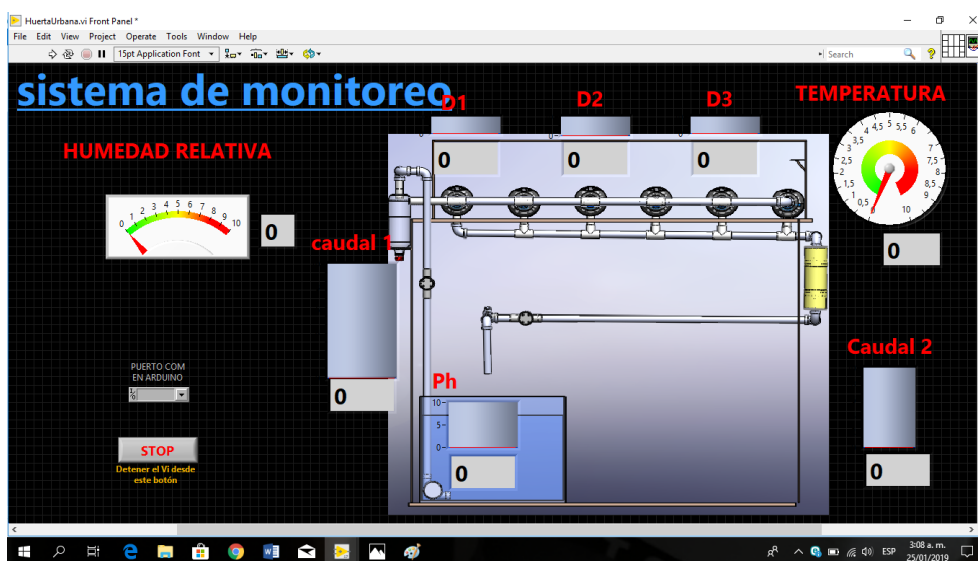


Figura 21 Panel frontal de labVIEW del sistema de monitoreo.

Fuente: Autor del proyecto.

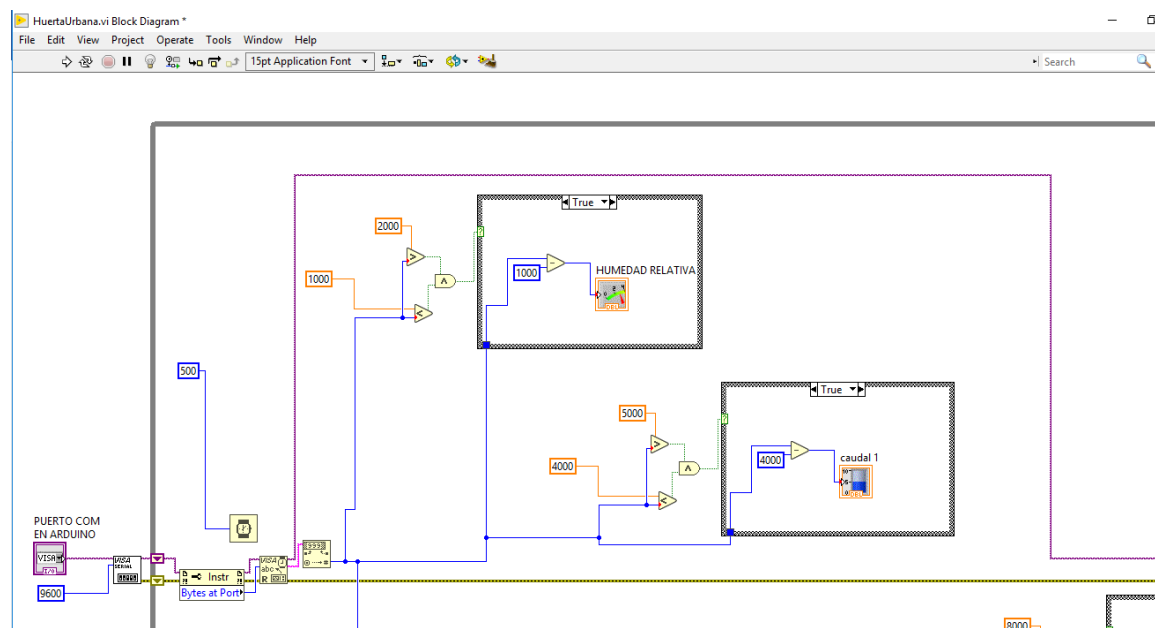


Figura 22 Diagrama de bloques de labVIEW.

Fuente: Autor del proyecto.

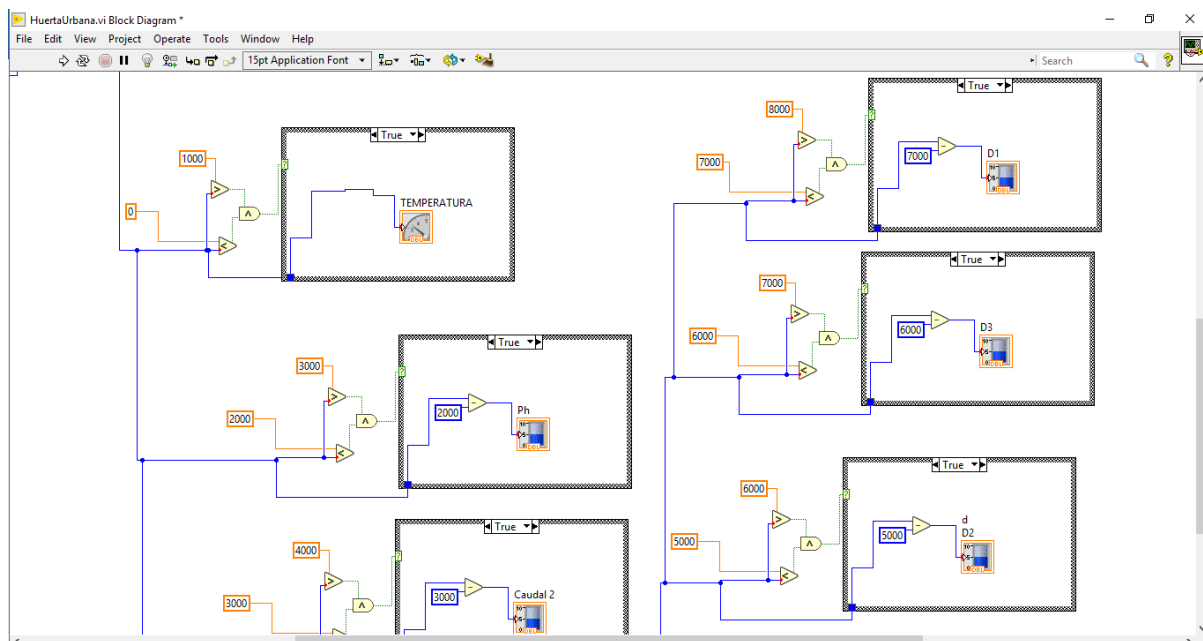


Figura 23 Diagrama de bloques de LabVIEW.

Fuente: Autor del proyecto.

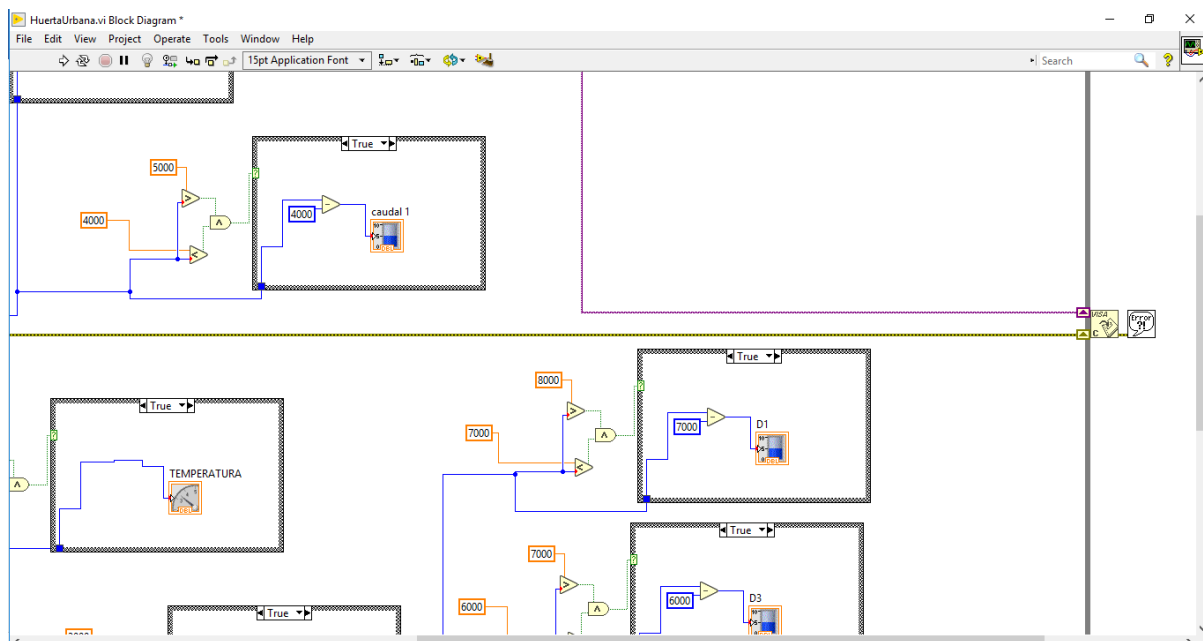


Figura 24 Diagrama de bloques de LabVIEW.

Fuente: Autor del proyecto.

4.3.3. Técnicas de control de nivel de agua del sistema.

Se trabajó en dos tipos de controles:

4.3.3.1. Control tipo PID con salida a transistor.

Sistema de nivel.

Para un sistema de nivel que se describe a continuación hallaremos la ecuación de comportamiento del sistema de la siguiente manera:

Como podemos observar la ecuación real de un nivel posee parámetros propios de cada sistema, como la capacitancia y la resistencia, cuando estos datos no se conocen es posible calcularlos e implementarlos de manera experimental usando herramientas computacionales para generar modelos aproximados de un sistema conociendo su respuesta ante entradas del sistema. La solución propuesta consiste en, medir el tiempo en que nuestro tanque tarda en quedar vacío, obteniendo datos de salida como: diferencia en altura vs flujo en la salida. El parámetro flujo de entrada es conocida, ya que nuestra bomba trabaja a flujo constante. Esto se realizaría con el fin de obtener por medio de un osciloscopio con memoria usado como tarjeta de adquisición de datos (DAQ), y Matlab, dos señales altura y caudal en la salida; usando Toolbox de Matlab (identificación de sistemas) relacionar estas dos señales para obtener un modelo aproximado del sistema de nivel.

Parte experimental y toma de datos de salida (altura y caudal) figura 23, para la toma de datos se hicieron tres pruebas, y con la ayuda de herramientas computacionales se encuentra la ecuación de la planta. Prueba 1(ver anexo C), prueba 2 (ver anexo D) y prueba 3 (ver anexo E).

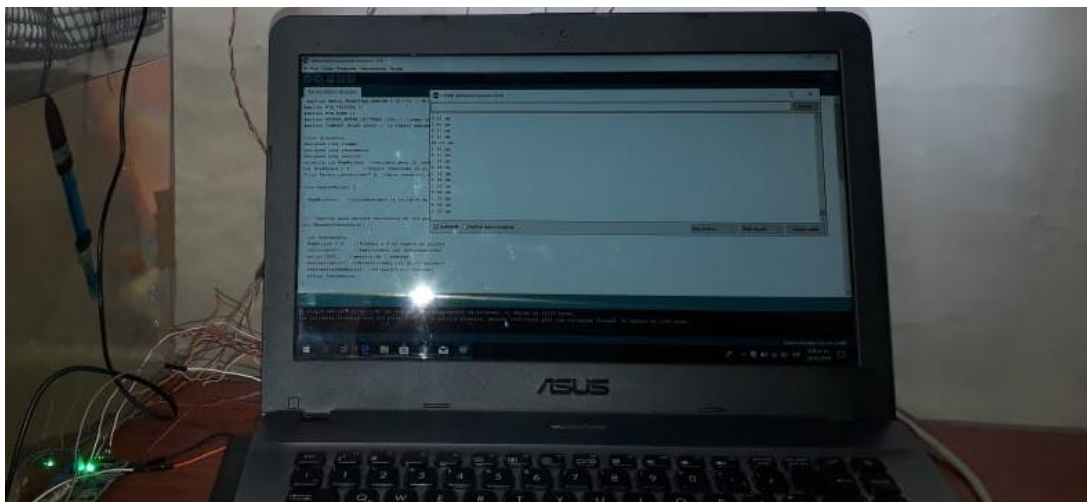


Figura 25 Adquisición de datos de entrada y salida.

Fuente: Autor del proyecto.

Después de tomar la data en tres oportunidades para determinar un modelo matemático de primer orden para un sistema de nivel (según Ogatta control moderno) tenemos:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{R}{RCs+1} \quad (12)$$

Los datos enviados por arduino se almacenaron en un archivo de extensión (.txt) que fueron leídos y ordenados por Matlab de la siguiente manera, como se muestra en la figura 26

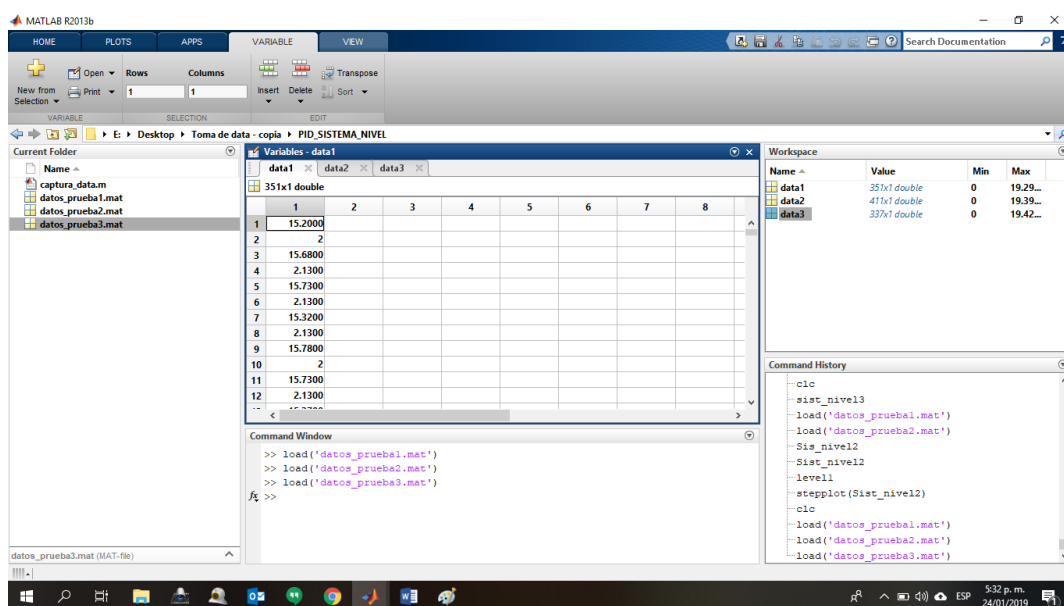
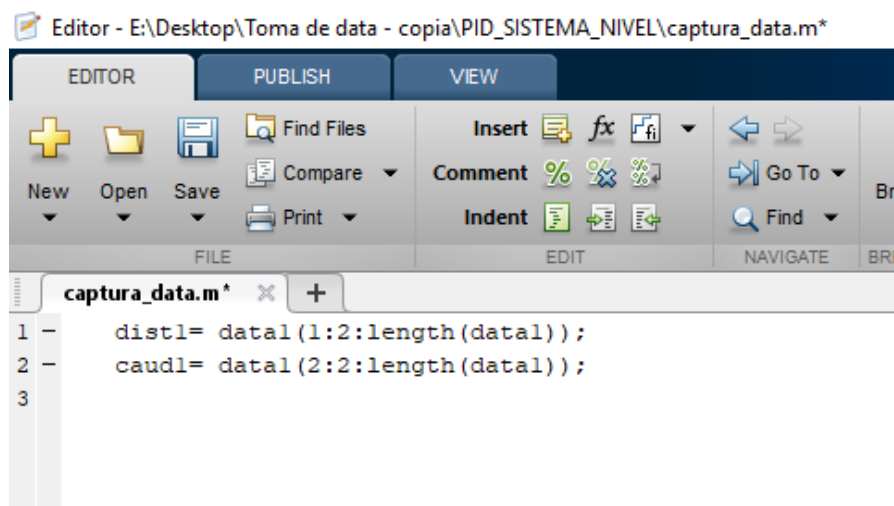


Figura 26 Carga de datos adquiridos en las diferentes pruebas.

Fuente: Autor del proyecto.

Ya teniendo un vector (*data1*) con las posiciones impares indicando la distancia (*dist1*) y el caudal (*caud1*) las posiciones pares. Procedemos a separarlos en vectores columna de igual tamaño para poder ser procesados con la herramienta de Matlab para identificación de sistemas (*ident*). Como se muestra en la figura 27.



The screenshot shows the MATLAB Editor window with the file `captura_data.m` open. The code in the editor is as follows:

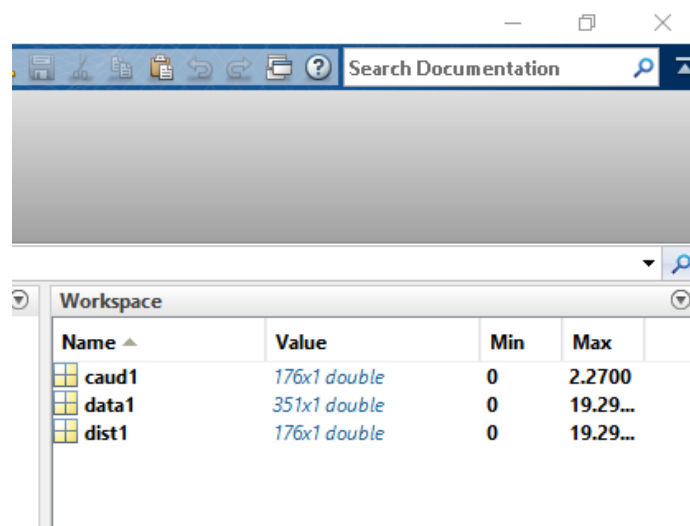
```

1 - dist1= data1(1:2:length(data1));
2 - caud1= data1(2:2:length(data1));
3

```

Figura 27 Extracción del vector posición y vector caudal de la adquisición de datos.
Fuente: Autor del proyecto.

Vectores de entrada(*dist1*) y salida(*caud1*) de nuestro sistema. Se repitió el mismo proceso para las diferentes tomas de datos. Ver figura 28



The screenshot shows the MATLAB Workspace window with the following variables:

Name	Value	Min	Max
caud1	176x1 double	0	2.2700
data1	351x1 double	0	19.29...
dist1	176x1 double	0	19.29...

Figura 28 Extracción de cada una de las pruebas de adquisición de datos.
Fuente: Autor del proyecto.

Seguidamente abrimos el entorno de Matlab (ident) y procedemos a llenar los parámetros del sistema a controlar. Figura 29.

