

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR A ESCALA DE LABORATORIO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON DIGESTIÓN ANAEROBIA SECA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS

Trabajo de grado previo la obtención del título de Ingeniero en
Mantenimiento Eléctrico.

Autor:
Bryan José Torres Pijal

Director:
PhD. Gerardo Isaias Collaguazo Galeano



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100365213-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	TORRES PIJAL BRYAN JOSE		
DIRECCIÓN:	PARROQUIA LA ESPERANZA, BARRIO SANTA MARIANITA, GALO PLAZA LASSO 14-92		
EMAIL:	bjtorresp@utn.edu.ec ; bryant_torres@outlook.com		
TELÉFONO FIJO:	06 2660370	TELÉFONO MÓVIL:	0995451620

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR A ESCALA DE LABORATORIO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON DIGESTIÓN ANAEROBIA SECA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS
AUTOR (ES):	TORRES PIJAL BRYAN JOSE
FECHA: DD/MM/AAAA	08/08/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELÉCTRICO
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Gerardo Collaguazo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIA

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 08 días del mes de agosto de 2019

EL AUTOR:

Torres Pijal Bryan José



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESION DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
INVESTIGACION A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE.**

Yo, Torres Pijal Bryan José, con cedula de identidad No. 1003652136, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, articulo 4, 5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado denominado **“CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR A ESCALA DE LABORATORIO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON DIGESTIÓN ANAEROBIA SECA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS”**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, quedando la Universidad facultada para ejercitar plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no a sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional. En concordancia firmo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital y físico (impreso) a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma
Nombre: Torres Pijal Bryan José
C.I: 1003652136
Ibarra, agosto del 2019



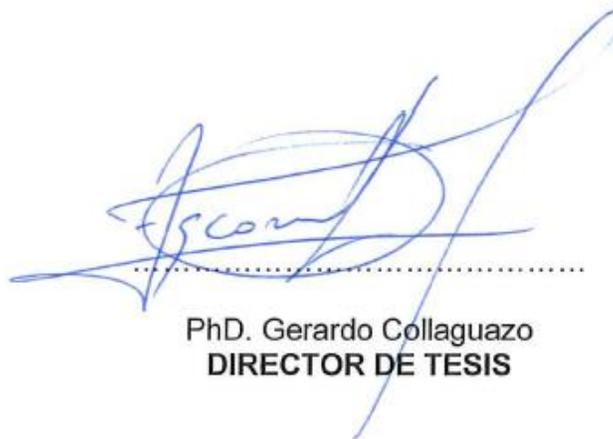
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN

PhD. Gerardo Collaguazo

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Torres Pijal Bryan José certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR A ESCALA DE LABORATORIO PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON DIGESTIÓN ANAEROBIA SECA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS”** para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico aprobando la defensa, impresión y empastado.



PhD. Gerardo Collaguazo
DIRECTOR DE TESIS

Dedicatoria.

Esta tesis la dedico para mis padres José y Martha quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me ayudaron a cumplir hoy un sueño más, gracias por día a día inculcarme el buen ejemplo del trabajo duro, el esfuerzo, valentía y de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A todas esas personas que, con su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar a mi lado en cada uno de mis momentos gracias porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona acompañándome de una u otra manera en mis sueños y metas.

Gracias a todos amigos y familiares que me apoyaron cuando más lo necesitaba, a esas personas que extendieron su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevare en mi corazón.

Agradecimiento.

Quiero recalcar mi gratitud hacia Dios, quien con su bendición llena y acompaña siempre mi vida.

Mi total agradecimiento a mi familia, amigos y a cada uno de los docentes que forman parte de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico por ayudarme en mi proceso de investigación y por los conocimientos compartidos a lo largo de estos años.

De igual forma mi total agradecimiento para la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas y al estimado PhD. Ing. Gerardo Collaguazo Galeano tutor de tesis y coordinador de carrera quien compartió valiosos conocimientos que aportaron a la culminación de este proyecto el cual me ayudo a desarrollarme en el aspecto profesional, gracias a todos y cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

También un agradecimiento para la industria metalúrgica INDUMEI la cual me ayudo con sus consejos en el área de construcción dirigiéndome, compartiéndome sus ideas con el fin de que el proceso de construcción de mi proyecto sea el más adecuado obteniendo los resultados esperados en la construcción de mi digestor.

Tabla de Contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
CONSTANCIA	III
CESION DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACION A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.	IV
ACEPTACIÓN	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimiento.....	VII
Tabla de Contenido.....	VIII
Índice de Figuras.	XI
Índice de tablas.....	XIV
Resumen	XV
Abstract	XVI
INTRODUCCIÓN	1
A.1. Contextualización	1
A.2. Planteamiento del problema	3
A.3. Problema	4
A.4. Justificación.....	4
A.5. Alcance.....	4
A.6. Viabilidad.....	5
A.7. Objetivos	5
CAPÍTULO 1.....	6
Digestión anaerobia seca y producción de biogás.....	6
1.1. Residuos sólidos urbanos.....	6

1.2. Digestión anaerobia.....	11
1.3. Digestores anaerobios.....	17
1.4. Aplicaciones del biogás	22
1.5. Parámetros del proceso de digestión anaerobia.....	25
CAPÍTULO 2.....	31
Diseño del digestor.....	31
2.1. Selección del biodigestor	31
2.2. Diseño geométrico del digestor	32
2.3. Diseño mecánico del digestor.....	35
2.4. Diseño del sistema de control.....	40
CAPÍTULO 3.....	57
Pruebas de funcionamiento	57
3.1. Construcción del digestor	57
3.2. Construcción de la placa	62
3.3. Instalación de la placa y sensores	66
3.4. Prueba de funcionamiento.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
REFERENCIAS	74
ANEXOS.....	83
Anexo A manual para diseño de recipientes a presión.....	83
Anexo B Programación OPC_SERVER	83
Anexo C Programación motor NEMA 17.....	91
Anexo D Programación prueba de sensores.....	92
Anexo E Manual de funcionamiento.....	95

Anexo F Dimensiones geométricas tanque digestor construido.	117
Anexo G Diseño 3D tanque digestor.	117
Anexo H Conexión tablero de control.	117

Índice de Figuras.

Figura 1 Proceso de digestión anaerobia.....	12
Figura 2 Clasificación de digestores anaerobios	18
Figura 3 Digestor tubular.....	20
Figura 4 Digestor tipo cúpula fija.....	21
Figura 5 Digestor tipo cúpula móvil	21
Figura 6 Aplicaciones del biogás.....	22
Figura 7 Partes del digestor	32
Figura 8 Partes geométricas del digestor	32
Figura 9 Dimensiones para tapas toriesféricas	34
Figura 10 Dimensiones geométricas del tanque de digestión anaerobio.....	35
Figura 11 Proceso general.....	41
Figura 12 Pantalla de inicio INTOUCH.....	41
Figura 13 Inicio de sesión	42
Figura 14 Proceso de digestión.....	43
Figura 15 Diseño módulo de comunicación serial.	44
Figura 16 Proceso de comunicación serial entre Arduino y OPC Server	49
Figura 17 Lectura de variables desde Arduino al servidor OPC	50
Figura 18 Escritura de valores a través del servidor OPC a Arduino.....	50
Figura 19 Instalación librería OPC de Arduino	51
Figura 20 Instalación librería Adafruit_MAX31865	53
Figura 21 Selección librería DHT	54
Figura 22 Librería RTC	55
Figura 23 Partes y dimensiones del digestor construido	57
Figura 24 Dimensiones de corte para cilindro	58
Figura 25 Dobles del cilindro.....	59

Figura 26 Tapa toriesférica	59
Figura 27 Corte para tapa toriesférica.....	60
Figura 28 Tapa toriesférica	60
Figura 29 Proceso de soldadura del tanque digestor.	61
Figura 30 Altura de base de fijación	62
Figura 31 Tanque digestor armado	62
Figura 32 Conexión de placa Arduino con las borneras necesaria para la conexión de elementos de medición y actuación del módulo.	63
Figura 33 Diagrama de conexión control motor NEMA17.....	63
Figura 34 Diagrama de conexión relé 5 voltios DC	64
Figura 35 Esquema conversor de 12 DC a 5 DC	64
Figura 36 Placa de control	65
Figura 37 Localización sensores de temperatura	66
Figura 38 Localización sensor nivel HC-SR04	67
Figura 39 Localización RTC DS3231	67
Figura 40 Localización Sensor PH	68
Figura 41 Ventana de acceso principal	68
Figura 42 Ventana de control principal.....	69
Figura 43 Gráficas del proceso	70
Figura 44 Alarmas del proceso	70
Figura 45 Configuración puerto serial	100
Figura 46 Ventana de configuración puerto COM	101
Figura 47 Ventana de configuración KEPServer	102
Figura 48 Creación de nuevo proyecto en KEPServer Configuration.	102
Figura 49 Tipo de canal para comunicación entre Arduino y KEPServer	103
Figura 50 Ventana de selección de servidor OPC.....	103

Figura 51 Servidores OPC disponibles	104
Figura 52 Ventana de selección de variables del servidor.....	104
Figura 53 Variables definidas en el servidor.....	105
Figura 54 Conexión estable con todas las variables.	105
Figura 55 Ventana principal System Managment Console	106
Figura 56 Ventana de configuración de un nuevo objeto OPC.....	107
Figura 57 Selección servidor OPC	107
Figura 58 Creación grupo de objetos OPC	108
Figura 59 Ventana de grupo de objetos OPC.....	108
Figura 60 Ventana de variables disponibles.....	109
Figura 61 Ventana de configuración del servidor en editor de INTOUCH.....	109
Figura 62 Topic Name para comunicación entre Arduino eh Intouch	110
Figura 63 Conexión alimentación externa	116

Índice de tablas.