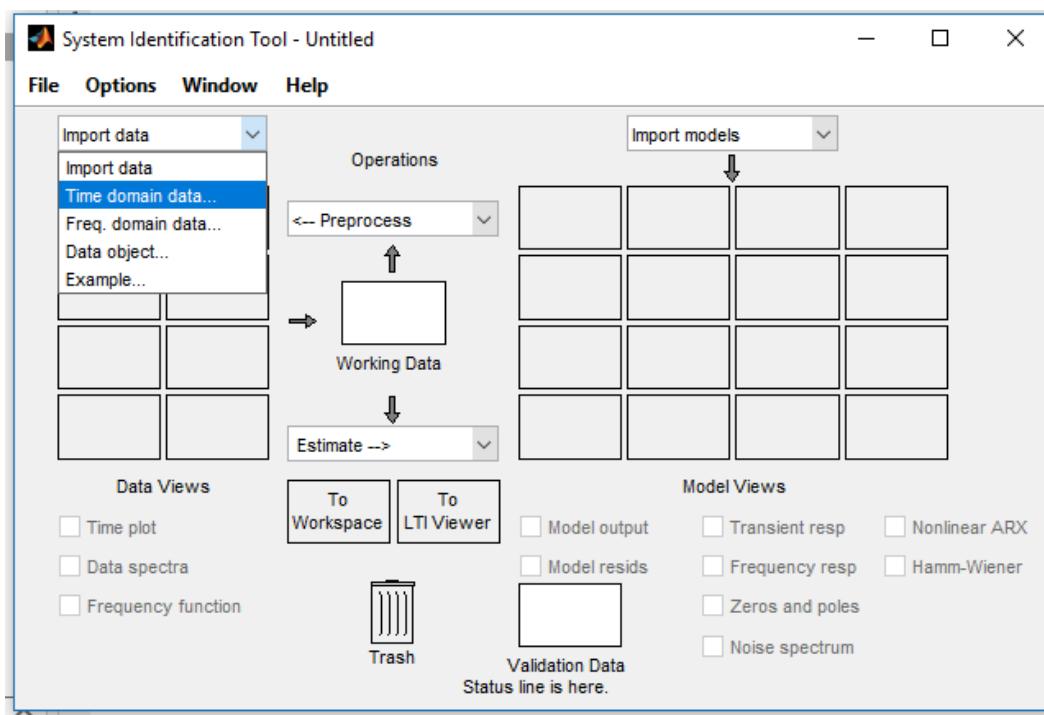


Figura 29 Llenado de parámetros a controlar.

Fuente: Autor del proyecto.

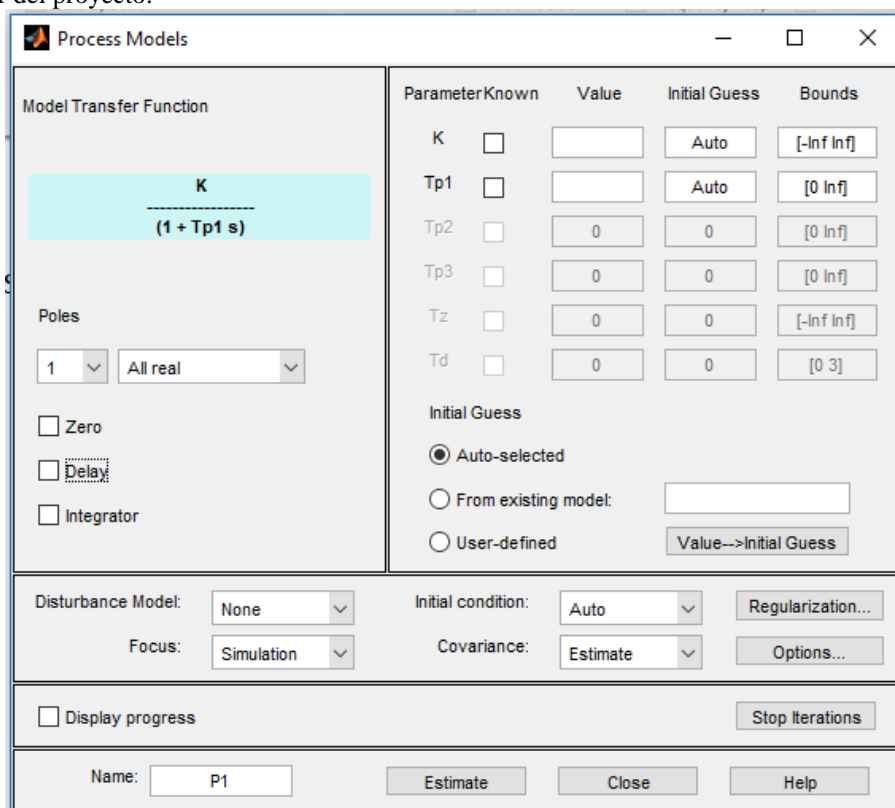


Figura 30 Llenado de parámetros a controlar.

Fuente: Autor del proyecto

Se escogió tiempo de muestreo de 0.1s, calcular el modelo del proceso de entrada y salidas de los diferentes datos como se muestran en la figura 31. Obteniendo los diferentes modelos para la ecuación de la planta.

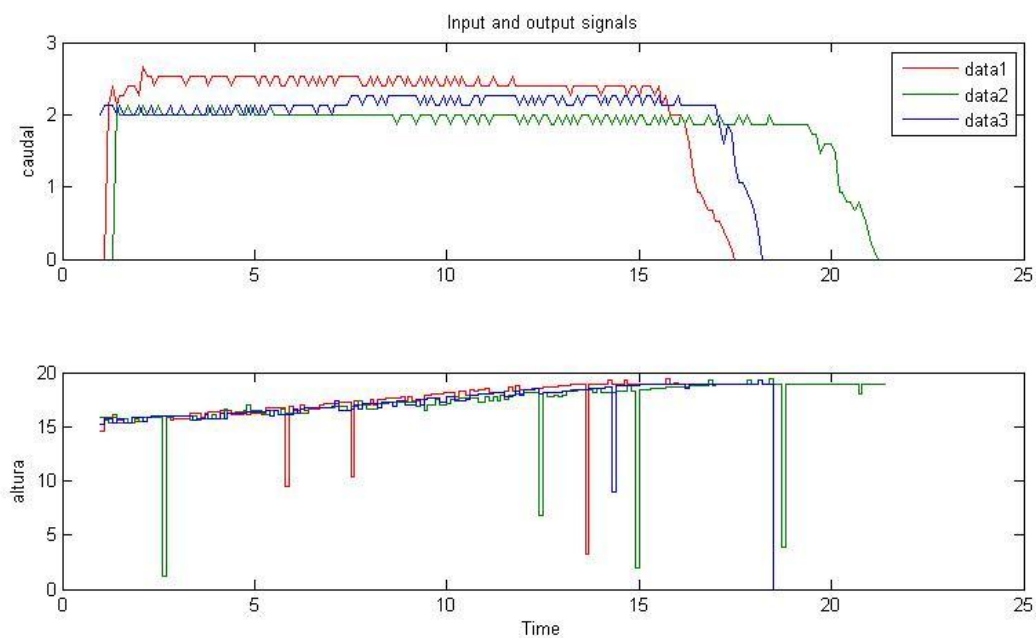


Figura 31 Entradas y salidas para diferentes tomas de datos.

Fuente: Autor del proyecto.

Una vez obtenidos los diferentes modelos, los sometemos a todas las entradas data1, data2, data3 para saber cual se aproxima más a el modelo real.

Matlab nos proporciona los datos correspondientes:

FPE (final predicción error)

MSE (error cuadrático medio) en nuestro caso usaremos este último para decidir por cual modelo vamos a usar en nuestro sistema de control.

Tabla 4. Tabla de modelos

DATOS ENTRADA	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
DATOS 1	Best fits -10,5	Best fits -20	Best fits -21.69
DATOS 2	Best fits -16.4	Best fits -3.5	Best fits -35.3
DATOS 3	Best fits -13.72	Best fits -25.8	Best fits -8.1

Fuente:autor del proyecto

Como se puede observar en la tabla anterior el modelo que tiene una menor predicción del error es el modelo 2, cuando toma los datos de la segunda toma de muestras. Como se puede ver en la siguiente figura 32.

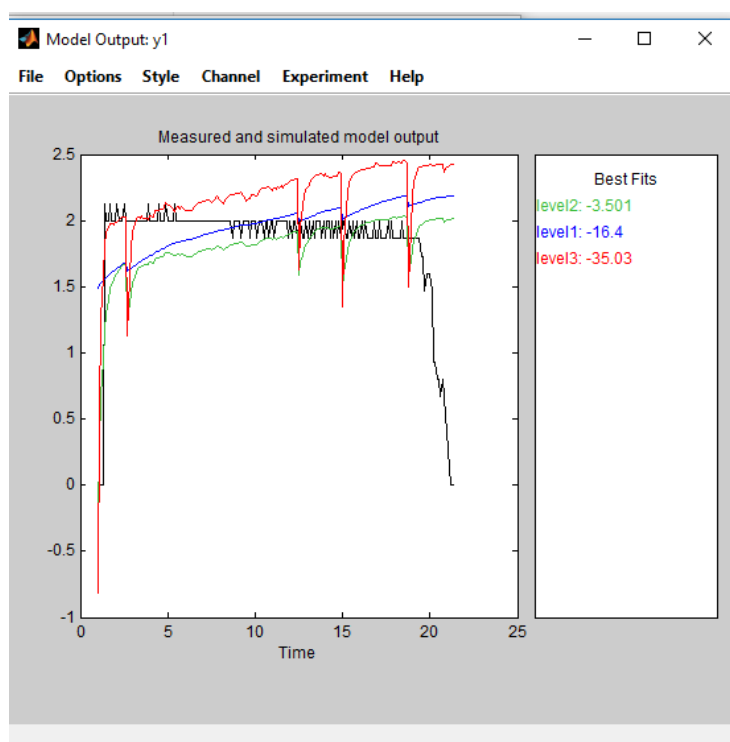


Figura 32 Modelo 2 de la adquisición de datos.

Fuente: Autor del proyecto.

- **El modelo es el siguiente:**

Process model with transfer function:

$$G(s) = \frac{Kp}{1+T_{p1} \times s} \quad (13)$$

$Kp = 0.10641$

$Tp1 = 0.30988$

Fit to estimation data: -3.636%

FPE:0.2277, MSE: 0.2244

Con la ayuda de Matlab podemos obtener rápidamente la gráfica de la función de transferencia ante una señal de entrada en lazo abierto tipo step. Figura 33 y figura 34.

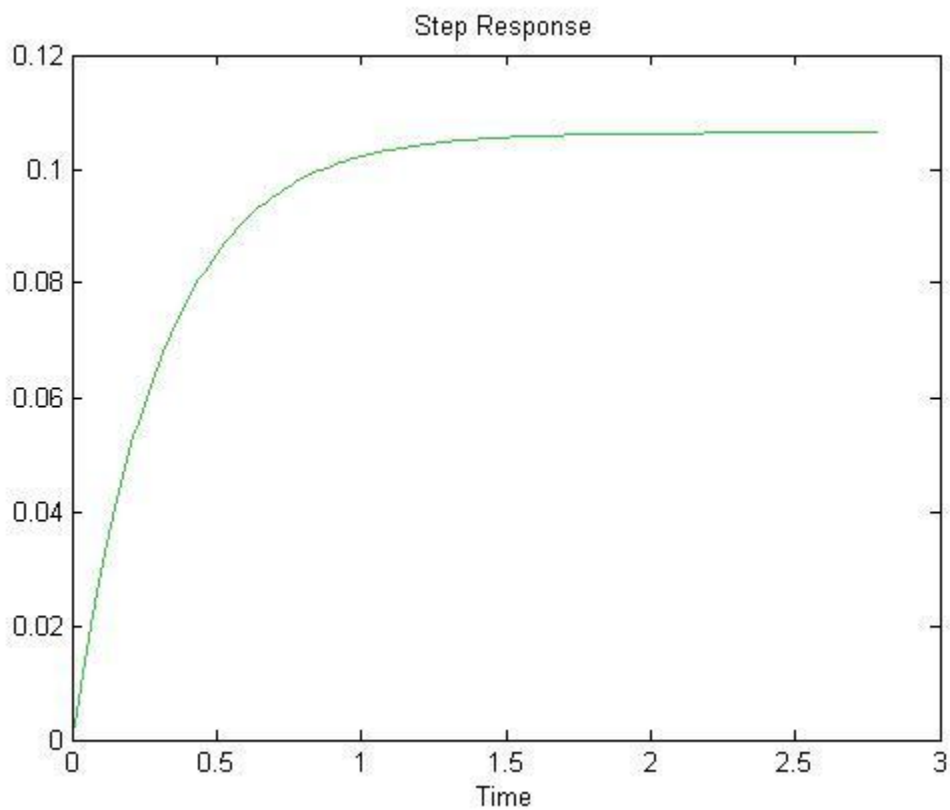


Figura 33 Grafica de respuesta para un step.

Fuente: Autor del proyecto.

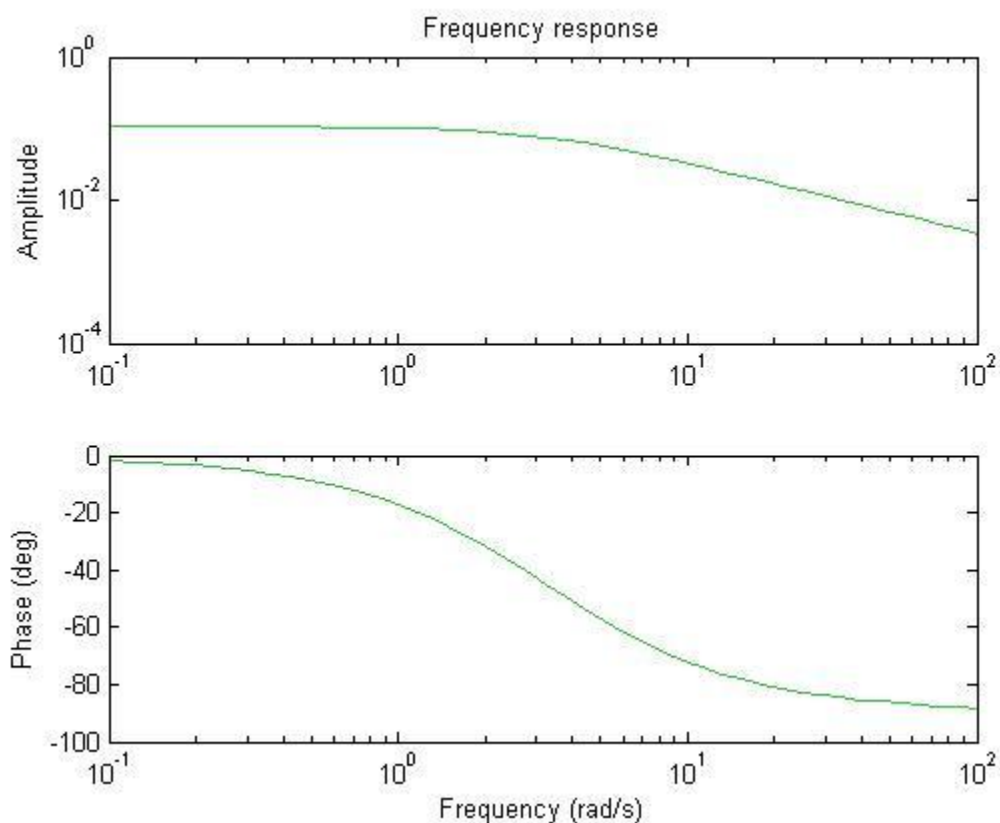


Figura 34 Respuesta en dominio de frecuencia.

Fuente: Autor del proyecto.

Comparando el modelo matemático que nos ofrece Ogatta con el obtenido con las herramientas computacionales podemos hallar el valor de las constantes en nuestro sistema de nivel de líquido.

$$G(s) = \frac{Kp}{1+0.31 \times s} \quad (14)$$

Como en la ecuación de la planta R está representada como el cambio en la diferencia de nivel en (m) sobre el cambio en la velocidad de flujo en (m³/seg)

Se puede observar que:

$R=0.11$ oposición a la salida de agua.

$C=2.92$ capacitancia del tanque.

Recordando el diagrama de bloques para control PID de una planta del libro de Ogata, tenemos:

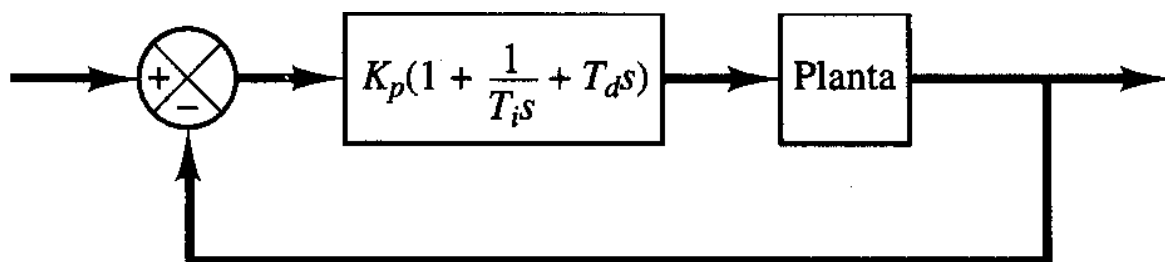


Figura 35 Diagrama de bloques para control PID.

Fuente: Ogata, Ingeniería de control moderna.

Con los criterios de diseño que se escogieron son los siguientes:

Tiempo de establecimiento de 1.5 seg.

Sobrepaso menor que 15%.

No error en estado estacionario.

Sin perturbaciones debido al error estacionario.

- Una vez obtenido el modelo a usar procederemos a diseñar nuestro sistema de control PID para la planta.

Control proporcional. Como se muestra en la figura 36

```
R=0.11; %paramametro propio del sistema
C=2.92;
num=R; %numerador ecuacion de la planta
den= [(R*c) 1];% denominador ecuacion de la planta
kp= 1.7; %constante proporcional al error
numcf=[kp]; %numerador control
dencf=[1]; %denominador control
numf=conv(numcf,num);%multiplicamos la funcion de transferencia por
denf=conv(dencf,den);% la acccion de control kp
[numc,denc]= cloop (numf,denf); %numerador y denominador lazo cerrado
t=0:0.001:0.8;
step (numc, denc, t);
```

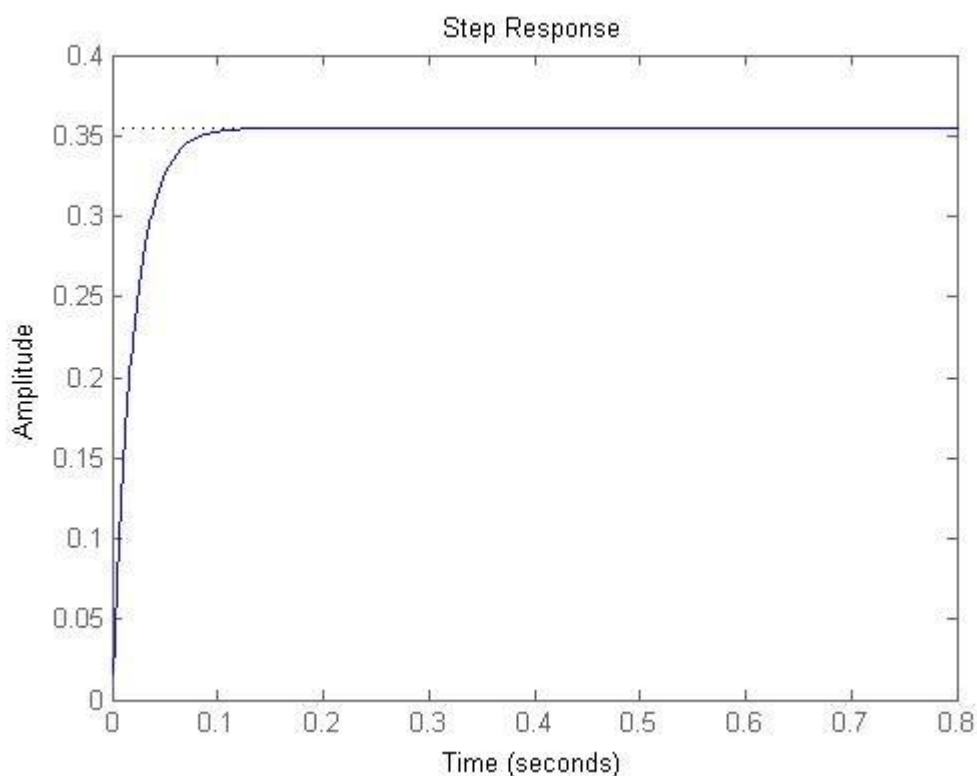


Figura 36 Grafica generada por el código en Matlab.

Fuente: Autor del proyecto.

De la figura 36 vemos que a pesar que el error de estado estacionario se vé bien, el tiempo de establecimiento es muy grande, así como el sobre pico. También vemos que el error de estado estacionario a una perturbación es grande.

Incorporando un término integral se elimina el error de estado estacionario y un término derivativo reducirá el sobre pico. Probemos primero el controlador PI para anular el error de estado estacionario a la perturbación. Como se muestra en la figura 37

```
%%controlador PI
Kp=25;
Ki=10;
numcf=[Kp Ki];
dencf=[1 0];
numf=conv(numcf,num);
denf=conv(dencf,den);
[numc,denc]=cloop(numf,denf,-1);
t=0:0.001:0.4;
step(numc,denc,t)
```

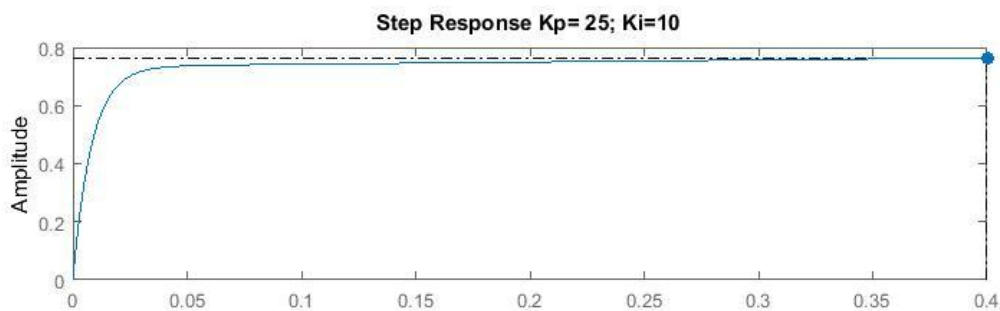


Figura 37 Grafica del código del PI.

Fuente: Autor del proyecto.

- **Sintonización de ganancias.**

Control PID sintonizado, ver figura 38.

```
Kp=25;
Ki=10;
Kd=0.15;
numcf=[Kd Kp Ki];
dencf=[1 0];
numf=conv(numcf,num);
denf=conv(dencf,den);
[numc,denc]=cloop(numf,denf,-1);
t=0:0.001:0.1;
step(numc,denc,t)
```

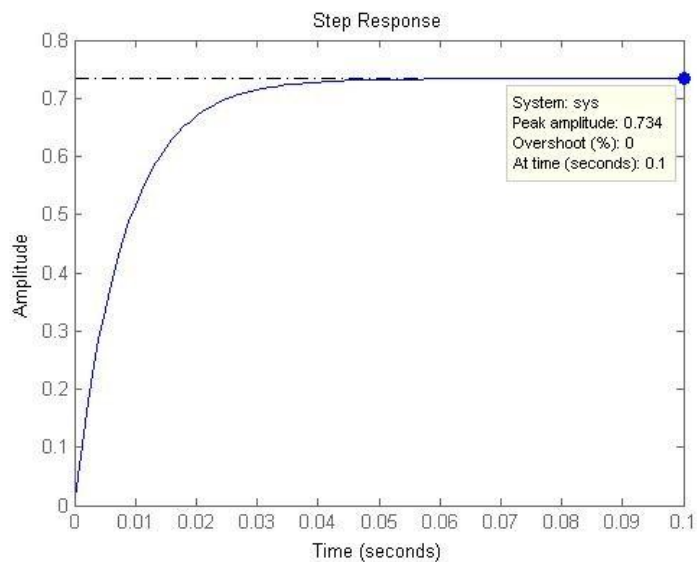


Figura 38 Grafica de sintonización de ganancias.

Fuente: Autor del proyecto.

En la figura 3 , tiene un sobre pico menor que el 16%, y el tiempo de establecimiento es cercano a los 40ms, y hay error de estado estacionario cero. Incrementemos K_i para acelerar la respuesta a la perturbación.

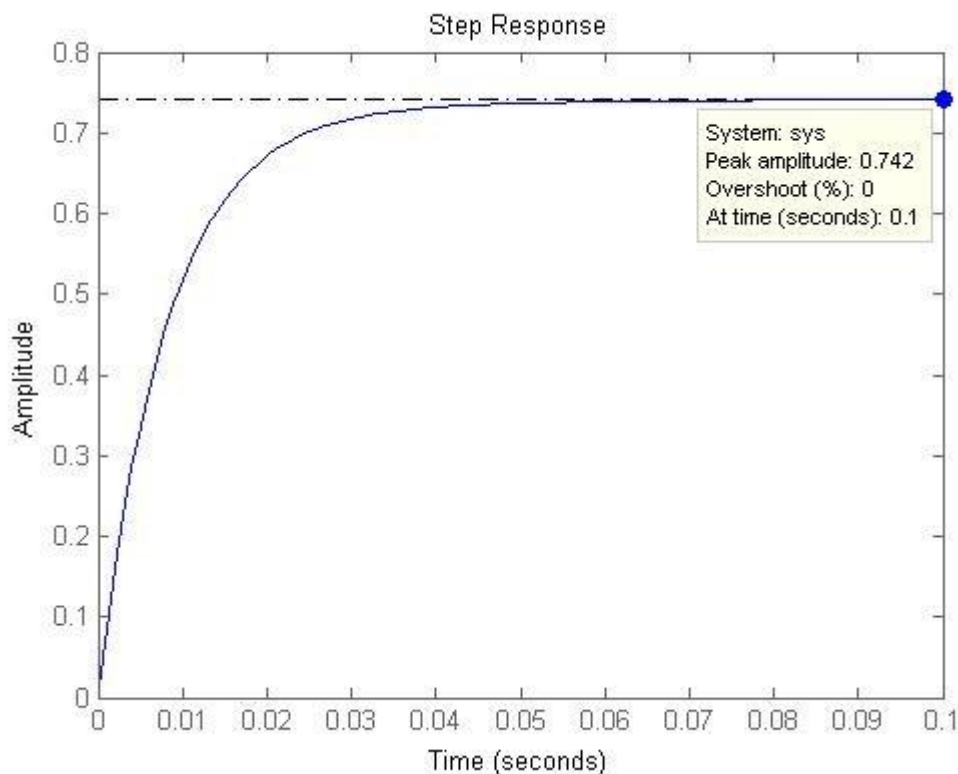


Figura 39 Amplitud vs tiempo.

Fuente: Autor del proyecto.

Así que ahora sabemos que si usamos un controlador PID con,

$$K_p=25,$$

$$K_i=10,$$

$$K_d=0.15,$$

todos nuestros requerimientos de diseño serán satisfechos.

- **Implementación del control PID en un microcontrolador.**

Como es sabido la ecuación en tiempo discreto para un controlador PID (Ogata, Katsuhiko.

Sistemas de control en tiempo discreto. Segunda edición. Pagina116. Editorial Prentice Hall.

1996.)

Puede representarse mediante la ecuación en tiempo discreto siguiente:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (15)$$

Donde:

$e(t)$ es el error de la señal.

$u(t)$ es la entrada de control del proceso.

K_p es la ganancia proporcional.

T_i es la constante de tiempo integral.

T_d es la constante de tiempo derivativa.

En el dominio de la frecuencia, el controlador PID se puede escribir según (Garcia, Eduardo. Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC. Editorial AlfaOmega. Pagina 154. 2008.)

$$U(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) E(S) \quad (16)$$

Teniendo la ecuación 16, se procede a pasarla al plano discreto con la transformación Z, (Ogata, Katsuhiko. Sistemas de control en tiempo discreto. Segunda edición. Pagina 116. Editorial Prentice Hall. 1996.)

$$U(Z) = K_p \left(1 + \frac{T}{T_i(1-z^{-1})} + T_d \frac{T_i(1-z^{-1})}{T} \right) E(Z) \quad (17)$$

La anterior función de transferencia discreta anterior también puede ser representada.

$$\frac{U(Z)}{E(Z)} = a + \frac{b}{(1-z^{-1})} + c(1-z^{-1}) \quad (18)$$

Donde:

$$a = K_p \quad (19)$$

$$b = \frac{KpT}{Ti} \quad (20)$$

$$C = \frac{KpTd}{T} \quad (21)$$

- **Diseño del controlador PID.**

La propuesta para este planteamiento es implementar un controlador PID en paralelo como lo indica la siguiente gráfica:

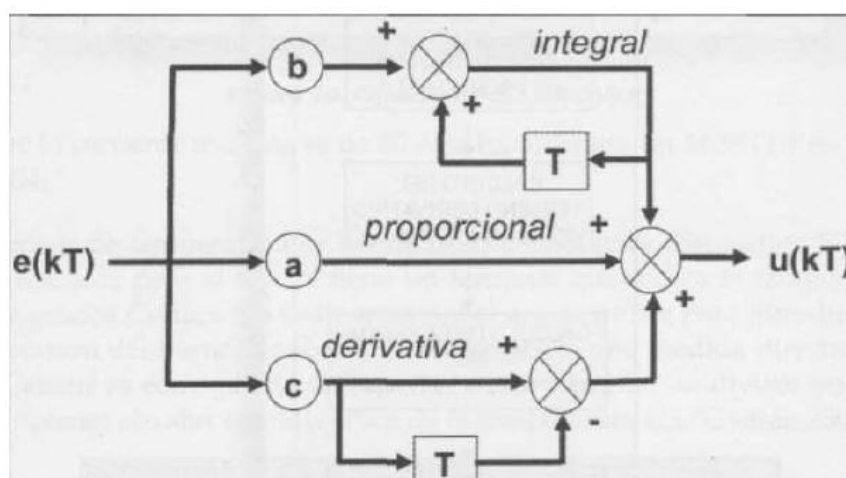


Figura 40 Diseño paralelo de controlado PID.

Fuente: Sistema de primer orden, p1-9.

- **Algoritmo de programación.**

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques para la implementación del controlador PID discretizado en un microcontrolador 18F2550 de Motorola.

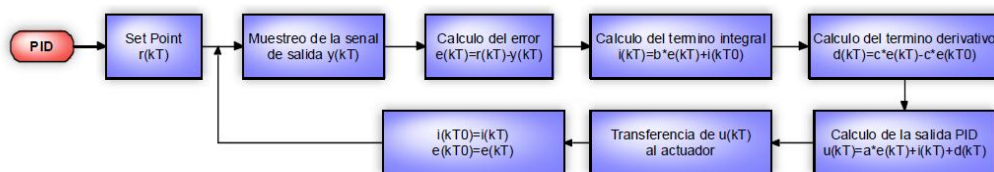


Figura 41 Algoritmo de programación de PID.

Fuente: sistema de primer orden, P1-9.

Reemplazando los valores de K_p , T_i y T_d en las ecuaciones dadas anteriormente, y estableciendo un periodo de muestreo $T=0.1s$ los parámetros del controlador discreto son:

$$a = K_p = 0.1195 \quad (22)$$

$$b = \frac{K_p T}{T_i} = 0.0062 \quad (23)$$

$$c = \frac{K_p T d}{T} = 0.6215 \quad (24)$$

Consideraciones:

1. Se requiere convertir la señal en amplitud del pulso en el sensor ultrasonido en función de la distancia y para el sensor de flujo convertiremos la señal de salida que está dada en frecuencia, mediante un conteo de pulsos para así calcular el flujo volumétrico.
2. La salida de control es una señal PWM que será luego demodulada por un control de potencia AC usando triacs.

Algoritmo del controlador PID en lenguaje (proton picbasic).

```

'*****
'* Name      : PID_SIST_NIVEL.BAS (pwm rc.2) (salida digital rb0) *
'* Author    : [MAyerly Duran] *
'* Notice    : Copyright (c) 2019 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*           : All Rights Reserved *
'* Date      : 13/01/2019 *
'* Version   : 1.0 *
'* Notes     : V1.0 *
'*           : *
'*****
' select MCU and clock speed
Device = 18F2550
Xtal = 4 ;cristal externo de 4Mz
DelayMS 200 ;setting pic

Config_Start
    FOSC= XT_XT, USBDIV=2, PLLDIV=1, VREGEN=On, PBDEN=OFF ;XTPLL_XT
    FCMEN=OFF, IESO=OFF, PWRT=On, WDT=OFF, LVP=OFF ;CPUDIV = OSC4_PLL6 ; ciclo
de reloj int 16Mz y com usb 48Mz,ciclo maquina 25uS.
Config_End

Declare CCP1_Pin PORTC.2 'SALIDA PWM DEL PIC RC2
;#####CONFIG DE LA COMUNICACION
SERIAL#####
Include "modedefs.bas" ; Comunicacion serial asincrona
TXSTA=%00100100
RCSTA=%10010000
BAUDCON.3=0

```

```

Declare Hserial_Baud 9600
;#####
;#####creo variables para sensar
;#####
Dim rango As Word ;almacena dato del sensor
Dim temp_real As Float ; calcular el tiempo del pulso
Dim distancia As Float ; variable para almacenar la dstancia real
Symbol buzzer PORTB.3 ; salida de sonido
Symbol scr PORTB.0 ; salida para bomba
Symbol trig PORTB.4 ;salida de activacion sensor
Symbol eco PORTB.2 ;entrada desde el sensor
;#####creo variables
;#####
Dim out_control As Float ;salida des controlador por PWM al drive del
motor
Dim a As Float ;variable del controlador discretizado
Dim b As Float ;variable del controlador discretizado
Dim c As Float ;variable del controlador discretizado
Dim ang_refe As Float ;angulo de referencia del controlador
Dim rt As Float ;varialbes de control PID
Dim et As Float ;varialbes de control PID
;Dim iT As Float ;varialbes de control PID
;Dim qT As Float
Dim yT As Float
;Dim uT1 As Float
Dim uT As Float
;Dim iT0 As Float
Dim eT0 As Float
;Dim nivel_max As Byte ;angulo de referencia del controlador maximo
42cm
;Dim nivel_min As Byte ;angulo de referencia del controlador minimo 10cm
;#####inicializo variables#####
;nivel_max= 42
;nivel_min= 10
;iT0=0.0
eT0=0.0
a=0.1195
b=0.0062
c=0.6215
ang_refe=16 ;14.86 ;#### altura del sistema
;#####Set Point r(kT)= 16cm
;#####registros de cfg entradas
salidas#####
TRISB=%11100110
TRISA=1
TRISC=%10111011
;////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
High buzzer
DelayMS 200
Toggle buzzer

programa:
PulseOut trig,1000,High ; pulso estado alto de 10ms a 4MHz por pin RC0
(trig)
rango= PulseIn eco,High ;entrada de la señal
temp_real = (rango*10) ;incrementos de 10 por usar cristal de 4MHz en
funcion pulsein
distancia = (temp_real/58) ;en cm
yT=distancia ;escalar la señal de salida y(kT)
rt= ang_refe ;set point

```

```

et=rt-yT; Calcular senal de error e(kT)
If et>0 Then
;iT=b*et+iT0; Calcular termino integrativo i(kT)
;qT=c*(eT-eT0);Calcular termino derivativo d(kT)
;uT1=iT+a*eT;Calcular senal de control u(kT)
;uT= uT1+qT ;Calcular senal de control u(kT)
uT=10

out_control= Abs uT ;senal de salida controlador
If out_control>255 Then ;Anti-windup
out_control=255 ;Anti-windup
EndIf
If out_control=0 Then ;Anti-windup
out_control=0 ;Anti-windup
EndIf
;hpwm 1,out_control,1000
PR2=255 ;registro del tmr2
CCPR1L= out_control
T2CON=%00000111 ;preescaler y activo tmr2
CCP1CON=%00001111 ;pwm mode
;iT0=iT ;actualizar error antepenultimo
eT0=et ;actualizar error antepenultimo
DelayMS 100 ;pausa para Tiempo de muestreo
EndIf

If et<0 Then
;iT=b*et+iT0; Calcular termino integrativo i(kT)
;qT=c*(eT-eT0);Calcular termino derivativo d(kT)
;uT1=iT+a*eT;Calcular senal de control u(kT)
;uT= uT1+qT ;Calcular senal de control u(kT)
uT=a*eT

out_control= Abs uT ;senal de salida controlador
If out_control>255 Then ;Anti-windup
out_control=255 ;Anti-windup
EndIf
If out_control=0 Then ;Anti-windu
out_control=0 ;Anti-windup
EndIf
;hpwm 1,out_control,1000
PR2=255 ;registro del tmr2
CCPR1L= out_control ;salida de control modulada por canal 2
T2CON=%00000111 ;preescaler y activo tmr2
CCP1CON=%00001111 ;pwm mode
;iT0=iT ;actualizar error antepenultimo
eT0=et ;actualizar error antepenultimo
DelayMS 100 ;pausa para Tiempo de muestreo
EndIf
GoTo programa

```

- **Diseño de la tarjeta de control a base de 18F2550.**

En la figura 42, se encuentra el diseño de la tarjeta de control que se utilizó para nuestro control de nivel.

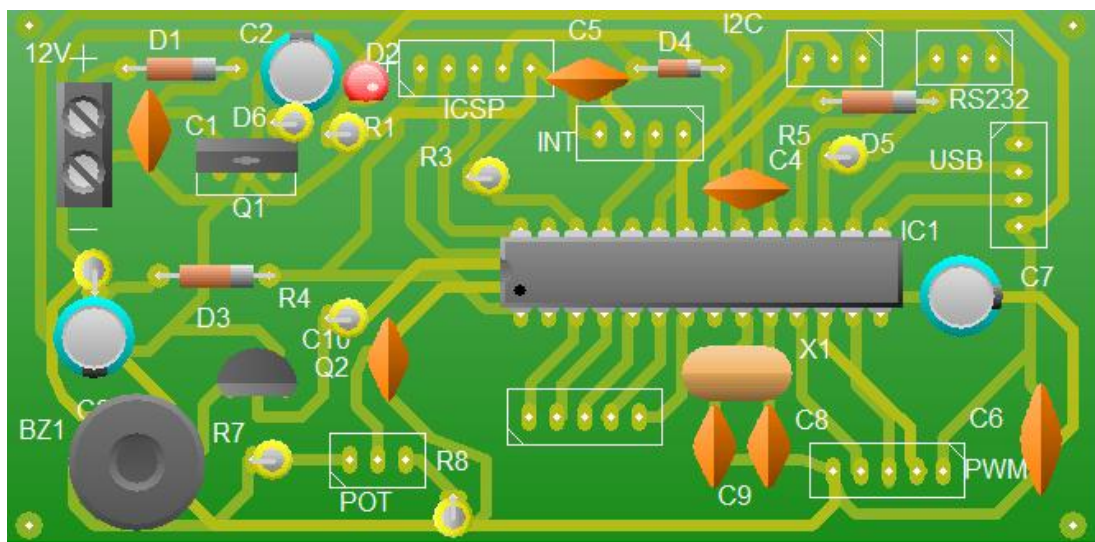


Figura 42 Tarjeta de control a la base de 18f2550.

Fuente: Autor del proyecto.

- **Control de potencia carga AC**

Una vez obtenida la señal de control modulada procederemos a realizar un algoritmo que module la señal y luego poder controlar una carga AC mediante el uso de tiristores.

En la siguiente grafica se muestra cómo se logra la detección de cruce por cero (Figura 43) de la señal AC que proviene de la red eléctrica con una frecuencia de 60Hz y 110 voltios AC.