Tabla 1 Clasificación de residuos sólidos orgánicos	7
Tabla 2 Composición de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.....	9
Tabla 3 Impactos ambientales	10
Tabla 4 Composición del biogás en función de residuos sólidos urbanos.....	11
Tabla 5 Comparación entre digestión anaerobia húmeda y digestión anaerobia seca.	17
Tabla 6 Rangos de temperatura.....	26
Tabla 7 Características de diseño del biodigestor.....	31
Tabla 8 Parámetros iniciales de diseño.....	31
Tabla 9 Datos típicos de densidad para residuos domésticos.....	36
Tabla 10 Parámetros mecánicos para diseñar el tanque.....	39
Tabla 11 Usuarios y contraseñas para ingreso	42
Tabla 12 Grosor de caminos para placa PCB	44
Tabla 13 Sensores conectados a la placa.....	45
Tabla 14 Condicionadores para Arduino	47
Tabla 15 Instrumentos de control con relés de 5V	48
Tabla 16 Elementos de corriente alterna.....	48
Tabla 17 Comandos librería RTC.....	56
Tabla 18 Lista de materiales para construcción de la placa de control.....	65

Resumen

En la actualidad aun cuando existen maneras de aprovechar los residuos orgánicos la mayor parte de la población no lo hace pues en su mayoría los residuos se desechan y generan contaminación ambiental ya que estos terminan en rellenos sanitarios los cuales no realizan ningún tipo de tratamiento de estos, causando así gases nocivos para el espacio terrestre. Para recuperar la energía contenida en los desechos existen varios métodos, entre uno de los que se pueden nombrar tenemos al proceso de digestión anaerobia, el cual es un proceso que se aplica para generar energía en forma de gas. El tratamiento anaerobio es un método en el cual muestra beneficios aceptables ya que al aplicar un método de esta clase los gases emitidos de la mayoría de los residuos orgánicos son aprovechados. Este procedimiento se aplica mediante la implementación de digestores libres de oxígeno. Para este proceso se controla las variables de temperatura, pH, recirculación de lixiviado, humedad, etc. En este sentido, se ha diseñado, construido y automatizado un digestor para digestión anaerobia seca la cual se monitoriza mediante un sistema de control. El sistema de control tiene como base un microcontrolador Arduino, el cual tiene la función de procesar la información de los diferentes sensores implantados en el proceso y ejecutar las órdenes a las salidas de este. Se conoce que Arduino es una placa usada en proyectos relacionados con la electrónica y robótica, pero en este proceso se pretende usar un microcontrolador Arduino para controlar y monitorizar las variables del proceso las cuales serán monitoreadas a través de un sistema HMI desarrollado en el programa de diseño Intouch demostrando que al implementar un sistema de control para un proceso de generación de biogás presenta ventajas como control y monitoreo del proceso en tiempo real, mediante la aplicación del control a través del microcontrolador se logrará reducir los costos de los equipos necesarios para poder desarrollar el control automático el cual en la mayoría de las ocasiones necesitaría de la implementación de equipos industriales, esto se logrará a partir de un diseño propio de una placa PCB donde estarán montados y conectados todos los elementos necesarios que desarrollarán el control y dar seguimiento al proceso para eso el sistema HMI debe mantenerse conectado en todo momento al sistema de control esto se ejecuta mediante la aplicación de un servidor OPC el cual crea la interfaz entre Arduino eh Intouch de esta forma se podrá verificar que un microcontrolador Arduino es capaz de realizar el proceso de control con resultados muy satisfactorios donde normalmente se tendría que adquirir un PLC para el control de este proceso.

Palabras clave: anaerobia, residuos, energía, biogás, control, HMI

Abstract

Currently, even when there are ways to take advantage of organic waste the majority of the population does not take it, so most of the waste is discarded and generate environmental pollution because they end up in landfills which do not perform any treatment, causing harmful gases for the earth's atmosphere. To recover the energy contained in the waste there are several methods among those that can be named that have the anaerobic digestion process, it is applied to generate energy in the form of gas. The anaerobic treatment is a method that shows acceptable benefits when it is applying this class of gases released from most organic waste that are used. This procedure is applied through the oxygen free digesters implementation. For this process the variables of pH, leachate recirculation are controlled, temperature, humidity and amount of leachate are monitored. Accordingly a digester for dry anaerobic digestion was designed, built and automated and is monitored by a control system. The control system is based on an Arduino microcontroller, which has the function of processing the information from the different sensors implemented in the process and performing the commands to the process outputs. It is known that Arduino is a board used in projects related to electronics and robotics, but in this process it is tried to use an Arduino microcontroller to control and visualize the variables of the process which will be monitored through an HMI system developed in the Intouch design software showing that by implementing a control system for a biogas generation process has advantages such as control and monitoring of the process in real time, through the control application by the microcontroller it will be possible to reduce the necessary costs equipment to develop the automatic control which in most of the occasions would need the industrial equipment implementation this will be achieved starting an own design of a PCB board where all the necessary elements will be assembled and connected that will develop the control and follow up the process, the HMI system is to be kept connected at any time to the control system this is performed by an OPC server application which creates the interface between Arduino eh Intouch in this way you can verify that an Arduino microcontroller is able to perform the control process with very satisfactory results where normally you would have to acquire a PLC for process control.

Keywords: Anaerobic, Waste, Energy, Biogas, control, HMI

INTRODUCCIÓN

A.1. Contextualización

Según (Andino Bermúdez, Martínez Arcia, & López, 2015) en el año 1890 se construye un biodigestor a escala real en la India y a partir del año 1896 en Inglaterra las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los biodigestores creados para realizar la fermentación de los lodos cloacales de la ciudad. Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás, en Europa, China e India, que se transforman en líderes en la materia, esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles (Andino Bermúdez et al., 2015), a fines del siglo XIX y durante las primeras décadas de nuestro siglo en varias ciudades de Europa, India y Estados Unidos se instalaron plantas para el tratamiento de aguas negras (Redel, 2014), en este proceso se producía gas metano que se utilizaba para el alumbrado público o como parte del combustible necesario para operar la planta.

En la década de 1950, en Asia y particularmente en la India, se desarrollan modelos simples de cámaras de fermentación más conocidos como biodigestores, para la producción del Biogás y Bioabono apropiados para hogares de aldeanos que eran alimentados con estiércol y desechos vegetales. (Redel, 2014)

Los residuos sólidos orgánicos domiciliarios son aquellos materiales, artículos, productos, desechos, basuras o desperdicios generados por actividades humanas en los diferentes hogares y que son descartados por no ser de utilidad en ese momento. (Pérez Del Pozo, 2018). En otras palabras, es la basura orgánica generada por el hombre y que actualmente se ha convertido en un problema de contaminación ambiental para el planeta (Pineda, 2017), debido a que los residuos domésticos del tipo orgánico se acumulan en los botaderos sanitarios y sin ninguna clase de tratamiento pueden generar lo que se denomina gases contaminantes como dióxido de carbono y metano que contaminan al ambiente, provocando el aumento de enfermedades infecciosas en los seres vivos y efectos de calentamiento global en el planeta. (Pérez Del Pozo, 2018)

Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante para su uso como energía eléctrica, térmica, etc. (ABOUTESPAÑOL, 2018).

Según Vallejos (2013) el hombre está pagando altos costos ambientales para obtener energía calórica y energía eléctrica. Pues el problema ambiental se radica en que no se realiza un tratamiento adecuado de los desechos sólidos orgánicos, los que normalmente, terminan en el relleno sanitario, siendo la peor de sus consecuencias la contaminación de las napas freáticas por lavado del suelo, esto quiere decir que terminan contaminando las aguas subterráneas, debido a que el potencial de absorción de radiación del metano (CH_4) es de 21 veces superior al del dióxido de carbono (CO_2) el cual es uno de los principales productores del efecto invernadero en el planeta.

Se sabe que un biodigestor puede tener mayor uso en zonas rurales. (Pazmiño Macas, 2016). Ya que, con esta forma de energía que se suministra se puede ayudar a mejorar el consumo familiar de una manera ambientalmente sostenible debido a que la materia prima usada ósea la materia orgánica se produce a diario en cada uno de nuestros domicilios, económicamente rentable porque resulta ser una fuente energética de bajo costo para cocinar o calentar agua supliendo así las necesidades básicas del hogar (Lara, 2013), y de fácil acceso porque la materia prima necesaria para realizar el proceso se la puede adquirir fácilmente. (Pazmiño Macas, 2016).

El biogás es uno de los subproductos que se obtiene de la operación eficiente de un biodigestor, como producto de la mezcla de gases que ocasiona la fermentación de la materia orgánica (Cedeño Peñafiel & Tola Cisneros, 2015), se especifica que un metro cubico de biogás totalmente combustionado debe estar compuesto por el 50 – 75 por ciento de metano CH_4 y el 30-45 por ciento de dióxido de carbono CO_2 , (Herrera Pilotzi, 2017) con este porcentaje es suficiente para generar 1,20 kW/h de electricidad lo que equivale a 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 vatios también, pone a funcionar un refrigerador de 1 m^3 de capacidad durante 1 hora, pone a funcionar una incubadora de 1 m^3 de capacidad durante 30 minutos y logra hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas. (Cedeño Peñafiel & Tola Cisneros, 2015).

Según, Gualoto Chiza & Zambrano Fernández (2013) para poder obtener gas metano de un biodigestor se considerarán unas cuantas condiciones básicas para su generación como son: el tipo de materia prima, la temperatura en el biodigestor entre los 20°C y 60°C, el tiempo de retención, pH (nivel de acidez/alcalinidad que debe ser de alrededor de siete), el ambiente debe ser estrictamente anaeróbico (Ausencia de oxígeno), y debe existir equilibrio entre carbono y nitrógeno.

En Ibarra se produce alrededor de ciento treinta toneladas de desechos sólidos urbanos y 250 toneladas en la provincia, que terminan en los rellenos sanitarios que se descomponen en el ambiente y no se los aprovecha energéticamente. (El Telégrafo, 2016).

A.2. Planteamiento del problema

La cantidad de residuos orgánicos domiciliarios en promedio cada ecuatoriano produce 0,58 kg/día. De esta cantidad entre el (50 – 60) %, es materia orgánica, según datos tomados del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). Si se considera un promedio de 5 personas por familia la cantidad de desechos sería de 2,9 kg por familia de lo cual el 1,25 - 1,5 kg son residuos orgánicos producidos diariamente.

De esta forma, es como radica nuestro problema, pues, debe haber un manejo adecuado de los restos del tipo orgánico para poder reducir la contaminación ambiental producida por la materia orgánica en proceso de descomposición produciendo gases que son esparcidos en el medioambiente con un alto contenido de metano (hasta 65 %) y que se producen con la descomposición natural de la materia y se esparce a la atmósfera.

En la ciudad de Ibarra y sus alrededores los desechos orgánicos normalmente no son aprovechados estos causan un gran daño para el ecosistema en general. Estos desechos pueden producir sustancias que resultan perjudiciales para el suelo, y los recursos ambientales como el agua que son muy necesarias para el consumo humano. No solo afectan a los recursos naturales, los desperdicios no aprovechados influyen en la producción de gases de efecto invernadero los cuales potencian el cambio climático del planeta.

Hoy en día el ser humano es muy dependiente de los recursos energéticos, pues, para el hombre moderno una vida sin iluminación, calefacción, refrigeración, transporte es indispensable. Lo cual esta excesiva dependencia de energía ha llevado al hombre a consumir recursos no renovables.