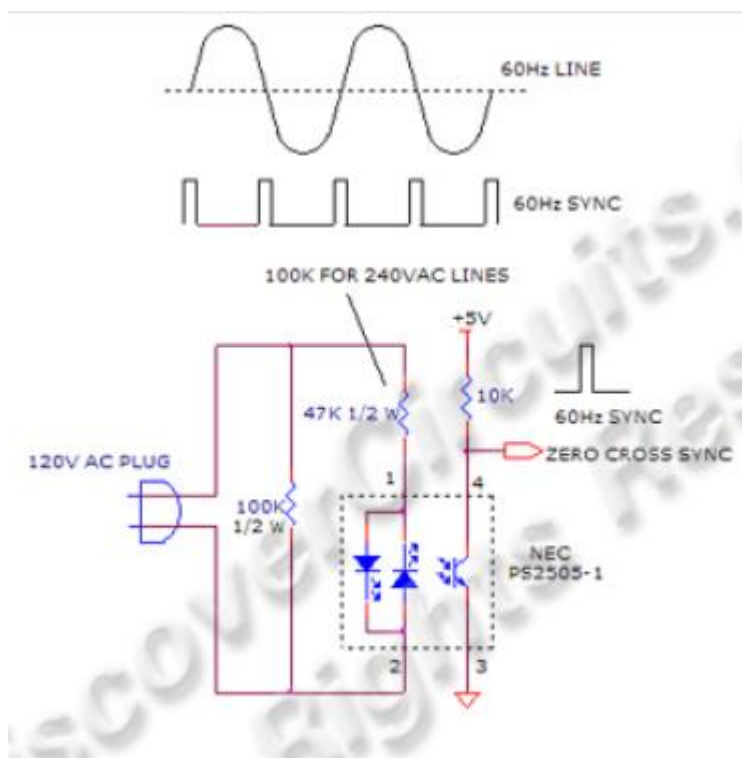


Figura 43 Grafica de cruce por cero.

Fuente: David Johnson, Zero cross detector.

La señal de detección de cruce por cero se procesa con el microcontrolador y luego a la etapa de control de potencia a base de Triac. Figura 44.

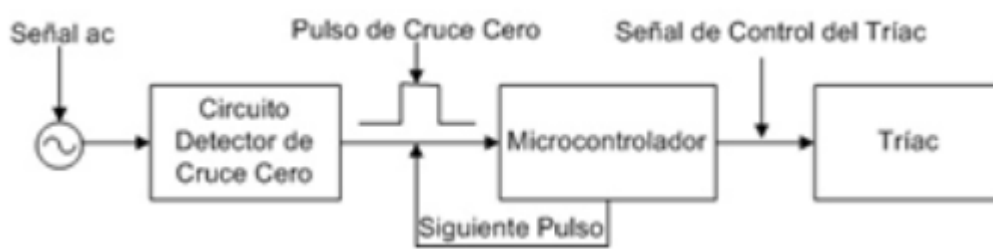


Figura 44 Etapa de control de potencia.

Fuente: Detención cruce por cero y control del ángulo disparo carga resistiva utilizando microcontrolador.

- Etapa de potencia para control de cargas AC con tiristores

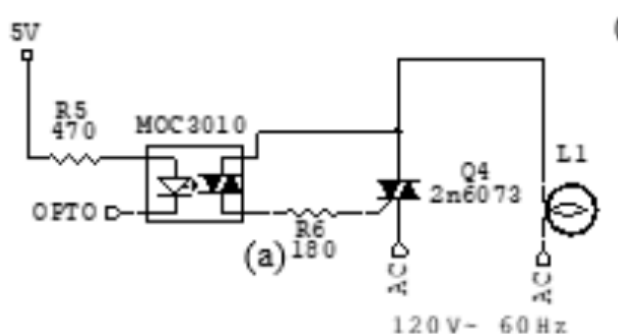


Figura 45 Etapa de potencia de cargas AC.

fuelle: Detención cruce por cero y control del ángulo disparo carga resistiva utilizando microcontrolador.

Algoritmo de control que demodular la señal PWM proveniente del control PID para ser entregada a una carga AC para control de potencia.

```

'* Name      : dimmer usart 873a.BAS
'* Author    : [Mayerly Duran]
'* Notice    : Copyright (c) 2019 [select VIEW...EDITOR OPTIONS]
'*           : All Rights Reserved
'* Date      : 18/01/2019
'* Version   : 1.0
'* Notes     : recibe dato serial y cambia potencia <36-225>
'*           : min max
'*****
Device 16F873A
Xtal 4
DelayMS 200 ; setting pic
Config XT_OSC , WDT_OFF , PWRTE_OFF , BODEN_OFF , LVP_OFF , CP_OFF ,
DEBUG_OFF
;Declare Float_Rounding = On ' Enable Floating Point Rounding

OPTION_REG=%11000100          ;PRIMERA INT ES H_L RISING
INTCON=%00010000             ;ACTIVO ZCD POR INT EN RB0
All_Digital=true             'TODOS PINES DIGITALES
;#####CONFIG DE LA COMUNICACION
SERIAL#####
;Include "modedefs.bas" ; Comunicacion serial asincrona
;TXSTA=%00100100
;RCSTA=%10010000
;Declare Hserial_Baud 9600
;SPBRG=25                    ; baudios generador
;PIE1.5=1                    'HABILI INT RECEP USART
;PIR1.5=0                    ; flag recep

```

```

;PIR1.4=0          ; flag tran
''++++++CONFIGURO ENTRADAS Y SALIDAS++++++
TRISA=%11111110
TRISB=1
TRISC=%10111011

Dim rango As Word
Dim temp_real As Float
Dim paquete As Byte      'variable que almacena dato de entrada USART
Dim flanco As Bit        ;bandera que indica el flanco del cruce por cero
Symbol pulso PORTC.4     ;variar la potencia en lampara
Symbol scr PORTC.2       ;disparo del tiristor SCR
Symbol led PORTA.0       ;indicacion de programa activo
;symbol zcd portb.0      ;entrada detector cruce por cero zcd

paquete=100
TMR0=0
flanco=0
PORTA=0
PORTB=0
High led
DelayMS 250
Toggle led

On Interrupt GoTo accion

prog:
rango= PulseIn pulso,High ;entrada de la señal PWM y almacena un byte con
la duracion del pulso.
;temp_real = (rango*10)
;HRSOut temp_real
;HRSOut "\n"
GoTo prog

Disable
accion:
;#####HANDLER DE INTERRUPCION ZCD#####
If INTCON.1 =1 Then ;¿FUE INTERRUPCION POR RB0??
INTCON.5=1 : TMR0=paquete :INTCON.2=0
  If flanco=0 Then
    flanco=1
    OPTION_REG.6=0 ;INT ES L_H RISING
  Else
    flanco=0
    OPTION_REG.6=1 ;INT ES H_L FALLING
  EndIf
INTCON.7=1 ;global interrupcion
INTCON.4=1 ;ACTIVO INTERRUPCION POR RB0
INTCON.1=0 ;ACUESTO BANDERA RB0
EndIf
;#####HANDLER DE INTERRUPCION TMR0#####
If INTCON.2=1 Then ;fue intrrupcion pot tomer0??
GoSub fire ;activar triac
INTCON.7=1 ;global interrupcion
INTCON.2=0 ;acuesto bandera de TMR0
INTCON.5=1 ;apago interrupcion por tmr0
EndIf
;#####HANDLER DE INTERRUPCION USART#####
;If PIR1.5=1 Then
;paquete= HRSIn

```

```

;INTCON.7=1  'HABILI INT GLOBALES
;INTCON.6=1  'HABILITO INT PERIFERICOS
;PIE1.5=1    'HABILI INT RECEP USART
;PIR1.5=0    ;acuesto bandera
;EndIf
Resume
GoTo prog

fire:          ;activamos el triac con un pulso
High scr
DelayUS 10
Low scr
Return

```

4.3.3.2. Control con salida a relé

Otra metodología que se utilizó fue un control temporizado, el cual se componía con un sensor de distancia HC SR04 y la distancia se media en milímetros, se utilizó la librería WPROM para almacenar el dato, esta librería permite manipular el setpoint e tiempo real desde el monitor serie o también utilizando la app (aplicación móvil) Bluetooth terminal HC-05 en la plataforma Android, los datos son manipulados en TXT, Excel o Matlab, y se envían en tiempo real a otros usuarios utilizando la aplicación WhatsApp. El código fue programado en Arduino utilizando un controlador para mantener el nivel. (Ver anexo F código)

La lógica del controlador es la siguiente figura 46:

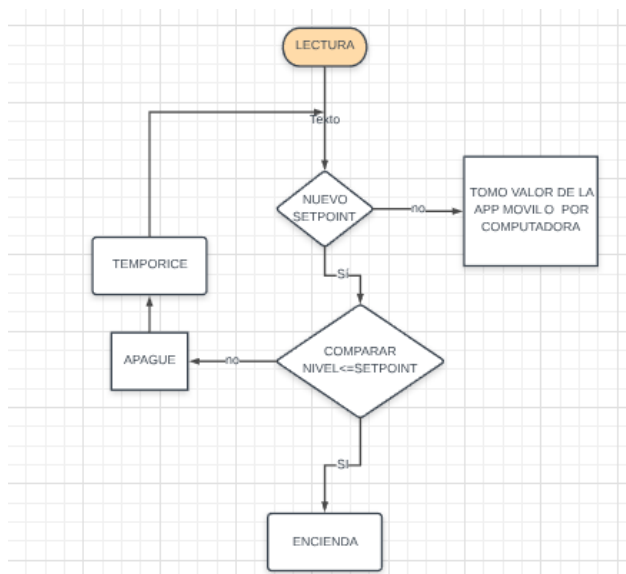


Figura 46 Diagrama de flujo del control con salida a relé.

Fuente: Autor del proyecto.

Como se muestra en la figura 47, la tarjeta tiene como función controlar el encendido y apagado de la bomba en el sistema, obedeciendo las señales que se le dan con la tarjeta arduino. El MOC ubicado en la tarjeta recibe la señal de 5v del arduino y emite un estímulo para el TRIAC el cual se encuentra conectado a 110v y cuando recibe este estímulo sirve de puente para cerrar el circuito donde se encuentra la bomba o electroválvula y hacer funcionar el componente en cuanto el arduino quita la señal el circuito se abre y deja de funcionar el componente.

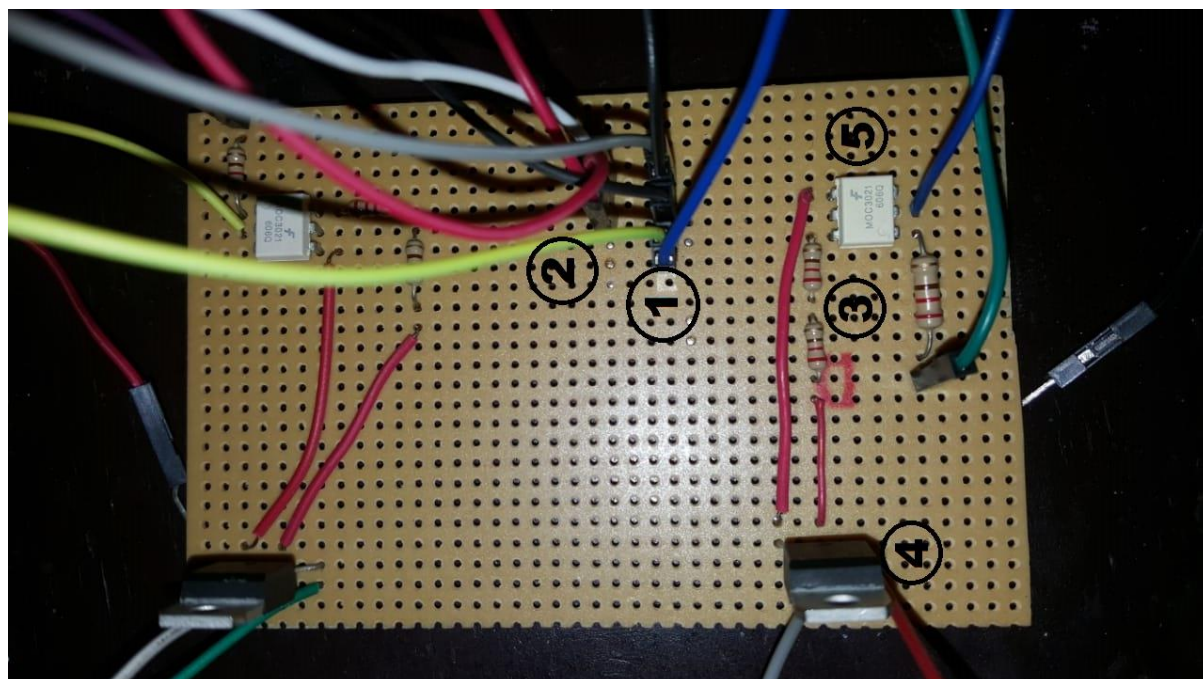


Figura 47 Etapa de potencia del control.

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 5 Elementos de la etapa de fuerza.

Elementos	Numeración
Línea a tierra	1
Línea a 5V	2
Resistencias 220 Ohm 5%	3
Thyristor TRIAC (FUERZA)	4
Optoaisladores de fase aleatoria DIP 6 pines Triac Drive Output (CONTROL)	5

Fuente: Autor del proyecto.

Para este controlador se utilizó un sensor de ultrasonido HC-SR04, para poder controlar el nivel requerido de nuestro sistema. En la figura 48, se encuentra el arduino con el sensor.

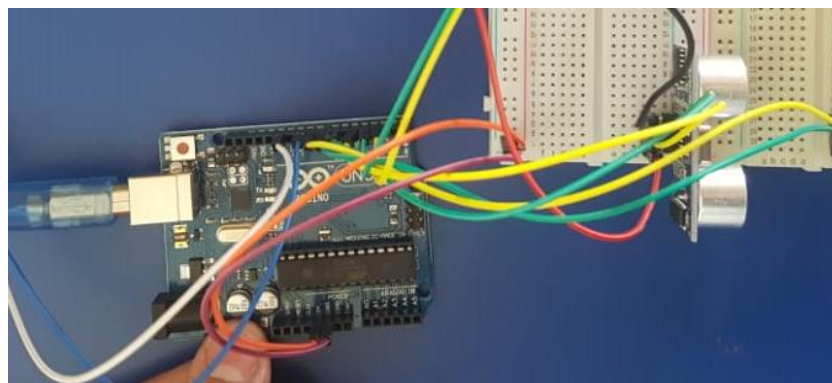


Figura 48 Arduino y sensor de ultrasonido.

Fuente: Autor del proyecto.

En la figura 49, se muestra la plataforma Android bluetooth terminal HC-05, para que nuestro setpoint sea controlado de nuestro celular.

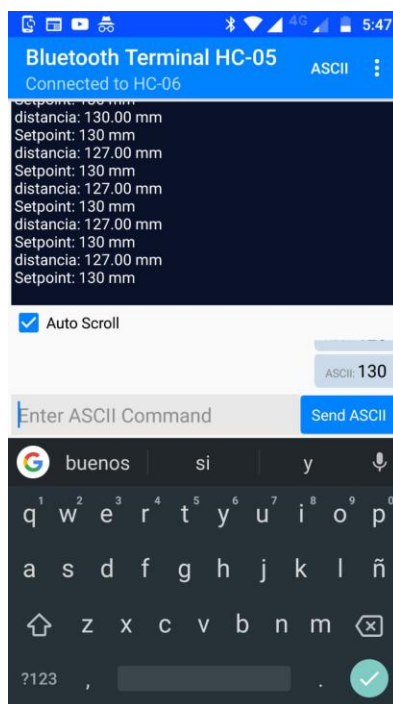


Figura 49 Plataforma Android Bluetooth Terminal HC-05.

Fuente: Autor del proyecto.

4.3.3.2.1. Inteligencia artificial para casos de derramamiento de agua.

Algunos materiales son reusados y reciclables los cuales debido a su uso se deforman estructuralmente y con el tiempo pueden fallar, para casos de derramamiento se implementa un algoritmo de optimización utilizados en operación de redes inteligentes.

4.3.3.2.1.1. Selección del algoritmo:

En la competencia 2017 llamada “Evaluación del rendimiento de los optimizadores heurísticos modernos en problemas de operación de redes inteligentes”, se resolvió el caso llamado “Programación óptima de recursos energéticos distribuidos” donde se presentaron tres algoritmos, tabla 6:

1. Primer puesto: **VNS** Variable Neighborhood Search (Búsqueda de vecindario variable). (Macedo & Ortega-Vazquez, 2017)
2. Segundo puesto: **Modified CBBO**, Modified Chaotic Biogeography-based Optimisation (Optimización basada en biogeografía caótica modificada).(Sergio Rivera, Camilo Cortés, Alejandra Guzman, n.d.)
3. Tercer puesto: **CEEPSO**, Cross entropy method and evolutionary particle swarm optimization (Método de entropía cruzada y optimización de enjambres de partículas evolutivas.).(Carvalho et al., n.d.)

Tabla 6 Comparación de los tres algoritmos de la competencia.

VNS	Modified CBBO	CEEPSO
<ul style="list-style-type: none"> • Ampliamente utilizado para resolver problemas en la investigación de operaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de la distribución geográfica en organismos biológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Combinación de dos métodos de optimización. - Método de exploración cruzada (CE) para la

<ul style="list-style-type: none"> • Casi no se aplica a problemas de sistemas de energía. • No requiere definir parámetros. <ul style="list-style-type: none"> - Tamaño de la población - Tasa de mutación • No requiere ajustar el algoritmo a cada instancia del problema. • Fácil de implementar y entender. 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de idoneidad del hábitat para el caso de emigración de aves. • Variables del índice de idoneidad como la lluvia, la topografía, diversidad de vegeta, etc. • Requiere ajustar algunas variables de acuerdo al problema. 	<p>exploración.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optimización de enjambres de partículas evolutivas (EPSO) para explotación. <ul style="list-style-type: none"> • Se ajustaron los parámetros de EPSO utilizando una optimización iterativa proceso basado en un 2^2 diseño factorial
---	--	---

Fuente: Autor del proyecto.

En la tabla 6, se muestra las características de cada uno de los algoritmos que se presentaron en la competencia, a base de esto, se trabajó en un algoritmo VNS, para nuestro sistema.

4.3.3.2.1.2. Implementación del algoritmo VNS.

- **Función objetivo:** en el sistema acuapónico hay dos niveles de referencia, el primero para el nivel de agua en las botellas donde se encuentran las plántulas, y el segundo en el tanque de almacenamiento donde están las tilapias. Como se muestra en la figura 50.

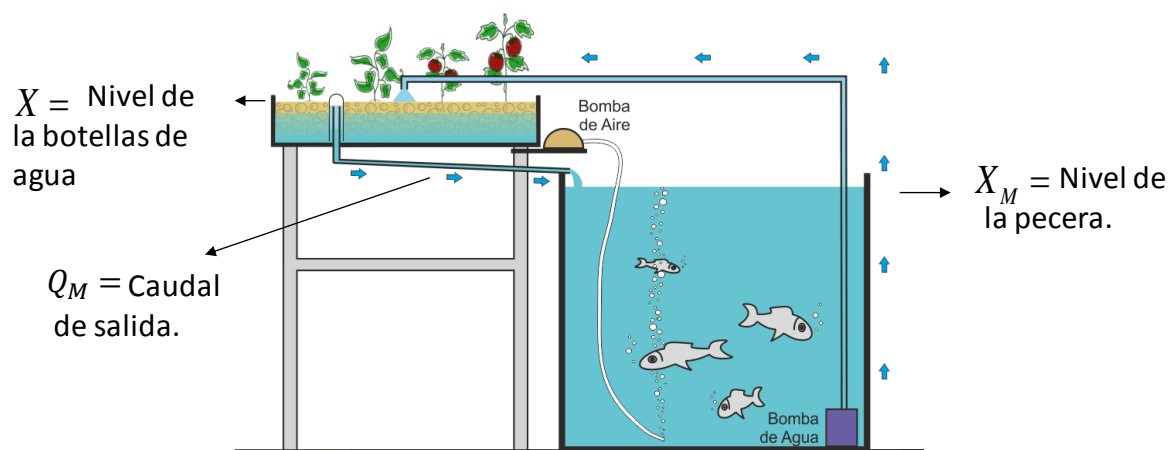


Figura 50 Niveles del sistema de huerta.

Fuente: Autor del proyecto.

El control temporizado que se diseñó mantiene el nivel de las botellas, sin embargo, para el caso de derramamiento se analizaron dos casos:

$$\text{Caso 1:} \quad X_M^{i-1} > X_M^i \quad (25)$$

Donde:

X representa la lectura.

i hace referencia al tiempo presente.

$i - 1$ hace referencia al tiempo anterior.

M hace referencia al promedio de medidas en un intervalo de tiempo.