En el país la producción de energía está centrada en energías en el cual se utiliza materia prima de fuentes no renovables y no se le da la importancia necesaria a energías alternas que pueden mejorar el consumo de energía más amigables con el ambiente, entonces, es necesario poner en marcha un método que sea amigable con el medioambiente y que ayude a aprovechar todos los residuos orgánicos producidos en cada domicilio que se desperdician.

A.3. Problema

¿Cómo aprovechar los residuos sólidos orgánicos domiciliarios, para la producción de energía por medio de un biodigestor?

A.4. Justificación

Con la construcción de un biodigestor a escala de laboratorio para producción de biogás con digestión anaerobia seca a partir de residuos sólidos orgánicos domiciliarios se propone la implementación de un método alternativo de producción de energía de manera económica y amigable con el ambiente el cual será de ayuda para generar energía usada para iluminación en lugares en donde aún sea de difícil acceso el suministro de energía eléctrica, ya que, en países desarrollados están optando por aprovechar todos los recursos que en nuestro país aún no se aprovechan. También el biogás producido servirá como energía térmica para la cocción de alimentos como también iluminación a través de lámparas de gas.

De esta forma, aseguramos un cambio de matriz energética del país ya que si se aplicara métodos con mayor frecuencia este tipo de energía renovables se estaría dando prioridad a la protección ambiental y sostenibilidad, por medio del tratamiento de la materia orgánica, conforme lo estipula el Programa Nacional de Gestión Integral de los Desechos Sólidos. Además, el objetivo tres del Plan Nacional de Desarrollo, que menciona el derecho de la población a vivir en un ambiente equilibrado desde el punto de vista de la salud y ecología.

A.5. Alcance

Se realizará toda la investigación relacionada con la forma de construcción del biodigestor, y se construirá un biodigestor de residuos sólidos orgánicos domésticos para la producción de biogás. Este biodigestor será del tipo discontinuo ya que el residuo se depositará al inicio del proceso y la descarga se hace hasta que finaliza el proceso de digestión en el depósito. Además, permitirá realizar las mediciones de los parámetros del proceso como: pH, temperatura, calidad y cantidad de biogás producido, reducción de sólidos volátiles domiciliarios, etc.

El biodigestor estará conformado por el proceso de tratamiento de los residuos, para poder usar estos residuos orgánicos se debe garantizar que los residuos ingresados sean triturados y de esta forma su tratamiento sea más fácil, y asegurar que el biodigestor mantenga en constante circulación del lixiviado en el tanque de almacenamiento. Este biodigestor servirá para realizar una propuesta futura de implementación de dicho sistema en zonas rurales donde exista difícil

acceso del GLP (gas licuado de petróleo) y energía eléctrica. Todo el proceso estará controlado mediante un sistema automático de control y HMI para visualizar la evolución de los parámetros de proceso.

A.6. Viabilidad

El presente proyecto es factible por cuanto el marco legal lo permite (como se mencionó anteriormente). Además, porque en un futuro se puede escalar o producir biogás suficiente y de buena calidad (alto contenido de metano) para ser utilizado en la producción de energía eléctrica por medio de motores de combustión interna modificados. Además, no solo se puede usar como combustible para moto generadores sino que también mediante la producción de biogás se lo podría aprovechar para sustituir el GLP que hoy en día es muy utilizado para procesos de cocción de alimentos, calefacción de domicilios entre otras aplicaciones que fácilmente pueden ser operadas con biogás y también que mediante el aprovechamiento de esta variedad de energía alternativa estamos reduciendo costos asociados a la producción de energía eléctrica y de gas tradicional utilizados en la actualidad.

De esta forma, estamos garantizando disminuir el volumen de materia orgánica en los rellenos sanitarios los cuales como ya se mencionó anteriormente no disponen de una alternativa adecuada de tratamiento de estos con el único fin de mejorar las condiciones ambientales de una zona determinada en donde se pueda realizar la implementación a futuro de este método de tratamiento de los residuos orgánicos.

A.7. Objetivos

General

Construir un biodigestor a escala de laboratorio para producción de biogás mediante digestión anaerobia seca a partir de residuos sólidos domésticos para usos de generación de energía.

Específico

- Investigar las técnicas de producción de biogás a través de digestión anaerobia.
- Diseñar el biodigestor a escala de laboratorio con su respectivo sistema de control.
- Implementar el biodigestor a través de pruebas de funcionamiento

CAPÍTULO 1

Para la investigación se desea conocer los principales parámetros de producción de biogás. Por lo que se estudia el proceso de digestión anaerobio sus métodos, etapas, y parámetros necesarios del proceso. También se investigan los tipos de digestores explicando los más comunes para el proceso de generación de biogás. Por medio de digestión anaerobia, las aplicaciones de biogás son varias las cuales también se describen las más importantes. Por último, se debe conocer los parámetros más importantes del proceso de generación de biogás. Todos estos temas mencionados se incluyen en el primer capítulo como herramienta de estudio inicial para la investigación.

Digestión anaerobia seca y producción de biogás

1.1. Residuos sólidos urbanos.

Entendemos que los residuos sólidos urbanos son todo aquel material que se abandona como desperdicio que a simple vista no se utiliza. Estos desechos normalmente se los obtiene de procesos de industrias, transformación, manejo, consumo o limpieza.(Castillo Uruchima & Moreno Quinto, 2013) Los residuos sólidos no presentan características de peligrosidad y normalmente surgen del consumo o uso de un bien por tanto los residuos sólidos tienen una clasificación específica que es de acuerdo con la biodegradabilidad. Dentro de esta clasificación se encuentran los residuos sólidos orgánicos y los residuos sólidos inorgánicos.

1.1.1. Residuos sólidos orgánicos

Son residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico y que se los pueden metabolizar a través de medios biológicos. (Alvaro Gualoto & Olives Erazo, 2013) Los residuos sólidos orgánicos pueden ser clasificados según su fuente de generación y por su naturaleza o características físicas conforme se explica en la Tabla 1 (Hurtado Rangel, Loaisa Issa, & Velilla Castro, 2017)

Tabla 1 Clasificación de residuos sólidos orgánicos

Según su Fuente de Generación	
Residuos sólidos provenientes del barrido de las calles	Se considerará a todos los residuos almacenados en los contenedores públicos, el contenido de residuos puede ser muy variado.
Residuos sólidos institucionales	Proviene de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas; se los caracteriza sobre todo por contener papeles, cartones y residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.
Residuos sólidos de mercados	Son residuos provenientes de la comercialización de productos en los mercados de abastos. Sus subproductos son excelente fuente para el aprovechamiento orgánico y en especial para la producción de compost y fertilizante orgánico.
Residuos sólidos de origen comercial	Proviene de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes. Estos son la fuente con mayor producción de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de alimentos preparados. Pretenden de un trato especial por ser fuente aprovechable para la alimentación de ganado porcino.
Residuos sólidos domiciliarios	Proviene de hogares, cuya característica puede ser variada, pero que sobre todo contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles.
Según su Naturaleza o Característica Física	
Residuos de alimentos	Se componen de alimentos que proceden de diversos orígenes, entre ellos: restaurantes, comedores, hogares y otros

	establecimientos de expendio de alimentos.
Estiércol	Restos excrementicios de animales (ganado) que se aprovechan para su transformación en Bioabono o para la generación de biogás.
Restos vegetales	Proceden de podas o deshierbe de jardines, parques u otras áreas verdes; también se consideran algunos restos de cocina que no han sido sometidos a técnicas de cocción como legumbres, cáscara de frutas, etc.
Residuos de papel y cartón	Se generan en su mayoría de actividades comerciales y domiciliarias, los mismos que por estar compuestos por fibra celulosa simbolizan un gran potencial orgánico para su reciclaje.

Fuente: (Alvaro Gualoto & Olives Erazo, 2013; Hurtado Rangel et al., 2017)

1.1.2. Residuos sólidos inorgánicos.

Se conoce como residuos sólidos inorgánicos (no biodegradables) a aquellos cuyas características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. Muchos de ellos son de origen natural pero no son biodegradables. (García, Toyo, Acosta, Rodríguez, & Zauahre, 2014). Estos residuos no son obra directa del entorno natural sino de la expansión industrial de recursos naturales, tales como vidrio, metales, residuos de construcción y demolición, tierra, cenizas. (Agüero, 2014)

1.1.3. Composición física de los residuos sólidos urbanos.

En datos considerados en el documento técnico del Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC, (2016) nos explica que en el país la producción de residuos sólidos urbanos que una persona produce a diario es de aproximadamente 0.58 kg/día por habitante de los cuales el 53% son residuos orgánicos y el 47% restante representan a los residuos inorgánicos. Según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Censo en el Ecuador hasta el año 2010 existe una población de 14.483.499 habitantes, lo cual representa que a diario se producen 8.400.430 toneladas de residuos de los cuales 4.452.228 toneladas son residuos orgánicos y 3.948.202 toneladas son residuos inorgánicos. (INEC, 2016)

De esta forma se establece la composición típica de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos según se detalla en la Tabla 2

Tabla 2 Composición de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.

Residuos sólidos	Composición típica	Composición específica
Orgánica	Percibibles	Alimentos, Vegetales
	Papel y cartón	Papel, Cartón
	Plásticos	Polietileno tereftalato, Polietileno de alta densidad, Cloruro de polivinilo (PVC), Polietileno de baja densidad, Polipropileno, Poliestireno, Otros plásticos multicapa
	Telas y vestimenta	Productos textiles, Alfombras, Goma, Pielés
	Residuos de jardín	Restos de poda.
	Madera	Restos de madera
	Residuos orgánicos	Huesos
	Inorgánica	Metales
Cristales		Incoloros, Coloreados
Tierra, cenizas, etc.		Tierra, sólidos de desbaste, Cenizas, Piedras, Ladrillos (teja, adobe, etc.)
No clasificados		Objetos voluminosos

Fuente: (Agüero, 2014; Sánchez Oña & Villalva Fernández, 2015)

1.1.4. Efectos sobre el ambiente

Según Agüero, (2014) la incorrecta disposición o manejo de los residuos sólidos contamina tres recursos básicos para la vida: el agua, el suelo y el aire, conforme se detalla a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3 Impactos ambientales

RECURSOS	CONSECUENCIAS
Contaminación del Agua	Los líquidos lixiviados pueden alcanzar y contaminar fuentes superficiales, o verse infiltrados en el terreno tomando contacto con aguas subterráneas principalmente las más superficiales (primera capa freática). No solo el lixiviado contamina las aguas superficiales, sino también cuando se arroja los residuos en ríos y arroyos.
Contaminación del Suelo	Las grandes acumulaciones de residuos dispersos en el territorio de forma incontrolada generan el deterioro y contaminación del entorno. Particularmente la gran cantidad de plásticos y desechos artificiales no biodegradables constituyen un serio problema, pues producen alteraciones importantes del paisaje en las zonas próximas y a veces distantes de los lugares de descarga de residuos. Incluso estos productos, que no se integran en el medio con el paso del tiempo y que no pueden ser mineralizados por los organismos descomponedores, pueden llegar a perjudicar e impedir los procesos de autogeneración natural de la cubierta vegetal.
Contaminación del aire	Los residuos generan dos tipos de gases: gases de efecto invernadero, como el metano (CH ₄) y el dióxido de carbono (CO ₂) derivados de la combustión de los residuos y generados en el propio vertedero, cuyas propiedades retienen el calor generado por la radiación solar y elevan la temperatura de la atmosfera; los degradadores de la capa de ozono, productos que por los agentes químicos empleados en su elaboración generan ciertos gases conocidos como clorofluorocarbonos o CFC, gases que se utilizan como propulsores de aerosoles para el cabello, pinturas y desodorantes. Cuando los envases de dichos productos son arrojados se convierten en fuentes de emisión de estos gases.

Fuente: Elaborado a partir de (Agüero, 2014)

Los residuos sólidos representan un serio problema ambiental ya que su inapropiado manejo genera un impacto negativo que incorporan una amenaza para la sostenibilidad y sustentabilidad ambiental. Es por eso por lo que se debe considerar un adecuado cuidado del manejo de los residuos generados. (Alvaro Gualoto & Olives Erazo, 2013).

1.2. Digestión anaerobia

Digestión anaerobia es un proceso microbiológico anóxico que sucede en ambientes naturales. Sin embargo, este proceso es estimado como el más antiguo. Su concepción se basa en la cuarta generación de biocombustibles para la captura y transformación directa de dióxido de carbono en metano. (Munisamy, Ravichandran, Natarajan, & Varadhaaraju, 2017)

Mediante este proceso se logra desintegrar, transformar y estabilizar materia orgánica biodegradable gracias a la acción de varios grupos de microorganismos, la digestión anaerobia se desarrolla en un ecosistema libre de oxígeno. (Hernández Romero, 2016) Se debe considerar que en el proceso de digestión anaerobia el 90% de la energía aprovechable por oxidación directa se convierte en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano. (Garcés Hernández, Gutiérrez Forero, & Reyes Alfonso, 2014).

La digestión anaerobia descompone la materia orgánica generando subproductos como son el biogás este producto se compone principalmente por metano (50-75% CH₄) y dióxido de carbono (25-50% CO₂), como se observa en la Tabla 4. (Vanegas Cárdenas, Mariscal Moreno, Camargo Valero, & Aristizábal Zuluaga, 2015).

Tabla 4 Composición del biogás en función de residuos sólidos urbanos.

COMPONENTE	CONTENIDO %
Metano (CH ₄)	50-75
Dióxido de carbono (CO ₂)	25-50
Nitrógeno (N ₂)	≤1
Oxígeno	≤1
Hidrógeno (H ₂)	≤2
Amoniaco (NH ₃)	<1
Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	≤8

Fuente: Elaboración propia a partir de (Hernández Romero, 2016)

Entre los elementos que componen el biogás podemos notar que el porcentaje de metano (CH_4) y Dióxido de carbono (CO_2) predominan en la generación de biogás de buena calidad para ser usado como combustible ya sea para generación eléctrica por medio de moto generadores o para calefacción y cocción de alimentos. (Hernández Romero, 2016) Sin embargo, se deben conocer que no solo se tienen dos elementos para producir biogás también hay elementos que se deben considerar para obtener biogás apto para usos de generación de energía eléctrica.

1.2.1. Etapas del proceso biológico de digestión anaerobia.

El proceso de digestión anaerobia consta de cuatro etapas las cuales deben ejecutarse de manera coordinada para que el proceso de digestión sea óptimo, las etapas que conforman el proceso son: Hidrólisis, Fermentación o acidogénesis, Acetonegénesis, Metanogénesis. (Castro Soto, 2016)

En la Fig. 1 se presenta el esquema del proceso de digestión anaerobia detallando las etapas del proceso, con los principales microorganismos que actúan en cada uno de los procesos.

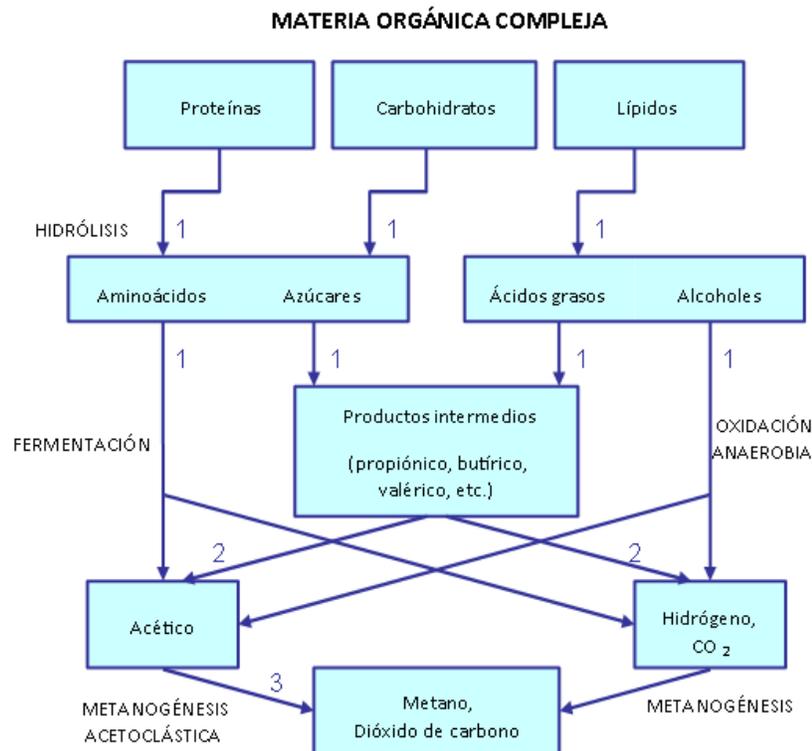


Figura 1 Proceso de digestión anaerobia

Fuente: (Compostaje, 2014)

Hidrólisis

Esta etapa se desarrolla por enzimas extracelulares las cuales son excretadas por las bacterias fermentativas que descomponen la materia orgánica en nutrientes como: alcoholes, azúcares, aminoácidos y ácidos grasos volátiles de bajo peso. Dando como resultado energía de la materia orgánica se redistribuye en 5% en hidrógeno, 20% en ácido acético y 75% en los compuestos orgánicos de moléculas más pequeñas durante la hidrólisis. (Celaya Aguilar & Soto Rivero, 2014)

Esta fase es la limitante de la velocidad del proceso global en aquellos casos en que se traten residuos con alto contenido en sólidos. El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso dependen del tamaño de partícula y tipo de materia orgánica particulada, de la concentración de biomasa hidrolítica y de factores ambientales, tales como pH y temperatura. (Compostaje, 2014; Reyes, 2017).

Acidogénesis

En esta etapa todas las moléculas orgánicas fáciles de disolver son fermentadas por diversos microorganismos fermentativos formando combinaciones de menor peso molecular, tales como ácido láctico, etanol, ácido propiónico, ácido nítrico, ácido acético, ácido fórmico, e H_2 . Estos compuestos deben conformar sustratos para las bacterias metanogénicas mediante la oxidación por bacterias acetogénicas. (Compostaje, 2014).

Aquí el 10% de la energía se libera en forma de hidrógeno, 35% en ácido acético, y el resto reservado en el VFA (ácidos grasos volátiles). (Celaya Aguilar & Soto Rivero, 2014) El H_2 debe encontrarse en niveles muy bajos por lo que mediante una eliminación continua con oxidación de CO_2 estimulando la acción de las bacterias fermentativas. (Compostaje, 2014)

Acetogénesis

Esta etapa es la encargada de convertir los productos finales obtenidos en la etapa acidogénica, en esta etapa vamos a obtener productos más sencillos como son el acetato e hidrógeno, que serán metabolizados por los organismos metanogénicos. Estas bacterias acetogénicas dependen necesariamente de las reacciones de transferencia de hidrógeno entre distintos microorganismos ya que no tienen otras posibilidades metabólicas. Así, el principal significado de estos microorganismos en el proceso de digestión anaerobia es el de donantes de hidrógeno, dióxido de carbono y acetato a las arqueas metanogénicas. (Compostaje, 2014; Reyes, 2017)

Metanogénesis

Esta última etapa se encarga de la eliminación de los productos generados en las etapas anteriores y la producción de CH_4 a partir de microorganismos metanogénicos a partir de sustancias mono-carbonadas o con dos átomos de carbono fusionados por un enlace covalente: acetato, H_2 , CO_2 , formiato, metanol y algunas metilaminas. (Compostaje, 2014)

Se sabe que un porcentaje aproximado al 70% de metano generado en un digestor anaerobio procede del ácido acético, el ácido fórmico y el dióxido de carbono. (Araujo Lascano, 2014) Para que dentro del digestor se produzca una digestión estable se debe considerar las concentraciones de sustancias intermedias que vienen a ser el ácido acético debería ser menor de 10 ppm (partes por millón) y menos del 0.1 % de hidrógeno en el gas. Formando una dinámica caída de la generación de metano y la acidificación del proceso de digestión. (Blanco Cobián, 2011)

Se puede observar que en cada etapa del proceso de digestión anaerobio es importante ya que realiza una actividad específica necesaria para completar el proceso de producción de biogás de buenas características químicas.

Se puede especificar dos tipos de digestión anaerobia.

1.2.2. Digestión anaerobia húmeda

La digestión anaerobia húmeda se caracteriza por poseer un porcentaje de residuos sólidos secos menores al 15%, (Pacheco González, 2016) en este proceso el residuo sólido debe ser establecido en una determinada concentración de agua y desechos sólidos al proceso.

De acuerdo con lo mencionado en Diaz De Basurto Burgos, (2013) las ventajas del proceso que deben ser consideradas son la dilución de sustancias inhibitoras que inactiva los microorganismos anaerobios los cuales rápidamente reducen la producción de biogás debido al agua que se utiliza en el proceso y también que se requieren de equipos mecánicos menos sofisticados para el proceso de digestión. Pero, una de sus desventajas principales se puede decir que es el complicado pretratamiento de residuos y el alto consumo de agua y energía que se usan para controlar la temperatura del digestor.