La ecuación 25 , representa que la medida del tiempo anterior es superior a la medida del tiempo presente, lo que quiere decir, que el nivel de la pecera está bajando, y en este caso se presenta el derramamiento.

$$\text{Caso 2.} \quad X_M^{i-1} < X_M^i \quad (26)$$

El caso 2 indica que el nivel de la pecera está subiendo, lo cual se puede dar por las siguientes razones:

- a. Agregar agua a la pecera
- b. Que el nivel de las botellas este bajando

Como este caso no es contemplado para los derramamientos, no se tiene en cuenta.

- Según el criterio del caso 1, el punto de referencia siempre baja, para garantizar la oxigenación de los peces se utiliza como criterio el caudal a la salida, por lo que es ideal que el caudal Q_M^i sea lo más grande posible.

- **Nivel de incertidumbre de las medidas.**

Los sensores presentan errores por precisión (temperatura, ángulo) y por fluctuaciones en el nivel del agua. Para bajar minimizar la incertidumbre de las mediciones se realiza sumatorias en intervalos de tiempo cada 4 minutos y 38 segundos, como se muestra en las ecuaciones 27,28 y 29

$$X_M^{i-1} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M=255} X_m^{i-1} (m, i - 1) \quad (27)$$

$$X_M^i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M=255} X_m^i (m, i) \quad (28)$$

$$Q_M^i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M=255} Q_m^i (m, i) \quad (29)$$

Los organismos inteligentes toman las decisiones de acuerdo con un criterio el cual puede ser representado a partir de una función. Como se muestra en la figura 51, acorde con la superficie de la función, una buena decisión se puede representar con un máximo local, la mejor decisión con un máximo global, hay incertidumbre y funciones discontinuas, es decir, entradas en donde no existe salida.

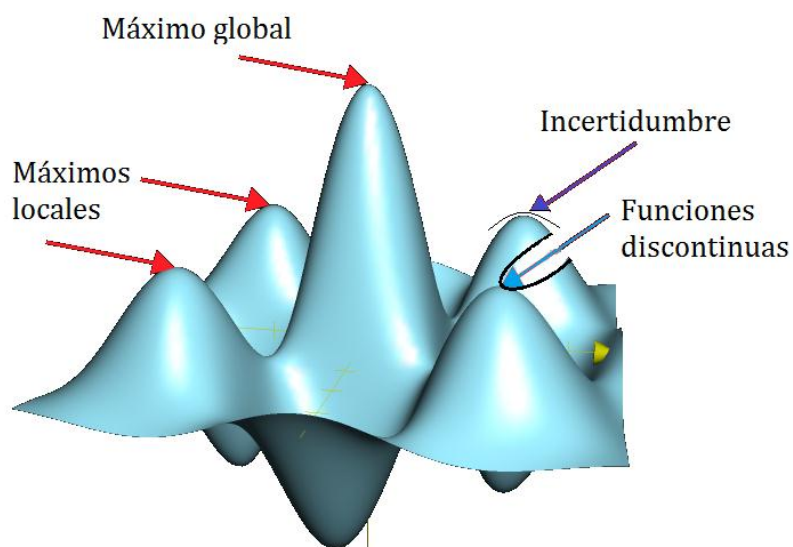


Figura 51 Función de optimización.

Fuente: García et. al , 2018

La ventaja del método es que no es necesario caracterizar el sistema debido a que las variables medidas proporcionan medidas de la superficie de respuesta.

La función objetivo a minimizar es:

$$F(x) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M=255} (X_m^{i-1}(m, i - 1) - X_m^i(m, i) - Q_m^i(m, i)) \quad (30)$$

Donde:

\mathbf{x} variable independiente que representa el punto de referencia del nivel de las botellas.

El valor máximo de \mathbf{x} , debe garantizar que no haya derramamientos, en este caso los peces se mueren por falta de agua, el valor mínimo de \mathbf{x} , se define para que las plantas no se

deshidratan, y el rango de operación entre estos dos niveles permiten un desarrollo adecuado de los microorganismos.

El código para el algoritmo VNS que se utilizó es el siguiente, como se muestra en la figura 52:

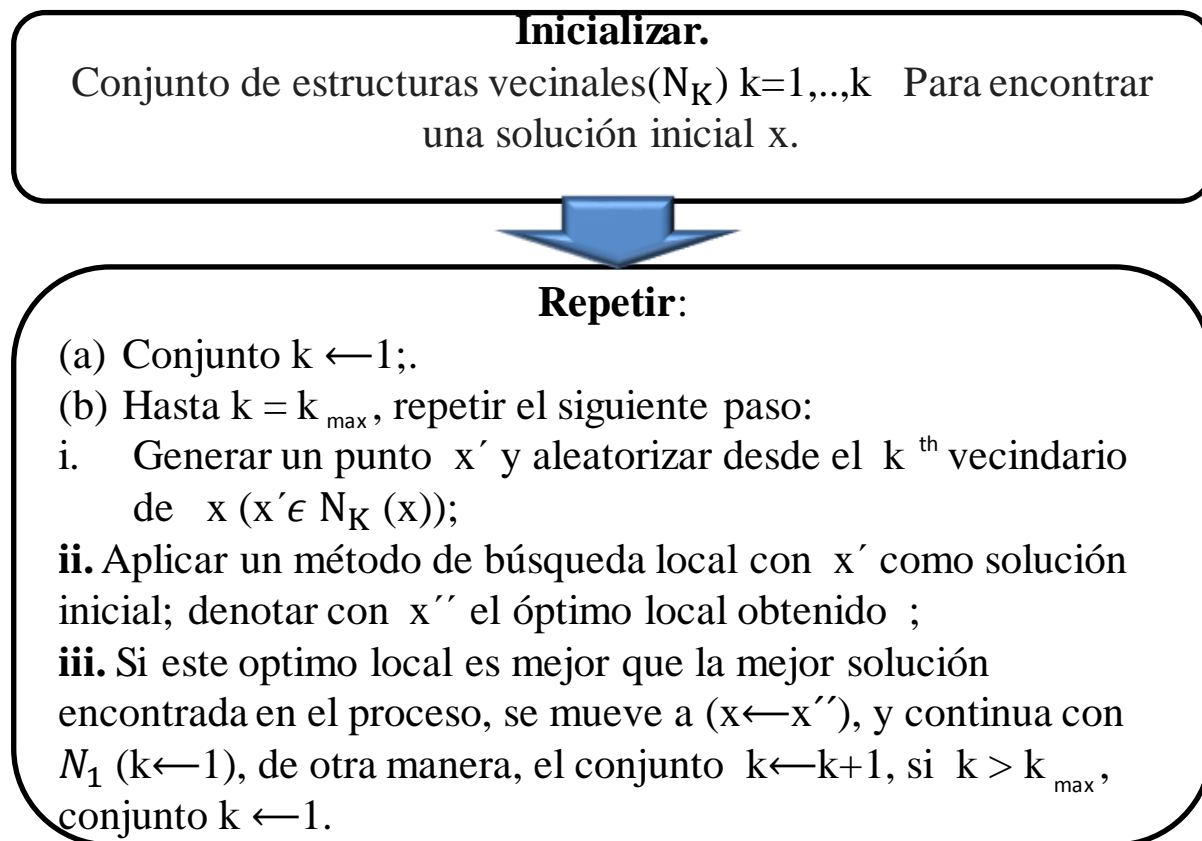


Figura 52 Código VNS

Fuente: Vargas Fortes, et. al, (2018).

Para mayor información de la implementación del algoritmo VNS en arduino ver anexo G tal.

- Para evitar falsos positivos debido a errores de precisión se utilizó una tolerancia de 0.3cm, ver figura 53.

```

    if(fobjetivoc-0.3>0){ // En caso de falsos positivos
    int setpoint = optimizacion( xmin, xmax);
    setpoint = setpoint/100;
    Serial.print(setpoint); // Función objetivo
    Serial.println(" Nuevo setpoint");
    }
  
```

Figura 53 Código de tolerancia para los falsos positivos.

Fuente: Autor del proyecto.

- Para cargar los datos desde el celular se utilizó la memoria EEPROM de arduino como se muestra en la figura 54.

```

int setpoint;
EEPROM[ 2 ] = Serial.parseInt (); // lee int o parseFloat para ..float ...
if(EEPROM[ 2 ] == 0){
  //Serial.println (setpoint);
  if(EEPROM[ 3 ] != 1){
    EEPROM[ 1 ]=130;
  }
  EEPROM[ 3 ] = 1;
}else {
  EEPROM[ 1 ]=EEPROM[ 2 ];}
setpoint=EEPROM[ 1 ];

```

Figura 54 Código de la memoria EEPROM

Fuente: Autor del proyecto.

4.4. FASE IV: Construcción de filtros para la huerta.

Para dar cumplimiento al último objetivo de este proyecto se estudió y se construyó filtros para mantener todo el sistema equilibrado.

4.4.1. Determinación de los tipos de filtros necesarios

- **Filtro por gravedad**
- **Filtro con medio poroso**
- **Biofiltro**

4.4.2. Diseño en el Software Soliworks de los filtros.

Las siguientes imágenes muestran el diseño de un filtro en posición vertical con un medio poroso, el cual se implementó para la limpieza del agua después de hacer todo el recorrido del sistema, este ayude a limpiar el agua antes de que llegue nuevamente a la pecera. Esto ayudara a la limpieza del sistema, y a la buena producción de los peces. Como se muestran en las siguientes figuras: Figura 55, figura 56 y figura 57.

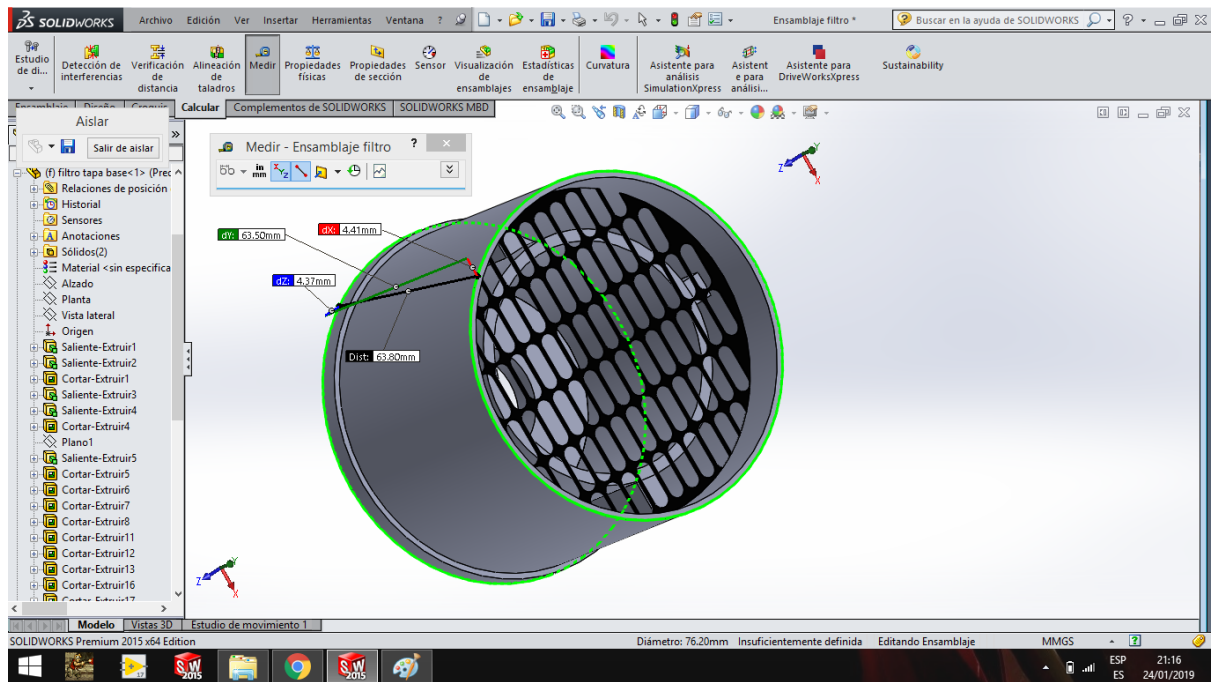


Figura 55 Diseño de la tapa de entrada y salida del filtro con medio poroso.

Fuente: Autor del proyecto.

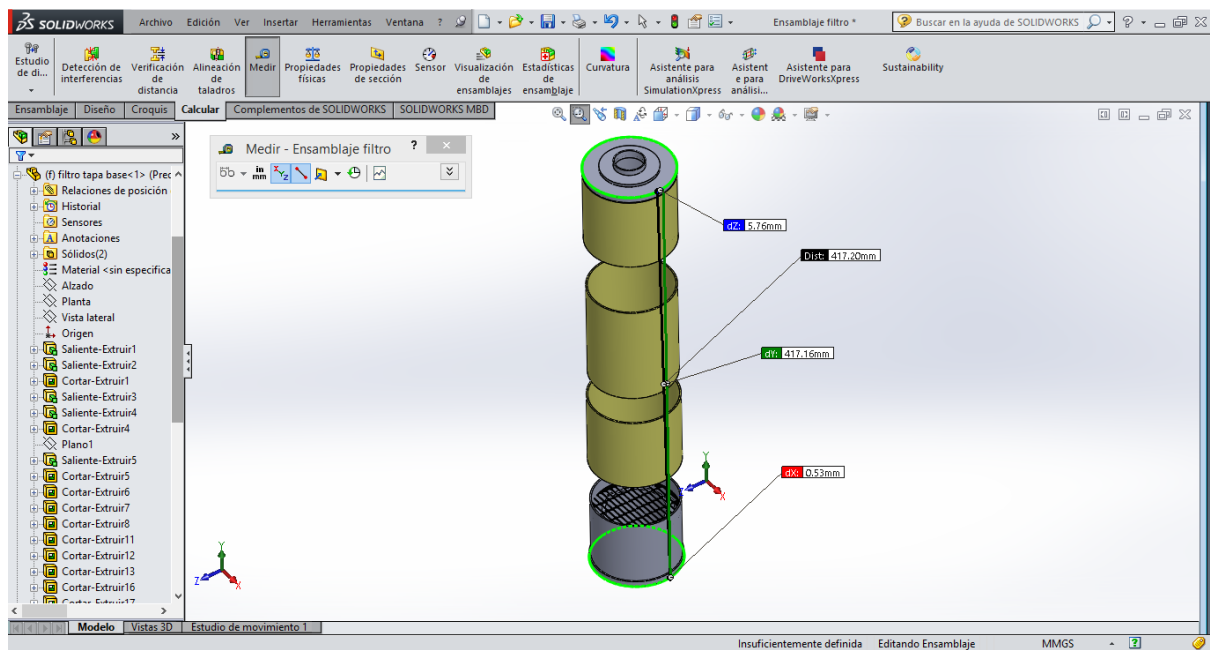


Figura 56 Diseño en Solidworks del filtro con medio poroso.

Fuente: Autor del proyecto.

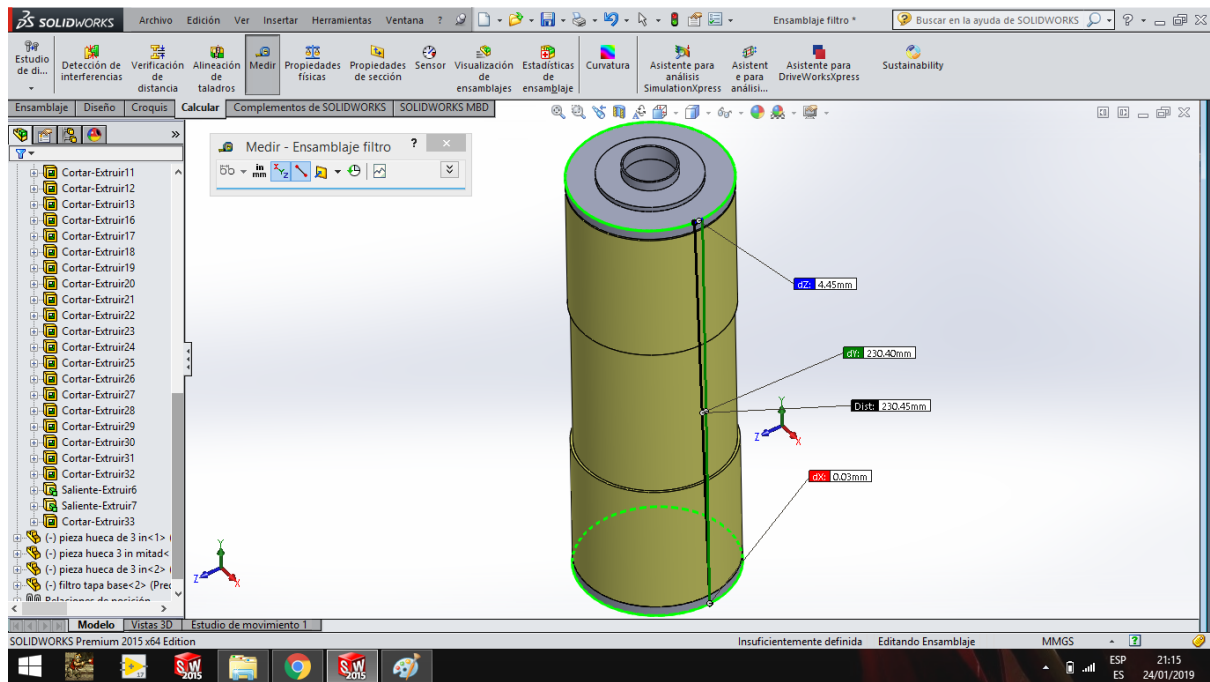


Figura 57 Filtro con medio poroso.

Fuente: Autor del proyecto.

Para el diseño del filtro por gravedad, se reutilizo una botella plástica de 3 litros y se adecuó los tubos de salida y de entrada en el sistema, como se muestra en la figura 58,

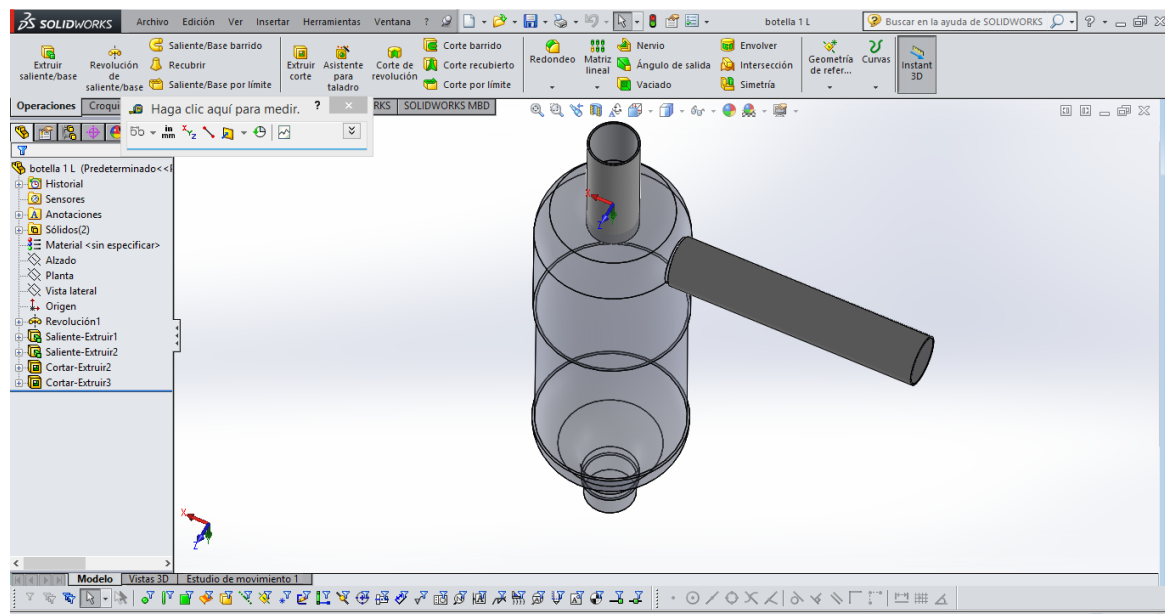


Figura 58 Diseño en Solidworks del filtro por gravedad.

Fuente: Autor del proyecto.