Así pues, los principales beneficios de la digestión anaeróbica húmeda que según San Millán Cossío, (2017) menciona son:

- La flexibilidad utilizable en el procesamiento de los materiales en los procesos de tratamiento.

- Pequeña inversión y costes operativos en plantas de moderado tamaño, que, a comparación con la digestión anaerobia seca, ya que en la mayor parte de los casos demanda de plantas en las que se manejan volúmenes grandes de material y así garantizar que el proceso sea rentable.
- Desulfuración orgánica compuesta en el proceso de digestión anaeróbico a los que se someten los bioresiduos.

1.2.3. Digestión anaerobia seca

El proceso de digestión seca se usa con mayor frecuencia con residuos sólidos municipales o vegetales. Para San Millán Cossío, (2017) este proceso de digestión presenta una consistencia de materia orgánica de un 20% a 40% o más. (Diaz De Basurto Burgos, 2013)

Este tipo de digestor presenta menos problemas en los cuidados y mantenimiento de las instalaciones por lo tanto la digestión anaerobia seca solicita de menos cantidad de calor lo que representa un consumo de energía reducido en el proceso de biodigestión.

Según, San Millán Cossío, (2017) nos determina algunas peculiaridades importantes que se deben conocer del proceso de digestión anaerobia seca.

Características.

- La proporción de consistencia en materia sólida por cantidad de sólidos totales para digestión anaeróbica húmeda es mayor.
- Para el proceso de digestión la cantidad de calor es más baja por lo que representa menor consumo de energía.
- Generalmente presenta mayor tolerancia a la aparición de contaminantes o materiales inadecuados al proceso de biodigestión.
- Se pueden generar en recipientes de gran tamaño de almacenamiento en el que se desarrolla el proceso.
- Suceso de gestión de diversos digestores a la vez.
- Este proceso es considerado más simple, demanda de menos equipamiento, mantenimiento e infraestructuras (tuberías, agitadores, alimentadores).
- Produce el digestato sólido directamente aplicable, equivalente a los fertilizantes orgánicos.
- Tiene la capacidad suficiente de usar varias sustancias por cada número de digestores.

Desventajas.

- Solicita de infraestructuras o maquinaria específica para ejecutar las labores de carga y descarga del digestor.
- Son necesarios instalar sistemas de gestión de la variación de producción de biogás y la temperatura que se alcanza en el proceso que se desarrolla en los digestores tipo encierro.
- Bioresiduos no llegan a ser mezclados en su totalidad en los depósitos de digestión.
- El proceso microbiano ha de controlarse y comenzar para cada lote de bioresiduos en sistemas discontinuos de digestión anaeróbica seca, los más comunes.
- Los volúmenes solicitados para el proceso son espacios grandes debido a que las características que muestran los bioresiduos en su forma seca.

1.2.4. Digestión anaerobia húmeda vs Digestión anaerobia seca. Análisis comparativo.

Si puede realizar un análisis comparativo entre la digestión anaerobia húmeda y la digestión anaerobia seca así se puede expresar y reconocer las diferencias entre estos dos procesos de digestión, estas diferencias se describen en la Tabla 5 con el fin de entender de manera más clara los puntos fuertes que caracterizan a cada uno de estos métodos.

El proceso de digestión anaeróbica en seco es una alternativa a la digestión húmeda, según San Millán Cossío, (2017) afirma que el método de digestión anaerobia seca es: “una manera de optimizar el valor de los residuos, ya que, en una planta de digestión húmeda, muchas de las capacidades para tratar de valorizar la fracción orgánica seca de los RSU están limitadas por las propias características aplicadas al proceso de tratamiento de los residuos con alto porcentaje de humedad.”

Una de las principales características del digestor húmedo, es que presenta la humedad al estar presente en el medio su procesamiento es más cómodo, por lo que se obtiene una mezcla óptima de los otros elementos que componen los residuos y por tanto debido a la mayor interacción entre sus partes un alto provecho en el proceso de generación de biogás.

En algunas porciones en el proceso los precios de trabajo son más imperceptibles a comparación del tipo de proceso llevado a cabo con material en seco, debido al medio fluido del propio método por vía húmeda. Ya que según Passeggi (2018) indica que “la fermentación de la materia muestra menos conflicto de separación entre las partículas al estar trabajando en un

medio húmero con agitadores, lo que conlleva un menor grado de disgregación y separación entre partículas.”

Tabla 5 Comparación entre digestión anaerobia húmeda y digestión anaerobia seca.

	Húmeda	Seca
ST (Sólidos totales)	<15%	>20%
Resistencia a la transferencia de masa	Baja	Alta
Residuo	Fluido	Sólido
Modelo de flujo	Generalmente reactores de mezcla continua	Reactor de pistón
Agitación	Mecánica o recirculación del contenido o de gas	Recirculación de lodos Reciclo de biogás Mecánica radial
Volumen para gestionar (volumen de agua)	Mayor	Menor
Sedimentos y flotantes	Posible problema	No
Residuo al que se adapta mejor	Residuos con alto contenido de agua	Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) y residuos animales (si se hace limpieza en seco).

Fuente: Elaborado a partir de (Passeggi, 2018)

1.3. Digestores anaerobios

Un digestor anaeróbico es un depósito cerrado que cumple la función de descomponer la materia orgánica en circunstancias anaeróbicas, es decir, descomposición de los desechos orgánicos, por medio de bacterias que trabajan en ausencia de oxígeno el cual proporciona la extracción del gas resultante para su uso como energía. (Zambrano Soledispa, 2017)

Según Román Gía, (2016) los biodigestores en la actualidad constituyen una alternativa eficiente y rentable para aprovechar la energía de lo que fue considerado desechos solamente.

Los digestores anaerobios se pueden clasificar de diferentes maneras según se menciona en Brusi & Navaz, (2017) que los clasifican de acuerdo al sistema de abastecimiento de la materia prima (el tipo de proceso empleado) y la segunda forma de clasificación es por su construcción de los cuales se subdividen en diferentes tipos de digestores que se muestran en la Fig. 2.

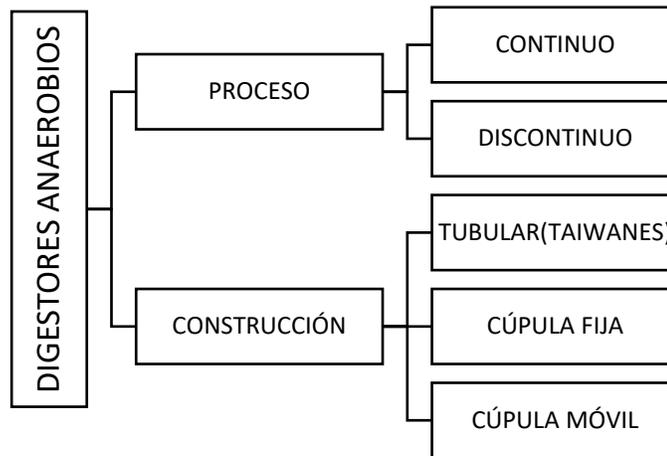


Figura 2 Clasificación de digestores anaerobios

Fuente: Autor

Continuo

Según Pachón Rodríguez & García Cepeda, (2017) en el digestor de flujo continuo se caracteriza por cargar y descargar de forma periódica residuos sólidos por lo general en este tipo de digestores se los carga a diario, son usados por lo general cuando se dispone de biomasa residual de forma casi continua, y normalmente líquida, como en procesos industriales de producción de refrescos, beneficiado de café, o camales. Dado que la disposición de biomasa líquida es casi diaria, el flujo de materia que ingresa es constante, y los tiempos de retención son menores que en los discontinuos por tratar residuos líquidos con baja carga orgánica ya disuelta (MAE, 2015).

Por lo general este método requiere de alta tecnología, según Rodríguez Perdigón (2014) nos explica que en el proceso “hay que lograr el calentamiento de la sustancia, controlar la calidad del gas resultante, implementar plantas enteras de desulfuración, instalar grandes compresoras, cadenas de distribución, plantas de almacenamiento, antorcha de desfogue por lo que se entiende que es sobre todo de uso industrial o de grandes granjas”.

Discontinuo

Son los que se cargan completamente una sola vez y son vaciadas por completo después de un tiempo de retención fijado. El modelo tipo Bach es apropiado para cargar todo tipo de materiales de fermentación, debido a que el tiempo de retención con el que se trabaja es largo. (Ramírez Sánchez, 2016)

Este modelo de digestor normalmente consiste en depósitos cerrados con una salida de gas la cual está acoplada a un gasómetro, donde se ira almacenando el biogás producido. Este sistema es adaptable siempre y cuando la materia a procesar está disponible en forma inactiva. Este tipo de digestor es perfecto a nivel de laboratorio donde el objetivo principal es valorar los parámetros del proceso o el procedimiento de un residuo orgánico o una composición de ellas. (Ramírez Sánchez, 2016)

Posteriormente cuando ya paso por la fase de fermentación, y el contenido de materias primas reduce y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se desocupan los digestores por completo y se rellenan de nuevo así se va formando un nuevo proceso de fermentación.

Tubular (Taiwanés)

Este digestor es conocido como salchicha o taiwanés, funciona como un intestino. La carga de materia orgánica y agua ingresa por la tubería, y mientras se degrada fluye hasta llegar al otro extremo produciendo biogás en el proceso.