4.4.3. Construcción de los filtros necesarios

4.4.3.1 Filtro de gravedad

Para el filtro de gravedad se construyó con una botella plástica, como se puede ver en la figura 59.



Figura 59 Filtro por gravedad.
Fuente: Autor del proyecto.

➤ Cálculos del filtro por gravedad

En la figura 60, se muestra el diagrama libre de fuerzas del filtro de gravedad.

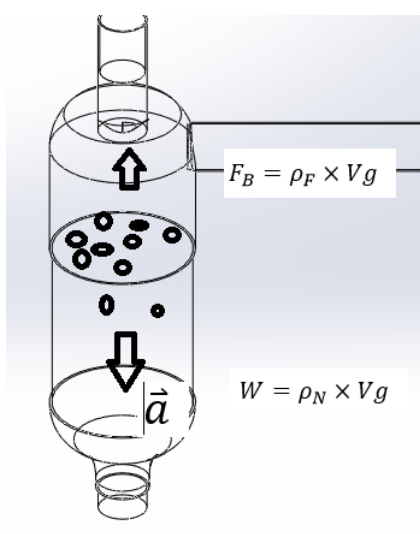


Figura 60 Dibujo libre de fuerzas para el filtro de gravedad.
Fuente: Autor del proyecto.

$$V_{inicial} = 0$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (31)$$

$$V_{final} = ?$$

$$a = \frac{V_{final} - V_{inicial}}{t} \quad (32)$$

$$at = X_f - X_i \quad (33)$$

$$t_i = 0 \quad \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{at^2}{2} = X_f - X_i \quad (34)$$

$$a = \frac{2X_f}{t^2} \quad (35)$$

Entonces la aceleración de caída de los nutrientes es:

$$X_f = 0.06 \text{ m}$$

$$t = 2 \text{ seg}$$

$$a = -\frac{2 \times 0.06}{2^2} \quad (36)$$

$$a = -0.03 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \quad (37)$$

➤ Balance de fuerzas.

$$\rho_F \times Vg = \rho_N \times Vg + \rho_N \times V \times a \quad (38)$$

ρ_F = densidad del fluido.

ρ_N = densidad de los nutrientes.

a = aceleración de caída de los nutrientes.

V= volumen de los nutrientes.

$$\rho_F \times g = \rho_N(\bar{a} + \bar{g}) \quad (39)$$

$$\rho_N = \rho_F \times \frac{\bar{g}}{\bar{a} + \bar{g}} \quad (40)$$

$$\rho_N = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times \frac{9.81}{-0.03 + 9.81} \quad (41)$$

$$\rho_N = 1003 \frac{Kg}{m^3} \text{ densidad de los nutrientes} \quad (42)$$

4.4.3.2 Filtro con medio poroso.

Teniendo en cuenta el diseño del filtro en Soliworks, se construyó de la siguiente manera: los materiales que se utilizaron figura 56, para este fueron 2 reducidos de 3 pulg a 2 pulgadas, 2 reducidos de 2 pulg a 1/2 pulg, y nuestro medio poroso son piedras de diferentes tamaños. Y se colocó una malla en la entrada y en la salida del filtro, como se muestra en la figura 61.



Figura 61 Materiales para el filtro con medio poroso.
Fuente: Autor del proyecto.

En la figura 62, se encuentra el medio poroso que se utilizó, y en la figura 63, la malla que se colocó en los dos extremos del filtro.



Figura 62 Medio poroso utilizado.

Fuente: Autor del proyecto.



Figura 63 Malla del filtro del medio poroso.

Fuente: Autor del proyecto.



Figura 64 Construcción del filtro con medio poroso.

Fuente: Autor del proyecto.

4.4.3.3 Modelo matemático para el filtro con medio poroso.

El estudio se realiza en dos etapas, se plantea un modelo numérico el cual se muestra los perfiles de presión y velocidad de acuerdo a otra investigación de la misma autora del proyecto el cual fue adaptado para el filtro con medio poroso, y se establece un análisis experimental para caracterizar el filtro poroso.

Se tomaron los siguientes supuestos, generalmente adoptados para modelos de filtros con medios porosos:

- El medio poroso es saturado por el fluido, es decir, la saturación con respecto a un fluido se define cuando el fluido desplaza todo el aire que se encuentra en el medio poroso.
- El fluido es incompresible, ya que su densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo. Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado sobre el curso de su movimiento cuando el flujo o el

fluido es incompresible. En esencia, las densidades de los líquidos son constantes y así el de ellos es típicamente incompresible.

- Una matriz solida permanece en reposo durante el proceso de flujo de fluido, la cual es estacionaria y no cambia en ninguno de sus puntos.
- La masa del fluido se conserva, sin embargo, no sufre deformación por esfuerzos cortantes en toda su trayectoria.
- La velocidad de las partículas del fluido cumple con la Ley de Darcy, esta consiste en estudiar las propiedades de un flujo de agua a través de un lecho granular variando la longitud de la muestra y la presión del agua en los planos superficial e inferior.

Los medios continuos se modelan atenuando la derivada del tiempo y añadiendo un término.

La ecuación de Navier-Stokes, (1) se realiza con dos balances, utilizando uno de la conservación general de cantidad de movimiento lineal y utilizando un balance de masa con el que se obtiene la ecuación de continuidad. Para un flujo en estado estable e incompresible, se cancelan los términos mostrados, despreciando la gravedad.

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_{ij}}{\partial x_j^2} + S_i + \rho g \hat{k} \quad (43)$$

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (44)$$

Por lo que la ecuación se reduce.

$$u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_i \quad (45)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (46)$$

- Término transitorio; derivada local, representa la variación de la velocidad con respecto al tiempo.
- Término advectivo; representa el transporte de partículas de fluidos debido a los cambios de velocidad en la dirección del fluido
- Cambio de presión; fuerza de presión impulsora del fluido
- Matriz de esfuerzos cortantes del fluido
- Pérdidas viscosas y pérdidas debidos a esfuerzos inerciales

La velocidad en el medio poroso se calcula utilizando la Ley de Darcy, que es ampliamente usada para flujos laminares, la conductividad hidráulica se determinó experimentalmente diseñando un filtro construido para este propósito [3].

$$\underline{U} \equiv \varepsilon \underline{v} = -\frac{1}{\mu} k \cdot (\nabla p - \rho \underline{g}) \quad (47)$$

Se utilizó el software openFOAM , es un software libre que permite simular fenómenos de mecánica de fluidos, utilizando el método de volúmenes finitos. Los métodos que se utilizaron fueron:

➤ **Métodos de Gauss-Seidel**

Son procedimientos iterativos para resolver simultáneamente ecuaciones no lineales. Tanto Gauss como Gauss-Seidel implican la formulación:

$X = F(x)$ y la fórmula iterativa

$X^{(n+1)} = F(x^{(n)})$

En Gauss se calculan los nuevos valores de $x^{(n+1)}$ a partir de los $x^{(n)}$ obtenida en la iteración anterior.

En Gauss-Seidel, los valores obtenidos son utilizados inmediatamente después de haber sido calculados aunque no haya terminado la iteración en curso (mayor rapidez, suele llamarse Gauss-Seidel con actualización de variables). (“Gauss Seidel,” n.d.)

➤ **Metodo simple: algoritmo simple.**

La estructura de algoritmo simple esta compuesta de dos partes basicamente; la suposicion de un campo de presiones que facilita la obtencion de una distribucion de velocidades y la correccion de estas distribuciones cumpliendo con la ecuacion de continuidad de manera iterativa hasta llegar a una solucion correcta. (“Dinámica de fluidos computacional para ingenieros: Amazon.es: J. Xamán, M. Gijón-Rivera: Libros,” n.d.) (Duran-Pinzón et al., 2018)

✓ **Montaje experimental.**

1. El montaje para el filtro se realiza con un medio poroso granular (piedras de igual tamaño).
2. A cada extremo se selló con una malla, para nivelar el medio poroso en el filtro.
3. La estructura del filtro es ajustada con pegamento para PVC, y se debe libre la entrada y salida de caudal.
4. El agua se pone a circular en el medio poroso seleccionada hasta que esta llegue al punto de saturación (los espacios vacíos son ocupados por agua). El agua fluye hasta llegar al estado estacionario en el que la continuidad del fluido se mantiene, es decir, la misma cantidad de agua que entra, sale del filtro.
5. El flujo de agua se mantiene constante mediante un sistema de nivel que está controlado, el agua fluye únicamente por efecto gravitacional y el tubo tiene un diámetro de un tamaño considerable en el que es posible despreciar los efectos de capilaridad.

Teniendo en cuenta los ítems para el filtro, donde Darcy descubrió que el cambio de altura era proporcional a la longitud que tuviera el lecho poroso.

La velocidad del flujo se calcula:

$$u = \frac{q}{A} \quad (48)$$

q = caudal, q= 2.2 L/min, q= 0.000366667 $\frac{m^3}{seg}$

A = área transversal del filtro, $\frac{\pi d^2}{4}$ en donde el d=0.07m

Entonces:

$$u = \frac{0.000366667}{\frac{\pi(0.07)^2}{4}} \quad (49)$$

$$u = 0.09527651 \text{ m/seg} \quad (50)$$

Reynolds

$$Re = \frac{d \cdot u}{\nu} \quad (51)$$

ν = viscosidad cinemática del fluido, $1.06e-6 \frac{m^2}{seg}$

d = diámetro del filtro.

$$Re = \frac{0.07 \cdot 0.09527651}{1.06 e-6} \quad (52)$$

$$Re = 2426.85 \quad (53)$$

Se hallaron las pérdidas (L) de la tubería para encontrar el Δh : en la figura 65 se encuentra el esquema de la tubería para el filtro.

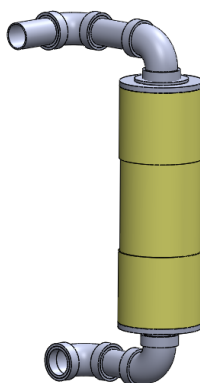


Figura 65 Esquema de la tubería del filtro.

Fuente: Autor del proyecto.

Velocidad del fluido en la tubería:

$$V = \frac{0.000366667}{\frac{\pi(0.027)^2}{4}} \quad (54)$$

$$V = 0.64040455 \text{ m/seg} \quad (55)$$

Re= número de Reynolds = $\frac{DV}{\nu}$.

D= diámetro de la tubería, D= 1/2pulg.

V= velocidad del fluido.

ν = viscosidad cinemática del fluido , $\nu = 1.02 \text{ e-}6 \frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$

$$Re = \frac{0.027 * 0.64040455}{1.02e-6} \quad (56)$$

$$Re = 16951.88 \quad (57)$$

Coefficiente de fricción:

ϵ = rugosidad, $\epsilon = 3.0e-7 \text{ m}$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (58)$$

$$f = 0.02694 \quad (59)$$

Perdidas de los accesorios: 4 codos

$$h_L = \frac{v^2}{2g} * f * 4 \quad (60)$$

$$h_L = \frac{0.64040455^2}{2(9.81)} * 0.02694 * 4 \quad (61)$$

$$h_L = 0.00224 \quad (62)$$

Perdidas por longitud: L= 0.9 m

$$h_L = \frac{v^2}{2g} * \frac{L}{d} * f \quad (63)$$

$$h_L = \frac{0.64040455^2}{2(9.81)} * \frac{0.9}{0.027} * 0.02694 \quad (64)$$

$$h_L = 0.0187709 \quad (65)$$

Entonces:

$$\Delta h = h - h_L \quad (66)$$

$$\Delta h = 0.55 - (0.0187709 + 0.00224) \quad (67)$$

$$\Delta h = 0.528 \text{ m} \quad (68)$$

Para la conductividad hidráulica del filtro:

$$u = K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (69)$$

K= conductividad hidráulica.

ΔL = longitud, 0.15m

Δh = altura

$$K=0.02706 \text{ cm/seg} \quad (70)$$

Según la conductividad hidráulica el filtro está clasificado entre arena y grava mezclada.

➤ Simulación del medio poroso en openFOAM.

La figura 66, se muestra la simulación del filtro con medio poroso.

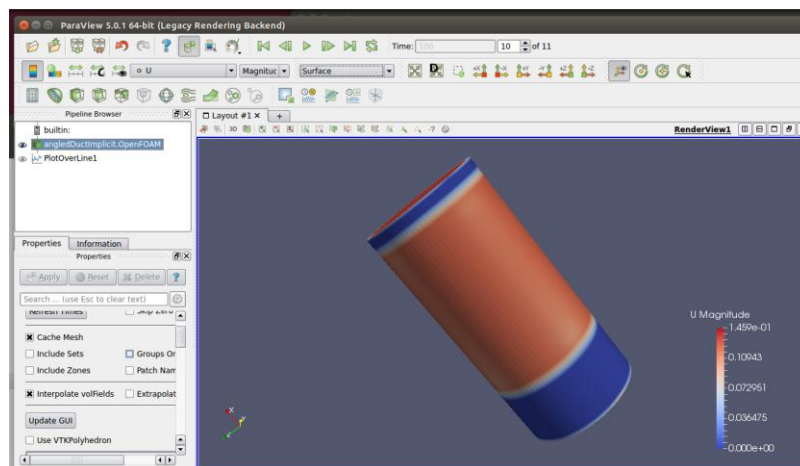
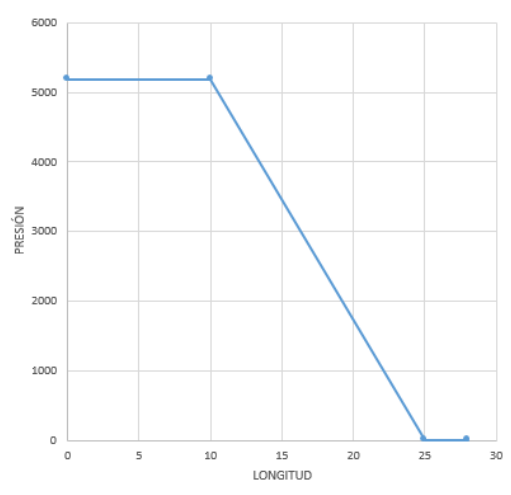


Figura 66 Vista del medio poroso en el filtro.

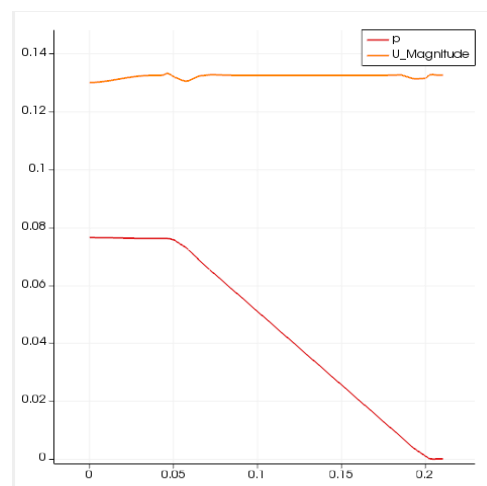
Fuente: (Duran-Pinzón et al., 2018).

En las figura 67 se encuentra la comparación de la gráfica a) de la simulación del artículo, y la gráfica b) es la simulación del filtro, en donde se puede observar que debida al cambio del medio poroso granulado se obtuvo la siguiente pendiente $\Delta P = 34531 \frac{N}{m^3}$

Se pueden ver que los datos son similares a la simulación del artículo. (Duran-Pinzón et al., 2018)



a) Caída de presión en el filtro



b) Caída de presión del permeámetro
(Duran-Pinzón et al., 2018)

Figura 67. Comparación de cambios de presión.

Fuente: Autor del proyecto.

4.4.3.1. Filtro biológico-biofiltro

Un biofiltro es un lugar donde la bacteria de nitrificación puede crecer y convertir amoníaco en nitratos, que son usados por las plantas. Para nuestro sistema se utilizó la cascarilla de arroz, este se comporta como un biofiltro, y ayuda a las plántulas desarrollarse adecuadamente.

La ubicación de este filtro, se encuentra en las botellas plásticas donde están las plántulas, se utilizó una malla fina, para poder acumular la cascarilla y en medio de ellas colocar nuestras plantas. En la figura 68 y en la figura 69 se denota su aplicación



Figura 68 Botella plástica para la ubicación del biofiltro.

Fuente: Autor del proyecto.



Figura 69 Cascarilla de arroz, como biofiltro.

Fuente: Autor del proyecto.

Conclusiones

- Se llegó a el óptimo planteamiento, elaboración y funcionamiento de cada sensor, el cual fue monitoreado desde el software labVIEW, con un trabajo conjunto de los códigos programados desde el software Arduino.
- Para la implementación de un controlador PID, el efector final en nuestro caso la bomba de recirculación, debe permitir control de potencia con voltaje en armadura para poder “dosificar” la potencia de lo contrario el control PID se convierte en un virtual on/off ya que la bomba empieza a trabajar en un solo voltaje de operación.
- La utilización de micropic en controladores industriales disminuye los tiempos de desarrollo y el costo de producción y la fase de implementación es relativamente sencilla.
- El monitoreo continuo de la huerta es de gran utilidad, ya que ayuda al agricultor a tomar decisiones en tiempo real de las variables que influyen en estas y poder dar solución inmediatamente para que el crecimiento de las plantas no se vea afectado.
- Para el desarrollo del instrumento virtual se debe contar con un ARDUINO para la adquisición de datos y LabVIEW para interfaz graficas ya que únicamente con la LabVIEW sería necesario la utilización de un computador encendido durante toda la adquisición de datos y elevaría el costo del proceso.
- Al implementar los tres tipos de filtros a nuestro sistema, se logró un equilibrio ecológico para las plantas como a los peces. Ya que sin los filtros el agua del sistema estaba muy turbia y las plantas tenían sobre exceso de nutrientes.

Referencias Bibliográficas

- Adams, C. R. (Charles R. ., Bamford, K. M. (Katherine M. ., & Early, M. P. (Michael P. . (1993). *Principles of horticulture*. Boston.
- ANDRÉS MANUEL ARBOLEDA BERNAL. (2009). *ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL PLAN DE NEGOCIOS PARA UN PROYECTO PISCÍCOLA RENTABLE EN EL VALLE DEL CAUCA*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA . Retrieved from <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis158.pdf>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (n.d.). *Cultivo en hidroponía*. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllo wed=y
- Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*. (2014). Retrieved from <http://pescaeventoscasabarco.com>
- Carvalho, L., Miranda, V., Leite Da Silva, A., Marcelino, C., Wanner, E., & Sumaili, J. (n.d.). *Cooperative Combination of the Cross-Entropy Method and the Evolutionary Particle Swarm Optimization to Improve Search Domain Exploration and Exploitation*. Retrieved from http://sites.ieee.org/psace-mho/files/2017/10/07-GM_2017_Leonel.pdf
- Catalina Elizabet Clavijo Palacios. (2010). *FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES SEDE ECUADOR PROGRAMA DE ESTUDIOS SOCIOAMBIENTALES CONVOCATORIA*. Retrieved from www.flacsoandes.edu.ec
- constitucion politica. (2017). *Artículo 65 de la Constitución Política de Colombia*. bogota .
- Cristina, L., & Corrales, H. (2017). *Cultivos hidropónicos, una experiencia de investigación en el aula para la enseñanza de la botánica en estudiantes del grado séptimo*. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/60950/1/1036610029.2017.pdf>
- Curso Básico de Autómatas Programables. (2001). AUTOMATIZACIÓN. Retrieved January 23, 2019, from <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>
- Dinámica de fluidos computacional para ingenieros: Amazon.es: J. Xamán, M. Gijón-Rivera: Libros. (n.d.).
- Duran-Pinzón, M., Páez-Arango, J., García-Guarín, P. J., Duran-Pinzón, M., Páez-Arango, J., & García-Guarín, P. J. (2018). Modelado numérico y análisis experimental para flujos en un medio poroso homogéneo a través de suelos. *Iteckne*, 15(1), 24. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v15i1.1961>
- Felipe, L., & Zambrano, H. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (Oreochromis Mossambicus) y Lechuga Crespa (Lactuca Sativa)*. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/62310/1/1057592154.2018.pdf>
- Gauss Seidel. (n.d.).
- Gilsanz, J. C. (2007). *HIDROPONIA*. Retrieved from <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
- Hurtado J. (2007). Tipos de Metodología de la Investigación – Cómo Hacer una Metodología | aprenderLyX.
- JOSE DAVID LARA GONZÁLES. (2008). *REDUCIR, REUTILIZAR, RECICLAR*. Retrieved from <https://elementos.buap.mx/num69/pdf/45.pdf>
- Katsuhiko Ogata. (1998). *ingeniería de control moderna*. 感染症誌 (3 edición, Vol. 91).
- Macedo, L. H., & Ortega-Vazquez, M. A. (2017). *Solving Smart Grid Operation Problems Through Variable Neighborhood Search*. Retrieved from http://sites.ieee.org/psace-mho/files/2017/10/04-GM_2017_Leonardo.pdf
- OLMO AXAYACATL. (2017). La acuaponía como sistema de producción: concepto, origen, ventajas y desventajas. Retrieved November 15, 2018, from <https://blogagricultura.com/acuaponia-sistema-produccion/>
- Pablo Turmero. (2015). Control PID y su aplicación en la automatización (página 2) - Monografias.com. Retrieved February 18, 2019, from <https://www.monografias.com/trabajos106/control-pid-y-su-aplicacion-automatizacion/control-pid-y-su-aplicacion-automatizacion2.shtml>
- Producción y manejo de peces. Ingeniería Agrícola. Colombia. (2001). Retrieved January 24, 2019, from <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/piscicultura.htm>
- Röben, E. (n.d.). *El Reciclaje Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico*. Retrieved from www.ded.org.ec
- Sergio Rivera, Camilo Cortés, Alejandra Guzman, S. C. (n.d.). Modified Chao+c Biogeography-based Op+misa+on (CBBO) with Random Sinusoidal Migra+on. Retrieved from http://sites.ieee.org/psace-mho/files/2017/10/06-ModifiedCBBO_Camilo.pdf

Vargas Fortes, E., Macedo, L. H., de Araujo, P. B., & Romero, R. (2018). A VNS algorithm for the design of supplementary damping controllers for small-signal stability analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 94, 41-56.