La cámara de digestión tiene forma alargada y está hecha con plástico de polietileno o geomembranas de PVC. El biodigestor debe estar siempre protegido, en el trópico y valle se puede utilizar una cubierta, mientras que en climas fríos se emplea un invernadero y aislamiento en la zanja. En la Fig. 3 se muestra uno de los modelos más usados para este digestor además es uno de los modelos más utilizados por su relación calidad/precio y su bajo costo de inversión. (MAE, 2015)

El trabajo de este digestor está basado en la tecnología de digestión anaeróbica de flujo pistón (plug flow), esto debido a la manera de desplazar la carga orgánica en su interior. (García Zabaleta, Alamo Viera, & Aldana, 2017)

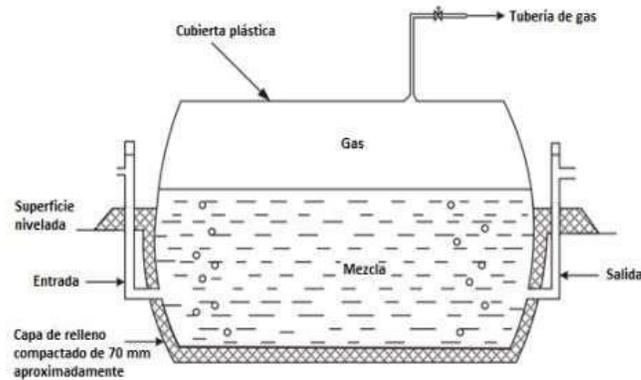


Figura 3 Digestor tubular

Fuente: (García Zabaleta et al., 2017)

Cúpula fija

Este biodigestor es de flujo continuo lo que permite la entrada y salida constante de fluido. Son armados en una sola estructura que por regla general es hecha en materiales rígidos (concreto, bloques o ladrillos). Debido a la alta presión que pueden alcanzar en su interior y a la constante variación de esta, se recomienda su construcción en forma de domo, bajo tierra en suelos estables y firmes, y la impermeabilización de la parte interna de la estructura a fin de evitar el escape de líquido y gases. Es obligatorio el uso de mano de obra altamente calificada para su diseño y construcción. (Reyes, 2017)

Sin embargo, este modelo presenta la ventaja de que los materiales de construcción son fáciles de adquirir a nivel local, así como la inexistencia de partes metálicas que pueden oxidarse y una larga vida útil si se le da mantenimiento, además de ser una construcción subterránea, estos digestores están armados en una sola estructura que por regla general es hecha en materiales rígidos (concreto, bloques o ladrillos) uno de los varios diseños utilizados para este tipo de digestor se muestra en la Fig. 4. (Reyes, 2017)

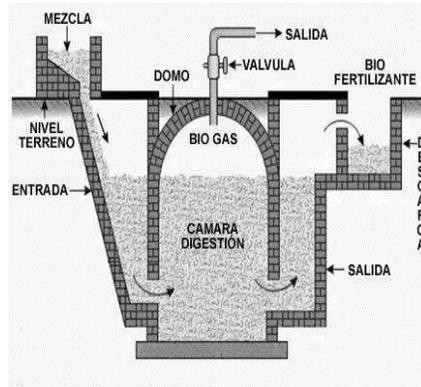


Figura 4 Digestor tipo cúpula fija

Fuente: (Reyes, 2017)

El modelo de cúpula fija tiene como principal característica que trabaja con presión variable; sus principales desventajas, son que la presión de gas no es constante y que la cúpula debe ser completamente hermética, ello implica cierta complejidad en la construcción y costos adicionales en impermeabilizantes.

Cúpula móvil

La Fig. 5 muestra un digestor de cúpula móvil el cual se construye generalmente en una estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, la cual puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás. La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado. (Garcés Hernández et al., 2014)

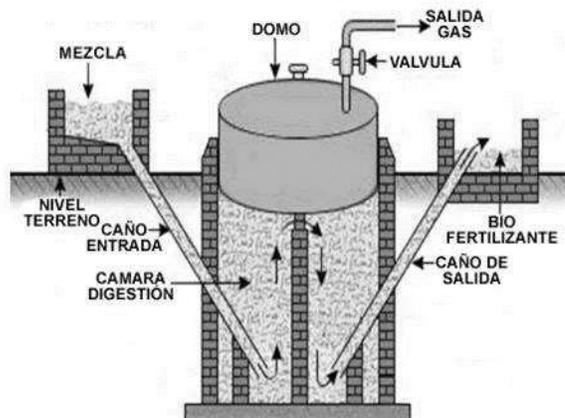


Figura 5 Digestor tipo cúpula móvil

Fuente: (Ávila Velázquez, 2016)

No requiere de gasómetro puesto que el gas se mantiene a una presión relativa, se puede medir sustituyendo la campana flotante por una película de polietileno resistente y

flexible o por fibra de vidrio reforzada en plástico, lo cual disminuye los costos. (Ávila Velázquez, 2016).

1.4. Aplicaciones del biogás

La fermentación biológica sin oxígeno de la materia orgánica genera un gas inflamable formado por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) llamado biogás, en la Fig. 6 nos muestra al biogás como una fuente alterna de energía la cual puede ser usado para realizar procesos que generalmente necesitan de un gran poder calorífico.

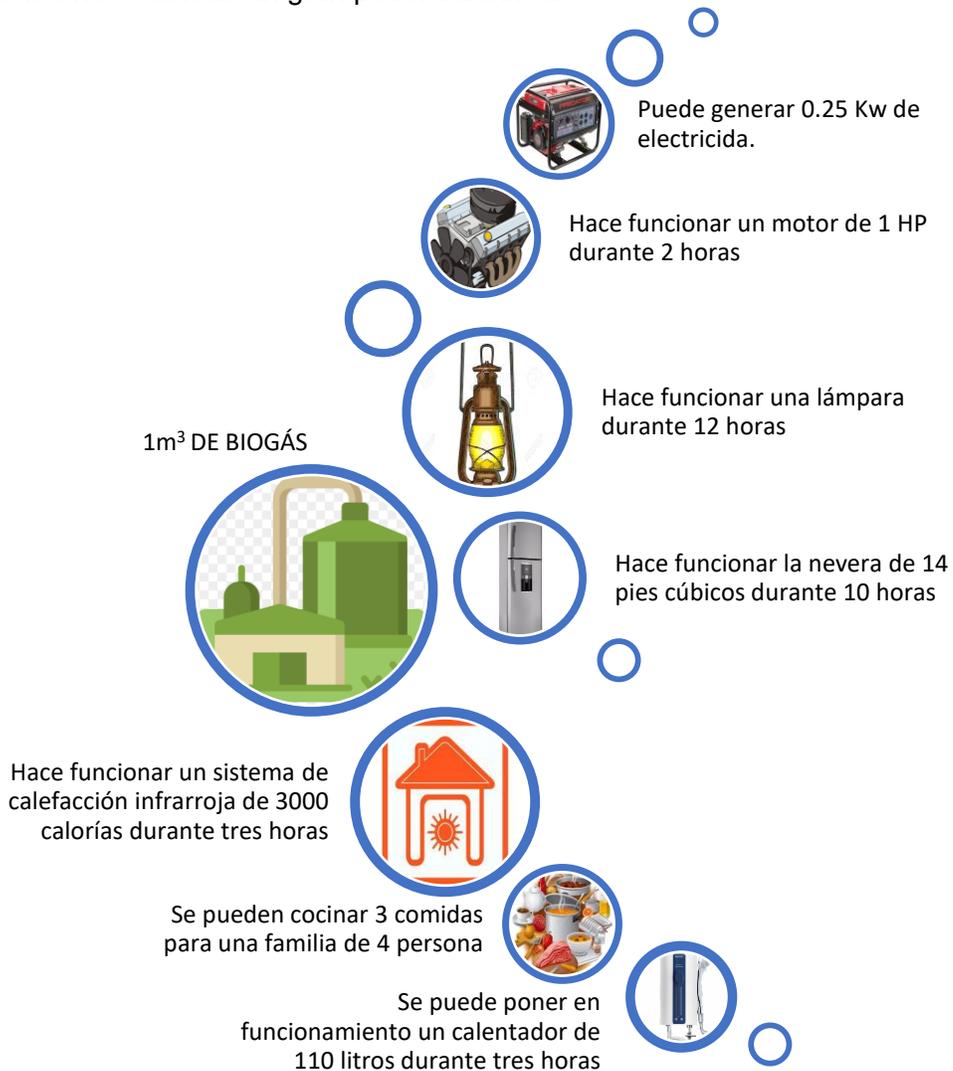


Figura 6 Aplicaciones del biogás

Fuente: realizado a partir de (Tapia Tapia, 2016)

Este gas tiene más o menos la mitad de poder calorífico que el gas natural, pero puede sustituirlo en todas sus aplicaciones, a pesar de que habrá que adaptar un poco los aparatos. (Jarauta Rovira, 2015)

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

2. En una caldera para generación de calor o electricidad.
3. En motores o turbinas para generar electricidad.
4. En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas.
5. Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
6. Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
7. Combustible de automoción.
8. Producción de bioabono rico en minerales.

Lo que sugiere García García-Roldán, (2017) es un entorno perfecto en el cual se implemente un pequeño procedimiento de cogeneración, que permitiría la conservación en agua caliente y electricidad en estaciones frías, junto con el enlace a la red para la comercialización eléctrica. En los meses de verano, venta a la red eléctrica o venta de biogás para su embotellado a presión.

También sugiere García García-Roldán, (2017) opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas se resaltan la producción de calor o vapor, generación de electricidad, generación de combustible para vehículos modificados y, también producción de bioabono.

1.4.1. Producción de calor o vapor

El uso más simple del biogás es para la obtención de calor (energía térmica). Esta energía se puede usar en aquellas zonas donde los combustibles son insuficientes, los procedimientos pequeños de biogás logran suministrar la energía térmica para acciones básicas como cocinar y calentar agua. Los procedimientos de pequeños niveles también se pueden manejar para iluminación, los quemadores de gas normales pueden adaptarse cómodamente para operar con biogás, simplemente cambiando la correlación aire-gas. Ya que la exigencia de calidad del biogás para quemadores es pequeña. Según García García-Roldán (2017) explica que “se necesita

alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H₂S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C.”

1.4.2. Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad

Los procedimientos combinados de calor y electricidad manejan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se forma.

Algunos procedimientos compuestos provocan especialmente calor y la electricidad es secundaria. Pero hay otros procedimientos que producen fundamentalmente electricidad y el calor excedente se maneja para calentar el agua del proceso. En uno y otro caso, se agranda la eficiencia del proceso en diferencia de utilizar el biogás exclusivamente para generar electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) pueden aplicarse para la producción de calor y energía, con una eficiencia similar a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, hay que considerar que los motores de combustión interna son los más usados frecuentemente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos métodos demanda la exclusión de H₂S (bajo 100 ppm) y vapor de agua. (García García-Roldán, 2017)

La eficiencia energética que presenta la quema es de un 40%, el cual es alto frente a otras fuentes de energía, la eficiencia en la obtención de energía térmica esta alrededor de un 60%, siempre y cuando la pureza del metano suba al menos un 95% para cumplir con los requerimientos de operación de los motores de ignición, calefones u otro mecanismo de aprovechamiento energético. (García Fernández, 2015)

1.4.3. Combustible para vehículos

El uso del biogás para automoción es potencial y en el medio se ha aplicado desde ya mucho tiempo. Para esto, el biogás debe asumir una calidad equivalente a la del gas natural, para emplear en vehículos que se han preparado para el trabajo con gas natural. La totalidad de los vehículos de esta condición son suministrados con un depósito de gas el cual es considerado como el sistema de abastecimiento de gas, conjuntamente del sistema de gasolina normal de combustible. El biogás obtiene ser manejado en motores de combustión interna tanto para motores que trabajan a gasolina como diésel.

El gas conseguido por fermentación alcanza un octanaje que fluctúa entre 100 y 110 lo que lo hace muy conveniente para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión,

por otro lado, aún hay un problema en su aplicación, como desventaja que tiene es que presenta una baja velocidad de encendido. (García García-Roldán, 2017)

1.4.4. Producción De Bioabono

Según Tapia Tapia, (2016) encontramos dos clases de bioabono usados para la producción de cultivos y el tratamiento de los suelos los cuales son el biol, y el biosol.

Biol

El biol estimula y fortifica el proceso de crecimiento de las plantas, prosperando de mejor manera la producción de frutos, los cultivos se tornan resistentes a la acometida de los males y los cambios desfavorables del clima, es perfecto emplear el biol a modo de abono foliar después de una helada, granizada o marchitez por aridez de la tierra. La producción optimizará en cantidad y resaltará los modelos de calidad por tratarse de un abono natural. (Tapia Tapia, 2016)

Biosol

El Biosol es un abono equivalente al compost, emplear este abono natural admite proporcionar un alto contenido de nutrientes efectivos en el suelo, las plantas prosperan, se conservan sanas y resistentes, sus frutos son cuantiosos y brindando los mejores tributos en cuanto a calidad. Mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de humedad, esto favorece la actividad biológica en el suelo. El volumen de aplicación dependerá del tipo de cultivo, se requiere solo de 2 a 4 toneladas por hectárea en promedio. (Tapia Tapia, 2016)

1.5. Parámetros del proceso de digestión anaerobia.

Según Bolívar Pimienta (2017) el proceso de digestión anaerobia se ve afectado por ciertos parámetros. Estos parámetros son precisos controlar para mejorar las condiciones del medio y propiciar el crecimiento de los microorganismos. A continuación, se describirán los parámetros más importantes.

1.5.1. Tipo de sustrato.

Dependiendo de la biomasa que se almacena en el interior del digestor la producción de biogás varía en el interior del digestor. Y el tamaño de cada grupo de organismos deberá ser proporcional al flujo del sustrato en el medio, así como la prevalencia de algunas rutas metabólicas estará determinada por la relación entre la velocidad de producción y la capacidad de asimilación de este, normalmente los residuos orgánicos son de origen vegetal, animal, agroindustrial y alimenticios. (Bolívar Pimienta, 2017).

1.5.2. Tiempo de retención hidráulica.

En Basés (2016) el tiempo de retención hidráulico (TRH) es el tiempo que se mantiene el influente en el interior del digestor hasta la obtención del biogás. Esta relación se define en la Ec. 1. (Basés, 2016).

$$TRH = \frac{\text{Volumen útil digestor (m}^3\text{)}}{\text{Caudal alimentación (}\frac{\text{m}^3}{\text{t}}\text{)}} \quad (1)$$

Existe una correlación entre el TRH y la temperatura del biodigestor, puesto que ésta determina la rapidez de crecimiento de los microorganismos responsables de la obtención del biogás. Lo que indica que, a mayor temperatura, el tiempo de retención hidráulico se reduce. (Basés, 2016).

1.5.3. Temperatura.

La temperatura es un parámetro muy importante en el proceso debido a que determina la tasa de descomposición de la materia orgánica. Para lograr que las bacterias trabajen en una forma óptima se debe mantener la temperatura lo más constante posible. Lo que significa que no debe presentar cambios bruscos de temperatura. (Garrido Troncoso, 2014).

El proceso se lleva a cabo satisfactoriamente en los rangos definidos en la Tabla 6.

Tabla 6 Rangos de temperatura.

Nivel	Rango			Tiempo de fermentación
	Mínimo	Óptimo	Máximo	
Psicrófilas	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre los 100 días
Mesofílica	10-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Termofílico	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: elaborado a partir de (Chávez Jácome & Velasco Olave, 2015; Mazza, 2017)

El proceso fermentativo anaeróbico no genera una cantidad apreciable de calor, por lo tanto, las temperaturas mencionadas anteriormente deben lograrse desde el exterior. El proceso mesofílico es más estable y adecuado para utilizar en el medio rural, con biodigestores de pequeño volumen y bajo costo. El proceso termofílico presenta ventajas para los casos de

grandes instalaciones, donde el volumen del material a digerir es muy grande; en consecuencia, con mayores temperaturas se obtiene mayor conversión de materia orgánica en biogás y velocidad de generación. (Mazza, 2017)

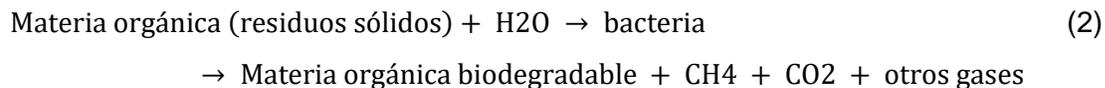
1.5.4. pH

El pH de los residuos se suele encontrar en el rango entre 6,5 a 8,5 pH. En niveles bajos generan condiciones ácidas que pueden remover metales que se convierten en tóxicos para las bacterias encargadas de la degradación.

La generación de gas se produce por tres mecanismos diferentes:

- Evaporación/volatilización
- Reacciones químicas
- Degradación biológica

De todos los mecanismos el más importante en la generación de gas es el de degradación biológica. La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos se describe en la Ec. 2.



Se explica en García Fernández, (2015) que un adecuado valor de pH es necesario debido a que fuera del rango definido la degradación bacteriana se ve deteriorada, llegando incluso a detenerse la producción de biogás. Al tener un pH inferior a 6,5 el porcentaje de metano en el biogás disminuye, lo cual hace que bajen las cualidades energéticas y por debajo de 6 y encima de 8,5 el proceso se detiene. (González et al., 2015)

Se pueden emplear medidas correctivas para la acidificación. La más simple es detener la alimentación o aligerar la carga orgánica de la alimentación por el tiempo suficiente hasta que el valor regrese al rango de operación deseado.

1.5.5. Humedad

El contenido de humedad condiciona la cantidad de energía liberada. Una parte de estas energías se utiliza para vaporizar el agua producida o el agua que ya lleva la propia biomasa al proceso de combustión. (Suquillo Rea & Tercero Chisaguano, 2016) La humedad tiene un papel importante en el crecimiento celular, el 80% del tejido celular está compuesto de agua. Este es el

medio de movimiento de los microorganismos hacia la materia prima. (Tupiza Note & Velásquez Conde, 2013)

1.5.6. Agitación

La agitación de la mezcla dentro del digestor cumple el objetivo de mantener una distribución homogénea del residuo, evita la sedimentación de partículas al fondo del tanque, también es necesaria para mantener una temperatura uniforme en el sustrato y todo el sistema anaerobio, y evitar la creación de volúmenes muertos en los cuales no existe actividad bacteriana y, por ende, reducen el volumen efectivo del digestor. Para lograr estos objetivos es necesario contar con un sistema ya sea del tipo manual o automático. (Cueva Solá, 2014)

Según Cueva Solá, (2014) se pueden diferenciar entre tres tipos de agitación que se puede aplicar al sistema de digestión anaerobia. La primera se denomina agitación mecánica esta se da mediante agitadores manuales o con motores eléctricos. El segundo tipo de agitación es hidráulico y se realiza por recirculación del afluente líquido. En el tercer tipo se agita el contenido del reactor mediante la recirculación del biogás al burbujearlo desde el fondo del reactor.

1.5.7. Promotores o inhibidores

Según Chávez Jácome & Velasco Olave, (2015) los promotores o inhibidores son factores que afectan el proceso de digestión anaerobia ya sea de manera positiva o negativa.

Los promotores, como su nombre lo indica, promueven la descomposición de la biomasa, y facilitan que el proceso concluya. Los inhibidores juegan un rol perjudicial en la biodigestión. Sin embargo, dependiendo de las exigencias, materiales utilizados, y requerimientos, el uso de estos puede ser necesario. (Román Gía, 2016)

Promotores

Se menciona en Román Gía, (2016) que son materiales que promueven la degradación del material y aumentan la producción de biogás algunos son: enzimas, sales inorgánicas, urea. (Chávez Jácome & Velasco Olave, 2015) Todos estos compuestos mencionados contribuyen a la formación de estructuras orgánicas, o como combustible para reacciones biológicas. (Román Gía, 2016)

Inhibidores

Según Román Gía, (2016) los inhibidores son más numerosos, y consiguen la supresión o desaceleración del proceso haciendo que las condiciones biológicas dentro del biodigestor sean perjudiciales para los distintos microorganismos. Estos factores que afectan la actividad de los microorganismos como la alta concentración de ácidos volátiles a más de 2000ppm en la fermentación mesofílica y sobre los 3600ppm en la fermentación thermofílica los cuales pueden llegar a destruir por completo el proceso de digestión. (Chávez Jácome & Velasco Olave, 2015)

1.5.8. Relación C/N.

Es importante considerar esta relación C/N ya que se basa en la diferente cantidad y tasa de producción de biogás, que presentan ambos elementos. En primer lugar, las materias ricas en carbono pueden generar más gas, sin embargo, son las ricas en nitrógeno aquellas que lo generan con más rapidez (Hasta cinco veces más rápido). (Román Gía, 2016)

Generalmente las bacterias metanogénicas utilizan el carbono y nitrógeno para su proliferación y para la producción de metano. Durante la digestión anaerobia los microorganismos utilizan el carbono entre 25 a 30 veces más rápido que el nitrógeno por lo que necesitan una fracción de carbono y nitrógeno en un rango de 20:1 y 30:1 debido a que una relación aproximada de 10:1 se da una pérdida de nitrógeno, mientras que en una relación 40:1 se inhibe el crecimiento de las bacterias por falta de oxígeno. (Durazno Coronel, 2018)

1.5.9. Cantidad de carga orgánica.

Se llama así a todos los sustratos que se introducen dentro de un biodigestor para su degradación. En el proceso de fermentación los microorganismos metanogénicos necesitan nutrientes para producir biogás, por ello es necesario contar con suficiente material de carga para que el proceso de digestión no se interrumpa. La materia orgánica que se utiliza como material de carga (residuos de los cultivos, excretas de humanos y de animales) puede dividirse en dos grupos, las materias primas ricas en nitrógeno y las materias primas ricas en carbono. El nitrógeno se utiliza como constituyente para la formación de la estructura celular, y el carbono se utiliza como fuente de energía. (Córdova Cortez & Miño Rosales, 2015)

Según Raffo & Zava, (2014) la cantidad de carga es directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención hidráulico. En ausencia de inhibidores, altas

cargas orgánicas proporcionan altas producciones volumétricas de biogás, aunque también aumenta el riesgo de sobrecargas puntuales que conllevan a la acidificación del reactor.