APENDICES

APENDICE A. Imágenes de la construcción de la huerta



Fuente: Autor del proyecto.



Fuente: Autor del proyecto.



Fuente: autor del proyecto



Fuente: Autor del proyecto.



Fuente: Autor del

proyecto.



Fuente: Autor del proyecto.

APENDICE B Código arduino del sistema de monitoreo.

```
#include "DHT.h" //cargamos la librería DHT
#define DHTPIN1 4 //Seleccionamos el pin en el que se conectará el sensor
#define DHTTYPE DHT22 //Se selecciona el DHT22(hay otros DHT)
const int analogInPin = A0;
//float analogInPin1 = analogRead(1);
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10],temp;
DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE); //Se inicia una variable que será usada por
Arduino para comunicarse con el sensor
const int sensorPin = 2;
const int measureInterval = 2500;
volatile int pulseConter;
const int sensorPin2 = 3;
const int measureInterval2 = 2500;
volatile int pulseConter2;
// YF-S201
const float factorK = 7.5;
const float factorK2 = 7.5;

// FS300A
//const float factorK = 5.5;
// FS400A
//const float factorK = 3.5;
/*
  PRACTICA 1 "SENSOR DE ULTRASONIDOS"
  Muestra la distancia a la que se encuentran los objetos
*/
#define pulso1 5 //define la salida por donde se manda el pulso como 5
#define rebote1 6 //define la salida por donde se recibe el rebote como 6
#define pulso2 7 //define la salida por donde se manda el pulso como 7
#define rebote2 8 //define la salida por donde se recibe el rebote como 8
#define pulso3 9 //define la salida por donde se manda el pulso como 9
#define rebote3 10 //define la salida por donde se recibe el rebote como 10
//#define pulso4 11 //define la salida por donde se manda el pulso como 11
```

```

//#define rebote4 12 //define la salida por donde se recibe el rebote como
12
int distancia1; //crea la variable "distancia"
float tiempo1; //crea la variable tiempo (como float)
int distancia2; //crea la variable "distancia"
float tiempo2; //crea la variable tiempo (como float)
int distancia3; //crea la variable "distancia"
float tiempo3; //crea la variable tiempo (como float)
int distancia4; //crea la variable "distancia"
float tiempo4; //crea la variable tiempo (como float)
void ISRCountPulse()
{
    pulseConter++;
}
void ISRCountPulse2()
{
    pulseConter2++;
}
float GetFrequency()
{
    pulseConter = 0;
    interrupts();
    delay(measureInterval);
    noInterrupts();
    return (float)pulseConter * 1000 / measureInterval;
}
float GetFrequency2()
{
    pulseConter2 = 0;
    interrupts();
    delay(measureInterval2);
    noInterrupts();
    return (float)pulseConter2 * 1000 / measureInterval2;
}
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), ISRCountPulse,
RISING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin2), ISRCountPulse2,
RISING);
    dht1.begin(); //Se inicia el sensor
    Serial.begin(9600); //inicializa el puerto serie
    pinMode(pulso1, OUTPUT); //Declaramos el pin 3 como salida (pulso
ultrasonido)
    pinMode(rebote1, INPUT); //Declaramos el pin 4 como entrada (recepción
del pulso)
    pinMode(pulso2, OUTPUT); //Declaramos el pin 5 como salida (pulso
ultrasonido)
    pinMode(rebote2, INPUT); //Declaramos el pin 7 como entrada (recepción
del pulso)
    pinMode(pulso3, OUTPUT); //Declaramos el pin 9 como salida (pulso
ultrasonido)
    pinMode(rebote3, INPUT); //Declaramos el pin 8 como entrada (recepción
del pulso)
    // pinMode(pulso4, OUTPUT); //Declaramos el pin 10 como salida (pulso
ultrasonido)
    // pinMode(rebote4, INPUT); //Declaramos el pin 12 como entrada (recepción
del pulso)
}
void loop()

```



```

{
  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf[i]=analogRead(analogInPin);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgValue=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
  avgValue+=buf[i];
  float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
  float pHValue = -5.70 * pHVol + 21.34;
  // obtener frecuencia en Hz
  float frequency = GetFrequency();
  float frequency2 = GetFrequency2();
  // calcular caudal L/min
  float flow_Lmin = frequency * factorK;
  float flow_Lmin2 = frequency2 * factorK2;
  //Serial.print(" Caudal: ");
  Serial.println(flow_Lmin+3000, 3);
  // Serial.print(" Caudal2: ");
  Serial.println(flow_Lmin2+4000, 3);
  float h1 = dht1.readHumidity(); //Se lee la humedad
  float t1 = dht1.readTemperature(); //Se lee la temperatura
  // Serial.print("sensor PH = ");
  Serial.println(pHValue+2000);
  //Se imprimen las variables
  // Serial.print(" Humedad: ");
  Serial.println(h1+1000);
  // Serial.print(" Temperatura: ");
  Serial.println(t1);
  digitalWrite(pulso1,LOW); //Por cuestión de estabilización del sensor
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(pulso1, HIGH); //envío del pulso ultrasónico
  delayMicroseconds(10);
  tiempo1 = pulseIn(rebote1, HIGH); //funcion para medir el tiempo y
  guardarla en la variable "tiempo"
  distancia1 = 0.01715*tiempo1; //fórmula para calcular la distancia
  digitalWrite(pulso2,LOW); //Por cuestión de estabilización del sensor
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(pulso2, HIGH); //envío del pulso ultrasónico
  delayMicroseconds(10);
  tiempo2 = pulseIn(rebote2, HIGH); //funcion para medir el tiempo y
  guardarla en la variable "tiempo"
  distancia2 = 0.01715*tiempo2; //fórmula para calcular la distancia
  digitalWrite(pulso3,LOW); //Por cuestión de estabilización del sensor
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(pulso3, HIGH); //envío del pulso ultrasónico
  delayMicroseconds(10);

```

```

    tiempo3 = pulseIn(rebote3, HIGH); //funcion para medir el tiempo y
guardarla en la variable "tiempo"
    distancia3 = 0.01715*tiempo3; //fórmula para calcular la distancia

// digitalWrite(pulso4,LOW); //Por cuestión de estabilización del sensor
// delayMicroseconds(5);
// digitalWrite(pulso4, HIGH); //envío del pulso ultrasónico
// delayMicroseconds(10);
// tiempo4 = pulseIn(rebote4, HIGH); //funcion para medir el tiempo y
guardarla en la variable "tiempo"
// distancia4 = 0.01715*tiempo4; //fórmula para calcular la distancia
/*Monitorización en centímetros por el monitor serial*/
Serial.print("Distancia1: ");
Serial.print(distancia1);
Serial.println(" cm");
Serial.print("Distancia2: ");
Serial.print(distancia2);
Serial.println(" cm");
Serial.print("Distancia3: ");
Serial.print(distancia3);
// Serial.println(" cm");
// Serial.print(distancia4);
Serial.println(" cm");
//delay(3000);
}

```

APENDICE C: Prueba 1. Adquisición de datos

Altura en Cm
Caudal en Lm

1 cm	2.00 Lm	16.04 cm
0.00 Lm	15.89 m	2.00 Lm
15.20 cm	2.13 m	16.04 cm
2.00 Lm	15.49 cm	2.13 Lm
15.68 cm	2.00 Lm	16.04 cm
2.13 L	15.89 cm	2.00 Lm
15.73 cm	2.00 Lm	16.04 cm
2.13 L	15.94 cm	2.00 Lm
15.32cm	2.13 Lm	15.66 cm
2.13 L	15.94 cm	2.00 Lm
15.78 cm	2.00 Lm	15.68 cm
2.00 Lm	15.94 cm	2.13 Lm
15.73 cm	2.00 Lm	15.68 cm
2.13 Lm	15.99 cm	2.00 Lm
15.37 cm	2.00 Lm	16.14 cm
2.00 Lm	16.01 cm	2.00 Lm
15.37 cm	2.00 Lm	15.73 cm
2.00 Lm	16.01 cm	2.13 Lm
15.84 cm	2.13 Lm	15.73 cm
2.00 Lm	15.99 cm	2.00 Lm
15.84 cm	2.00 Lm	15.75 cm

2.00 Lm
16.20 cm
2.13 Lm
15.78 cm
2.00 Lm
16.25 cm
2.13 Lm
16.25 cm
2.00 Lm
16.26 cm
2.13 Lm
16.30 cm
2.13 Lm
16.30 cm
2.00 Lm
16.35 cm
2.13 Lm
16.37 cm
2.00 Lm
16.35 cm
2.13 Lm
16.40 cm
2.00 Lm
16.40 cm
2.13 Lm
16.45 cm
2.00 Lm
16.04 cm
2.13 Lm
16.51 cm
2.13 Lm
16.09 cm
2.13 Lm
16.11 cm
2.13 Lm
16.14 cm
2.13 Lm
16.14 cm
2.00 Lm
16.61 cm
2.13 Lm
16.20 cm

2.13 Lm
16.66 cm
2.13 Lm
16.71 cm
2.13 Lm
16.71 cm
2.13 Lm
16.71 cm
2.13 Lm
16.73 cm
2.00 Lm
16.76 cm
2.13 Lm
16.81 cm
2.13 Lm
16.81 cm
2.13 Lm
16.88 cm
2.00 Lm
17.35 cm
2.13 Lm
16.51 cm
2.13 Lm
16.51 cm
2.13 Lm
16.56 cm
2.13 Lm
16.57 cm
2.27 Lm
17.02 cm
2.27 Lm
16.61 cm
2.27 Lm
17.09 cm
2.13 Lm
17.12 cm
2.27 Lm
17.12 cm
2.27 Lm
17.17 cm
2.27 Lm
16.76 cm

2.13 Lm
17.23 cm
2.27 Lm
17.23 cm
2.13 Lm
17.30 cm
2.27 Lm
16.87 cm
2.27 Lm
17.33 cm
2.27 Lm
17.38 cm
2.27 Lm
16.97 cm
2.27 Lm
17.02 cm
2.27 Lm
17.02 cm
2.27 Lm
17.48 cm
2.27 Lm
17.07 cm
2.13 Lm
17.48 cm
2.27 Lm
17.59 cm
2.13 Lm
17.60 cm
2.27 Lm
17.64 cm
2.13 Lm
17.28 cm
2.13 Lm
17.31 cm
2.27 Lm
17.74 cm
2.13 Lm
17.78 cm
2.27 Lm
17.38 cm
2.13 Lm
17.38 cm

2.13 Lm
18.88 cm
2.13 Lm
18.86 cm
2.13 Lm
18.88 cm
2.13 Lm
18.89 cm
2.13 Lm
18.88 cm
1.87 Lm
18.89 cm
1.60 Lm

18.88 cm
1.87 Lm
18.88 cm
1.73 Lm
18.89 cm
1.33 Lm
18.88 cm
1.07 Lm
18.89 cm
1.07 Lm
18.88 cm
0.93 Lm
18.88 cm

0.80 Lm
18.88 cm
0.67 Lm
19.29 cm
0.40 Lm
18.88 cm
0.00 Lm
18.88 cm
0.00 Lm
18.88 cm
0.00 Lm

APENDICE D. Prueba 2. Adquisición de datos

Altura en Cm
Caudal en Lm

15.89 cm
0.00 Lm
15.82 cm
0.00 Lm
15.32 cm
0.00 Lm
16.13 cm
0.00 Lm
15.63 cm
2.13 Lm
15.66 cm
2.00 Lm
15.73 cm
2.00 Lm
15.35 cm
2.13 Lm
15.35 cm
2.00 Lm
15.77 cm
2.00 Lm
15.42 cm
2.00 Lm
15.87 cm

2.13 Lm
15.87 cm
2.00 Lm
15.87 cm
2.00 Lm
15.87 cm
2.00 Lm
15.92 cm
2.13 Lm
1.24 cm
2.00 Lm
15.92 cm
2.00 Lm
15.92 cm
2.00 Lm
15.99 cm
2.00 Lm
15.97 cm
2.00 Lm
16.02 cm
2.00 Lm
16.02 cm
2.00 Lm

15.61 cm
2.00 Lm
16.04 cm
2.00 Lm
15.66 cm
2.00 Lm
15.68 cm
2.00 Lm
15.73 cm
2.00 Lm
15.72 cm
2.00 Lm
16.16 cm
2.13 Lm
15.77 cm
2.00 Lm
15.78 cm
2.00 Lm
16.64 cm
2.00 Lm
16.28 cm
2.00 Lm
16.28 cm

2.00 Lm
16.35 cm
2.13 Lm
16.38 cm
2.00 Lm
16.38 cm
2.00 Lm
17.05 cm
2.00 Lm
16.45 cm
2.13 Lm
16.44 cm
2.00 Lm
16.45 cm
2.00 Lm
16.08 cm
2.00 Lm
16.08 cm
2.00 Lm
16.54 cm
2.13 Lm
16.54 cm
2.00 Lm
16.13 cm
2.00 Lm
16.59 cm
2.00 Lm
16.18 cm
2.00 Lm
16.18 cm
2.00 Lm
16.20 cm
2.00 Lm
16.23 cm
2.00 Lm
16.25 cm
2.00 Lm
16.25 cm
2.00 Lm
16.69 cm
2.00 Lm
16.69 cm

2.00 Lm
16.75 cm
2.00 Lm
16.76 cm
2.00 Lm
16.75 cm
2.00 Lm
16.80 cm
2.00 Lm
16.80 cm
2.00 Lm
16.87 cm
2.00 Lm
16.85 cm
2.00 Lm
16.85 cm
2.00 Lm
16.49 cm
2.00 Lm
16.90 cm
2.00 Lm
16.90 cm
2.00 Lm
17.36 cm
2.00 Lm
17.00 cm
2.00 Lm
16.59 cm
2.00 Lm
16.59 cm
2.00 Lm
16.59 cm
2.00 Lm
17.11 cm
2.00 Lm
17.11 cm
2.00 Lm
17.16 cm
2.00 Lm
17.21 cm
2.00 Lm
17.21 cm

2.00 Lm
17.21 cm
1.87 Lm
17.23 cm
2.00 Lm
17.26 cm
2.00 Lm
17.31 cm
2.00 Lm
17.31 cm
2.00 Lm
16.90 cm
1.87 Lm
16.95 cm
2.00 Lm
16.56 cm
2.00 Lm
17.00 cm
2.00 Lm
17.02 cm
2.00 Lm
17.47 cm
1.87 Lm
17.07 cm
2.00 Lm
17.05 cm
2.00 Lm
17.11 cm
2.00 Lm
17.57 cm
1.87 Lm
17.57 cm
2.00 Lm
17.62 cm
2.00 Lm
17.62 cm
2.00 Lm
17.62 cm
1.87 Lm
17.67 cm
2.00 Lm
17.67 cm

2.00 Lm
17.31 cm
1.87 Lm
17.31 cm
2.00 Lm
17.79 cm
2.00 Lm
17.36 cm
1.87 Lm
17.78 cm
2.00 Lm
17.42 cm
2.00 Lm
17.90 cm
2.00 Lm
17.47 cm
2.00 Lm
17.88 cm
2.00 Lm
17.93 cm
2.00 Lm
17.98 cm
2.00 Lm
17.98 cm
1.87 Lm
18.09 cm
2.00 Lm
18.10 cm
1.87 Lm
18.09 cm
2.00 Lm
18.14 cm
2.00 Lm
6.85 cm
1.87 Lm
18.15 cm
2.00 Lm
17.76 cm
2.00 Lm
17.79 cm
1.87 Lm
17.84 cm

1.87 Lm
17.83 cm
2.00 Lm
17.88 cm
1.87 Lm
18.33 cm
2.00 Lm
18.36 cm
1.87 Lm
18.34 cm
2.00 Lm
18.39 cm
1.87 Lm
18.39 cm
2.00 Lm
18.45 cm
2.00 Lm
18.46 cm
2.00 Lm
18.09 cm
1.87 Lm
18.55 cm
2.00 Lm
18.14 cm
1.87 Lm
18.14 cm
2.00 Lm
18.19 cm
2.00 Lm
18.21 cm
1.87 Lm
18.26 cm
2.00 Lm
18.29 cm
1.87 Lm
18.29 cm
2.00 Lm
18.77 cm
1.87 Lm
18.34 cm
2.00 Lm
1.96 cm

1.87 Lm
18.39 cm
2.00 Lm
18.46 cm
2.00 Lm
18.45 cm
1.87 Lm
18.51 cm
1.87 Lm
18.50 cm
2.00 Lm
18.55 cm
1.87 Lm
18.55 cm
2.00 Lm
18.62 cm
1.87 Lm
18.62 cm
2.00 Lm
18.60 cm
1.87 Lm
18.67 cm
1.87 Lm
18.67 cm
2.00 Lm
18.72 cm
1.87 Lm
18.76 cm
2.00 Lm
18.76 cm
1.87 Lm
18.76 cm
1.87 Lm
18.82 cm
1.87 Lm
18.81 cm
1.87 Lm
19.27 cm
2.00 Lm
18.82 cm
1.87 Lm
18.86 cm

1.87 Lm	18.93 cm	0.13 Lm
18.88 cm	1.87 Lm	18.98 cm
2.00 Lm	18.93 cm	0.00 Lm
18.86 cm	1.87 Lm	
1.87 Lm	18.93 cm	
18.91 cm	1.87 Lm	
1.87 Lm	18.91 cm	
18.91 cm	1.87 Lm	
1.87 Lm	18.93 cm	
18.91 cm	1.73 Lm	
1.87 Lm	18.94 cm	
18.93 cm	1.73 Lm	
2.00 Lm	18.91 cm	
18.91 cm	1.47 Lm	
1.87 Lm	18.93 cm	
19.34 cm	1.60 Lm	
2.00 Lm	18.93 cm	
18.96 cm	1.60 Lm	
1.87 Lm	18.91 cm	
18.96 cm	1.60 Lm	
1.87 Lm	18.93 cm	
19.32 cm	1.47 Lm	
1.87 Lm	18.91 cm	
18.96 cm	0.93 Lm	
1.87 Lm	18.98 cm	
18.96 cm	0.93 Lm	
1.87 Lm	18.93 cm	
19.39 cm	0.80 Lm	
2.00 Lm	18.98 cm	
18.96 cm	0.80 Lm	
1.87 Lm	18.98 cm	
18.96 cm	0.67 Lm	
1.87 Lm	18.05 cm	
3.83 cm	0.80 Lm	
1.87 Lm	18.96 cm	
18.96 cm	0.67 Lm	
1.87 Lm	18.96 cm	
18.93 cm	0.53 Lm	
1.87 Lm	18.98 cm	
18.93 cm	0.27 Lm	
1.87 Lm	18.98 cm	

APENDICE E. Prueba 3. Adquisición de datos

Altura en Cm
Caudal en Lm

14.6 cm
0.00 Lm
15.61 cm
0.00 Lm
15.82 cm
2.13 Lm
15.84 cm
2.40 Lm
15.37 cm
2.13 Lm
15.37 cm
2.27 Lm
15.37 cm
2.27 Lm
15.35 cm
2.40 Lm
15.82 cm
2.40 Lm
15.42 cm
2.40 Lm
15.89 cm
2.27 Lm
15.89 cm
2.67 Lm
15.89 cm
2.53 Lm
15.94 cm
2.53 Lm
15.94 cm
2.40 Lm
15.99 cm
2.53 Lm
16.04 cm
2.53 Lm
16.04 cm
2.53 Lm
15.66 cm
2.53 Lm
15.68 cm
2.53 Lm
15.72 cm

2.53 Lm
15.73 cm
2.53 Lm
15.78 cm
2.40 Lm
16.23 cm
2.53 Lm
16.23 cm
2.53 Lm
16.25 cm
2.53 Lm
15.84 cm
2.53 Lm
16.30 cm
2.53 Lm
16.33 cm
2.40 Lm
16.33 cm
2.53 Lm
16.38 cm
2.53 Lm
16.44 cm
2.53 Lm
16.45 cm
2.53 Lm
16.49 cm
2.53 Lm
16.08 cm
2.40 Lm
16.09 cm
2.53 Lm
16.09 cm
2.53 Lm
16.56 cm
2.53 Lm
16.14 cm
2.53 Lm
16.18 cm
2.53 Lm
16.20 cm
2.53 Lm

16.23 cm
2.40 Lm
16.25 cm
2.53 Lm
16.71 cm
2.53 Lm
16.71 cm
2.40 Lm
16.76 cm
2.53 Lm
16.81 cm
2.53 Lm
16.80 cm
2.40 Lm
9.45 cm
2.40 Lm
16.92 cm
2.53 Lm
16.51 cm
2.53 Lm
16.49 cm
2.40 Lm
16.97 cm
2.53 Lm
16.56 cm
2.53 Lm
16.61 cm
2.40 Lm
16.61 cm
2.53 Lm
16.66 cm
2.40 Lm
17.07 cm
2.53 Lm
17.11 cm
2.40 Lm
17.12 cm
2.53 Lm
17.17 cm
2.53 Lm
17.17 cm

2.40 Lm
17.23 cm
2.53 Lm
17.26 cm
2.53 Lm
17.28 cm
2.53 Lm
10.43 cm
2.53 Lm
17.36 cm
2.53 Lm
16.97 cm
2.53 Lm
16.95 cm
2.40 Lm
17.02 cm
2.40 Lm
17.48 cm
2.53 Lm
17.05 cm
2.40 Lm
17.54 cm
2.53 Lm
17.54 cm
2.40 Lm
17.64 cm
2.40 Lm
17.64 cm
2.53 Lm
17.69 cm
2.40 Lm
17.67 cm
2.53 Lm
17.74 cm
2.53 Lm
17.33 cm
2.40 Lm
17.79 cm
2.53 Lm
17.38 cm
2.40 Lm
17.43 cm

2.40 Lm
17.47 cm
2.53 Lm
17.88 cm
2.40 Lm
17.95 cm
2.53 Lm
18.00 cm
2.40 Lm
18.05 cm
2.53 Lm
18.07 cm
2.40 Lm
18.10 cm
2.40 Lm
18.09 cm
2.53 Lm
18.15 cm
2.40 Lm
17.79 cm
2.53 Lm
18.24 cm
2.40 Lm
18.29 cm
2.53 Lm
17.88 cm
2.40 Lm
18.36 cm
2.40 Lm
18.34 cm
2.40 Lm
18.39 cm
2.53 Lm
18.45 cm
2.40 Lm
18.51 cm
2.40 Lm
18.10 cm
2.40 Lm
18.14 cm
2.53 Lm
18.14 cm

2.40 Lm
18.19 cm
2.40 Lm
18.26 cm
2.40 Lm
18.70 cm
2.40 Lm
18.31 cm
2.53 Lm
18.77 cm
2.40 Lm
18.39 cm
2.40 Lm
18.45 cm
2.40 Lm
18.46 cm
2.40 Lm
18.50 cm
2.40 Lm
18.57 cm
2.40 Lm
18.57 cm
2.40 Lm
18.60 cm
2.40 Lm
18.65 cm
2.40 Lm
18.70 cm
2.40 Lm
18.72 cm
2.40 Lm
18.77 cm
2.40 Lm
18.81 cm
2.40 Lm
18.81 cm
2.40 Lm
18.88 cm
2.27 Lm
18.86 cm
2.40 Lm
18.88 cm

2.40 Lm	2.40 Lm	1.20 Lm
18.91 cm	18.96 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.27 Lm	0.93 Lm
3.26 cm	18.96 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.40 Lm	0.93 Lm
18.91 cm	18.96 cm	18.96 cm
2.40 Lm	2.40 Lm	0.80 Lm
18.93 cm	18.98 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.40 Lm	0.67 Lm
18.96 cm	18.93 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.27 Lm	0.67 Lm
18.96 cm	18.98 cm	18.96 cm
2.27 Lm	2.40 Lm	0.53 Lm
18.96 cm	18.96 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.13 Lm	0.53 Lm
19.32 cm	19.42 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.27 Lm	0.40 Lm
18.96 cm	18.96 cm	18.96 cm
2.40 Lm	2.00 Lm	0.27 Lm
18.96 cm	19.01 cm	18.96 cm
2.40 Lm	2.00 Lm	0.13 Lm
18.96 cm	18.96 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.00 Lm	0.00 Lm
19.34 cm	18.98 cm	18.98 cm
2.40 Lm	2.00 Lm	0.00 Lm
18.93 cm	18.96 cm	18.98 cm
2.27 Lm	1.87 Lm	0.00 Lm
18.98 cm	18.98 cm	18.96 cm
2.40 Lm	1.60 Lm	
18.98 cm	18.98 cm	

APENDICE F. Código del arduino para el control con salida a relé

```
#include <VirtualWire.h>
#include <EEPROM.h>
#define MEDIA_VELOCIDAD_SONIDO 0.017175 // Mitad de la velocidad del sonido
a 20 °C expresada en cm/µs
#define PIN_TRIGGER 10
#define PIN_ECHO 11
#define ESPERA_ENTRE_LECTURAS 1000 // tiempo entre lecturas consecutivas en
milisegundos
#define TIMEOUT_PULSO 25000 // la espera máxima de es 30 ms o 30000 µs
```

```

float distancia;
unsigned long tiempo;
unsigned long cronometro;
unsigned long reloj=0;
char *controller;
void setup() {
pinMode(13,OUTPUT);
vw_set_ptt_inverted(true); //
vw_set_tx_pin(9);
vw_setup(4000); // velocidad de datos Kbps
pinMode(13, OUTPUT); // Declaramos que utilizaremos el pin 13 como salida
Serial.begin(9600);
pinMode(PIN_ECHO, INPUT);
pinMode(PIN_TRIGGER, OUTPUT);
digitalWrite(PIN_TRIGGER, LOW); // Para «limpiar» el pulso del pin trigger
del módulo
delayMicroseconds(2);
// int setpoint = Serial.parseInt (); // lee int o parseFloat para ..float
...
//if(round(setpoint)==0){
// setpoint = 13;
//}
}
void loop(){
cronometro=millis()-reloj;
if(cronometro>ESPERA_ENTRE_LLECTURAS)
{
digitalWrite(PIN_TRIGGER,HIGH); // Un pulso a nivel alto..
delayMicroseconds(10); // ...durante 10 µs y
digitalWrite(PIN_TRIGGER,LOW); // ...volver al nivel bajo
tiempo=pulseIn(PIN_ECHO,HIGH,TIMEOUT_PULSO); // Medir el tiempo que
tarda en llegar un pulso
distancia=MEDIA_VELOCIDAD_SONIDO*tiempo;
distancia = round(distancia*10)/10;
Serial.print(distancia);
Serial.println(" cm");
Serial.println(EEPROM[ 1 ]);
reloj=millis();
}
// input=Serial.read();
//while (Serial.available () == 0);
int setpoint;
EEPROM[ 2 ] = Serial.parseInt (); // lee int o parseFloat para ..float ...
if(EEPROM[ 2 ] == 0){
//Serial.println (setpoint);
if(EEPROM[ 3 ] != 1){
EEPROM[ 1 ]=13;
}
EEPROM[ 3 ] = 1;
}else {
EEPROM[ 1 ]=EEPROM[ 2 ];}
setpoint=EEPROM[ 1 ];
if (distancia<=setpoint){
// Serial.println(inputString1);
controller="1" ;
vw_send((uint8_t *)controller, strlen(controller));
vw_wait_tx();
digitalWrite(13, 0); //Si el valor de input es 1, se enciende el pin
}
else
{

```

```

        //Serial.println(inputString2);
    controller="0" ;
    vw_send((uint8_t *)controller, strlen(controller));
    vw_wait_tx();
    digitalWrite(13,1); //Si el valor de input es diferente de 1, se apaga el
    pin LAMPARA
    //delay(6000);
    }
}

```

ANEXOS G. Código del algoritmo de inteligencia artificial.

```

volatile int NbTopsFan;
int Calc;
int Calc2;
int Cal_pres;
int Cal_pas;
int hallsensor = 3;
#include <EEPROM.h>
#define MEDIA_VELOCIDAD_SONIDO 0.017175 // Mitad de la velocidad del sonido
a 20 °C expresada en cm/µs
#define PIN_TRIGGERIA 7
#define PIN_ECHOIA 8
#define ESPERA_ENTRE_LLECTURAS 1000 // tiempo entre lecturas consecutivas en
milisegundos
#define TIMEOUT_PULSO 25000 // la espera máxima de es 30 ms o 30000 µs

float distanciaIA;
float distancia2;
float distancia_pas_1;
float fobjetivo;
float distancia_pas;
float distancia_pres;
float cont;
unsigned long tiempoIA;
unsigned long cronometroIA;
unsigned long relojIA=0;
float xmin=14;
float xmax=17;
float xopt;
float x;
int iter;
float FIT; // El valor dentro del parentesis debe ser igual al numero de
escenarios
int i;
float obj;
float frep;
float xrep;
float fbest;
float fit;
float objbest;
float xbest;
void rpm ()
{
NbTopsFan++;
}
#include <VirtualWire.h>
#include <EEPROM.h>
#define MEDIA_VELOCIDAD_SONIDO 0.017175 // Mitad de la velocidad del sonido
a 20 °C expresada en cm/µs
#define PIN_TRIGGER 10
#define PIN_ECHO 11

```

```

#define ESPERA_ENTRE_LLECTURAS 1000 // tiempo entre lecturas consecutivas en
milisegundos
#define TIMEOUT_PULSO 25000 // la espera máxima de es 30 ms o 30000 µs
float distancia;
unsigned long tiempo;
unsigned long cronometro;
unsigned long reloj=0;
char *controller;

void setup() {
pinMode(13,OUTPUT);
vw_set_ptt_inverted(true); //
vw_set_tx_pin(9);
vw_setup(4000); // velocidad de datos Kbps
pinMode(13, OUTPUT); // Declaramos que utilizaremos el pin 13 como salida
pinMode(hallsensor, INPUT);
Serial.begin(9600);
pinMode(PIN_ECHO, INPUT);
pinMode(PIN_TRIGGER, OUTPUT);
digitalWrite(PIN_TRIGGER, LOW); // Para «limpiar» el pulso del pin trigger
del módulo
attachInterrupt(0, rpm, RISING);
pinMode(PIN_ECHOIA, INPUT);
pinMode(PIN_TRIGGERIA, OUTPUT);
digitalWrite(PIN_TRIGGERIA, LOW);
delayMicroseconds(2);
// int setpoint = Serial.parseInt (); // lee int o parseFloat para ..float
...
//if(round(setpoint)==0){
// setpoint = 13;
//}
EEPROM[ 4 ]=0;
cont=3;
}

void loop(){
NbTopsFan = 0;
sei();
Calc = (NbTopsFan * 60 / 5.5); // cli();
cronometroIA=millis()-relojIA;
if(cronometroIA>ESPERA_ENTRE_LLECTURAS)
{
digitalWrite(PIN_TRIGGERIA, HIGH); // Un pulso a nivel alto...
delayMicroseconds(10); // ...durante 10 µs y
digitalWrite(PIN_TRIGGERIA, LOW); // ...volver al nivel bajo
tiempoIA=pulseIn(PIN_ECHOIA, HIGH, TIMEOUT_PULSO); // Medir el tiempo que
tarda en llegar un pulso
distanciaIA=MEDIA_VELOCIDAD_SONIDO*tiempoIA;
Serial.print(distanciaIA);
Serial.println(" cm");
relojIA=millis();
distancia2+=distanciaIA; // distancia 2
Calc2+=Calc; // Calcula el caudal 2
EEPROM[ 4 ]+=1;
if(EEPROM[ 4 ]==255){

if(cont==3){
distancia_pas_1 = distancia2/255; // Valor pasado
distancia_pas=distancia_pas_1;
distancia_pres=distancia_pas;
Cal_pas = Calc2/255;
}
}
}
}

```

```

Cal_pres=Cal_pas; // Caudal presente
cont+=1;
}
else if(cont==4){
  distancia_pas_1=distancia_pas;
  distancia_pas=distancia_pres; // Guardo el valor anterior
  distancia_pres=distancia2/255; //Guardo el valor presente
  Cal_pas=Cal_pres; // Guardo el valor anterior
  Cal_pres=Calc2/255; // Caudal presente
  cont+=1;
}
else{
  distancia_pas_1=distancia_pas; // Guardo el valor anterior
  distancia_pas=distancia_pres;
  distancia_pres=distancia2/255; //Guardo el valor presente
  Cal_pas=Cal_pres; // Guardo el valor anterior
  Cal_pres=Calc2/255; // Caudal presente
};
fobjetivo = distancia_pres-distancia_pas-Cal_pres; //Función
objetivo
  fbest=distancia_pas_1-distancia_pas-Cal_pas;
  int fobjetivoc=distancia_pres-distancia_pas; //Función de comparación
  Serial.print(fobjetivo); // Función objetivo
  Serial.println(" fobjetivo de 255");
  Serial.print(fbest); // Función objetivo
  Serial.println(" fbest de 255");
  if(fobjetivoc-0.3>0){ // En caso de falsos positivos
  int setpoint = optimizacion( xmin, xmax);
  setpoint = setpoint/100;
  Serial.print(setpoint); // Función objetivo
  Serial.println(" Nuevo setpoint");
  }

  distancia2=0;
  Calc2=0;

  }
  }

Serial.print (Calc, DEC);
Serial.println (" Litros/min\r\n");
Serial.println (EEPROM[ 4 ]);

cronometro=millis()-reloj;
if(cronometro>ESPERA_ENTRE_LLECTURAS)
{
  digitalWrite(PIN_TRIGGER,HIGH); // Un pulso a nivel alto...
  delayMicroseconds(10); // ...durante 10 µs y
  digitalWrite(PIN_TRIGGER,LOW); // ...volver al nivel bajo
  tiempo=pulseIn(PIN_ECHO,HIGH,TIMEOUT_PULSO); // Medir el tiempo que
  tarda en llegar un pulso
  distancia=MEDIA_VELOCIDAD_SONIDO*tiempo;
  distancia = round(distancia*10);
  Serial.print("distancia: ");
  Serial.print(distancia);
  Serial.println(" mm");
  Serial.print("Setpoint: ");
  Serial.print(EEPROM[ 1 ]);
  Serial.println(" mm");
  reloj=millis();
}

```

```

//      input=Serial.read();
//while (Serial.available () == 0);

int setpoint;
EEPROM[ 2 ] = Serial.parseInt (); // lee int o parseFloat para ..float ...
if(EEPROM[ 2 ] == 0){
  //Serial.println (setpoint);
  if(EEPROM[ 3 ] != 1){
    EEPROM[ 1 ]=130;
  }
  EEPROM[ 3 ] = 1;
}else {
  EEPROM[ 1 ]=EEPROM[ 2 ];}
setpoint=EEPROM[ 1 ];

  if (distancia<=setpoint){
    // Serial.println(inputString1);
controller="1" ;
vw_send((uint8_t *)controller, strlen(controller));
vw_wait_tx();

    digitalWrite(13, 0); //Si el valor de input es 1, se enciende el pin
  }
  else
  {
    //Serial.println(inputString2);
controller="0" ;
vw_send((uint8_t *)controller, strlen(controller));
vw_wait_tx();
digitalWrite(13,1); //Si el valor de input es diferente de 1, se apaga el
pin LAMPARA
//delay(6000);
  }
}
// algoritmo de VNS
int optimizacion(int xmin, int xmax){
  x=0;
  x =xmin*1000 + (random(1000)*(xmax - xmin));
  xmin=xmin*1000;
  xmax=xmax*1000;
  if(x < xmin){
    x = xmin;
  } else if(x > xmax){
    x = xmax; }
  FIT = fobjetivo;
  obj = FIT;
  fit = fobjetivo;
  xrep=x;
  iter = iter + 1;
fbest = fit;
objbest = obj;
xbest = xrep; // Line 194 Matlab
if(x < xmin){ // Line 236 Matlab
  x = xmin;
}else if (x > xmax){
x = xmax;
}

  FIT = fobjetivo;

```



```

obj = FIT;
fit = fobjetivo;
xrep=x;
iter = iter + 1;

if (fit < fbest){ //Line 277
    fbest = fit;
    objbest = obj;
    xbest = xrep;}
if(x < xmin){ //Line 306
    x = xmin;
}else if (x > xmax){
x = xmax;
}
    xrep=x;
    iter = iter + 1;
xbest = xrep;
fbest = fit;
objbest = obj;
if(x < xmin){ //Line 367
    x = xmin;
}else if (x > xmax){
x = xmax;
}
    FIT = fobjetivo;
    obj = FIT;
    frep = fobjetivo;
    xrep=x;
    iter = iter + 1; // Line 467
    if(frep < fbest){
        fbest = frep;
        objbest = obj;
        xbest = xrep; // Line 489
    }else{xbest=EEPROM[ 1 ];}

    return xbest;
}

```

- **Prueba del algoritmo VNS.**

En la iteración 254, es donde nuestro algoritmo va a tomar la decisión de cambiar nuestro punto de referencia por si presentan un derramamiento o sigue manteniendo nuestro punto de referencia igual.

254 3.37 cm 0.00 fobjetivo de 255 0.00 fbest de 255 0 Litros/min
254 3.31 cm 0.01 fobjetivo de 255 0.00 fbest de 255 164 Nuevo setponit 0 Litros/min
254 3.78 cm 0.12 fobjetivo de 255 -0.01 fbest de 255

147 Nuevo setponit
0 Litros/min

254
3.78 cm
0.02 fobjetivo de 255
-0.12 fbest de 255
142 Nuevo setponit
0 Litros/min

254
3.78 cm
0.07 fobjetivo de 255
-0.02 fbest de 255
159 Nuevo setponit
0 Litros/min

254
4.05 cm
0.11 fobjetivo de 255
-0.07 fbest de 255
167 Nuevo setponit
0 Litros/min

254
3.59 cm
0.13 fobjetivo de 255
-0.11 fbest de 255
148 Nuevo setponit
0 Litros/min