Es necesario el T.R.H (tiempo de retención hidráulico) el cual determinará la cantidad diaria de carga que será necesaria para alimentar el biodigestor, según la Ec. 3. (Raffo & Zava, 2014)

$$\text{Cantidad de carga diaria} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) = \frac{\text{volumen del biodigestor} (m^3)}{T.R.H. (\text{días})} \quad (3)$$

CAPÍTULO 2

el diseño tanto mecánico y geométrico del tanque digestor. Se ha seleccionado un tanque digestor que cumple con las consideraciones tomadas del capítulo uno. La selección de los parámetros se relaciona con el proceso de producción ya que para el desarrollo de un proceso óptimo se establece la temperatura de operación óptima del proceso, pH, humedad. Este y otros parámetros son necesarios para desarrollar el diseño del digestor. El digestor debe ser monitorizado y controlado por medio de un sistema HMI por lo que se elabora el diseño del proceso de control y monitoreo en el software Intouch. Todo el proceso se controla mediante una placa de Arduino.

Diseño del digestor

2.1. Selección del biodigestor

El biodigestor seleccionado por las características que presenta y su funcionalidad es el biodigestor de cúpula fija del tipo discontinuo. En la Tabla 7 se detalla los parámetros considerados para el diseño y la construcción del tanque digestor y también los parámetros de control y monitoreo del diseño HMI.

Tabla 7 Características de diseño del biodigestor.

Característica	Especificación
Tipo de digestor	Discontinuo, cúpula fija
Residuo	Domestico
Control	PH
	Agitación
	Circulación de lixiviado.
Monitoreo	Temperatura
	Humedad

Fuente: Autor

2.1.1. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño que se establecen en la tabla 8 desarrollan el cálculo geométrico del tanque digestor. De esta forma se obtiene el diseño geométrico del tanque digestor.

Tabla 8 Parámetros iniciales de diseño.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo
Temperatura de operación	25 °C	60 °C
Presión de operación (Po)	16 PSI	26 PSI
Volumen cilindro		0,10 m ³

Diámetro	400 mm
----------	--------

Fuente: Autor

2.2. Diseño geométrico del digestor

Las dimensiones geométricas el digestor consideran tres partes que componen el tanque que son la tapa superior, el cilindro y la tapa inferior como se muestra en la Fig. 7.

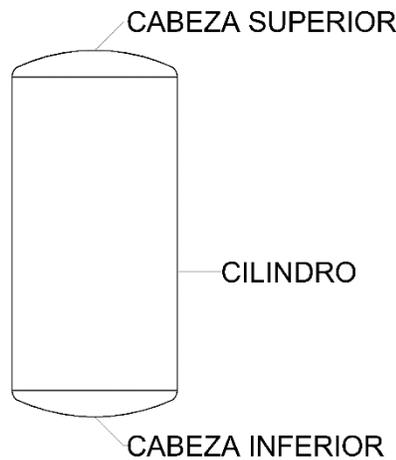


Figura 7 Partes del digestor

Fuente: Autor

Teniendo identificadas las partes del tanque se aplican las ecuaciones mencionadas en Chacón Guardado, (2007). Estas ecuaciones muestran el método para calcular el volumen del digestor.

El tanque digestor se conforma por las partes determinadas en la Fig. 8.

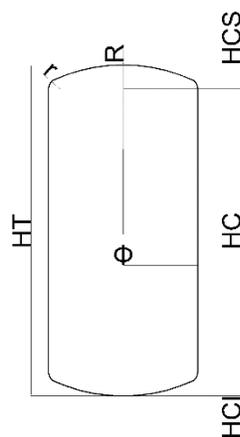


Figura 8 Partes geométricas del digestor

Fuente: Autor

La altura total y diámetro del cilindro es dimensionado considerando una relación 1:1,92 entre diámetro y altura. Mediante la ecuación 4 se obtienen estos datos a partir de un volumen nominal establecido.

$$V_1 = \pi * R_c^2 * H_c \quad (4)$$

Donde:

V_1 : Volumen nominal del cilindro.

R_c : Radio del cilindro.

H_c : Altura del cilindro.

La relación de diámetro-altura es 1:1,92 por lo tanto:

$$\frac{H_c}{D} = \frac{1,92}{1}$$

$$D = \frac{H_c}{1,92}$$

$$R_c = \frac{D}{2} = \frac{\frac{H_c}{1,92}}{2} = \frac{H_c}{1,04116}$$

$$H_c = 1,92D = 1,92 * 400\text{mm} = 768\text{mm}$$

Las tapas inferior y superior mantienen una forma toriesférica estas tapas mantienen una altura igual al radio del cilindro del digestor como se muestra en la ecuación 5.

$$H_{Ts} = H_{Ti} \quad (5)$$

$$R_{Ts} = R_{Ti} = R_c$$

$$V_2 = 0,008089 * D^3 \quad (6)$$

Se considera los datos de la Fig. 9 el cual muestra un valor aproximado de las dimensiones para las tapas inferior y superior.

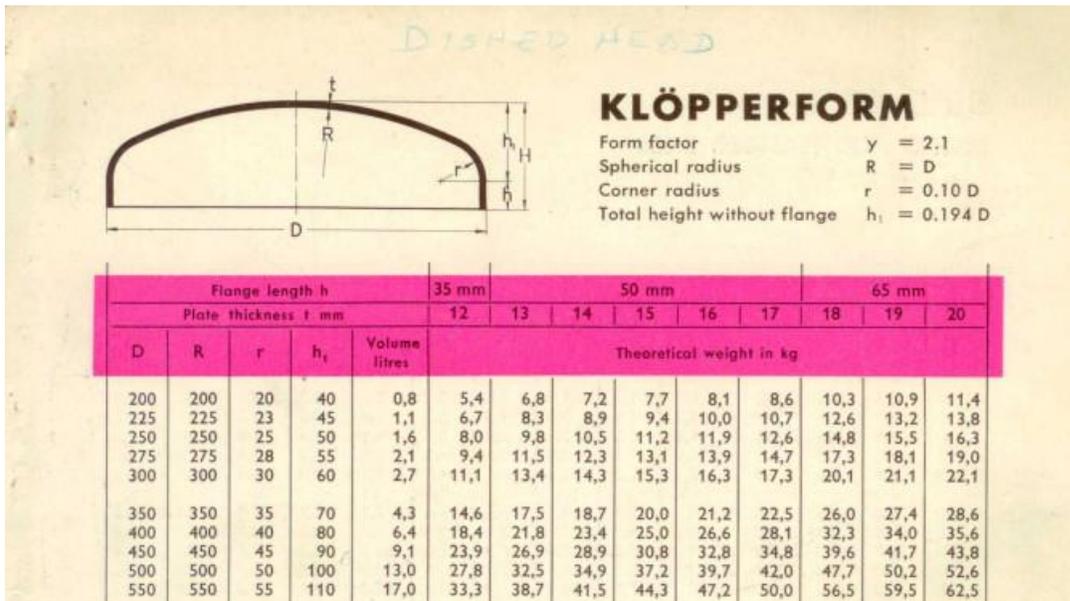


Figura 9 Dimensiones para tapas toriesféricas
Fuente: (Iriarte, 2018)

Los datos de volumen para el cilindro y las tapas toriesféricas se obtiene mediante la ecuación 4 y 6. Se interpreta de la fig. 9 las dimensiones de altura aproximada que las tapas toriesféricas tienen.

$$H_{cs} = 80 \text{ mm}$$

$$H_{ci} = 80 \text{ mm}$$

$$V_1 = \pi * R_c^2 * H_c$$

$$V_1 = \pi * (200\text{mm})^2 * 768\text{mm}$$

$$V_1 = 0,0965 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,008089 * D^3 = 0.517696\text{mm}^3$$

$$V_2 = 0,000517696 \text{ m}^3 * 2 = 0.001035392 \text{ m}^3$$

Las ecuaciones definidas y aplicadas nos muestran los valores de dimensionamiento geométrico del digestor cuya altura es la suma de sus 3 partes: cilindro y tapas.

$$H = 768 \text{ mm} + 2(65,22 \text{ mm}) = 898,44 \text{ mm}$$

$$H = 898,44 \text{ mm}$$

$$H = 0,89844 \text{ m} \approx 0,9 \text{ m}$$

$$V_{\text{Total}} = V_1 + V_2$$

$$V_{\text{Total}} = 0,0965 \text{ m}^3 + 0,001035392 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 0,09754511832 \text{ m}^3 \approx 0,098 \text{ m}^3$$

El resultado final del cálculo geométrico de cada uno de los fragmentos muestra el diseño de un tanque con las medidas definitivas y aproximadas que se muestran en la Fig. 10.

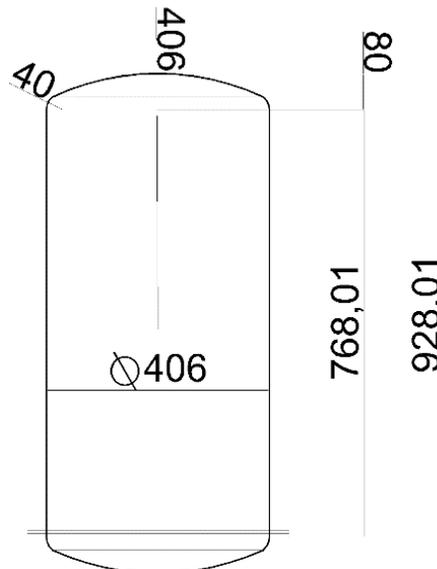


Figura 10 Dimensiones geométricas del tanque de digestión anaerobio

Fuente: Autor

2.3. Diseño mecánico del digestor

El diseño mecánico del tanque cumple los requerimientos de la normativa ASME (The American Society of Mechanical Engineers) sección VIII división 1. Esta normativa declara la manera de calcular la presión del tanque. La presión que se obtiene es válida para calcular el valor de espesor en todo el tanque. Para desarrollar el cálculo de espesor del tanque se realizan dos cálculos uno para el cilindro y otro para sus tapas torisféricas inferior y superior.

2.3.1. Presión del tanque

La presión del tanque es la presión de diseño que se emplea para realizar los cálculos de espesor de las paredes del tanque. Para ello se sigue las consideraciones adecuadas de la normativa aplicada.

$$P_{\text{tanque}} = P_o + P_h \quad (7)$$

Donde:

$$\begin{aligned} P_{\text{tanque}} &= \text{Presión de diseño del tanque en pascales} \\ P_o &= \text{Presión de operación :1,5 bar o también } 21,76 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \\ P_h &= \text{Presión hidrostática} \end{aligned}$$

La ecuación 7 define la presión del tanque. Es preciso conocer la presión de operación y la presión hidrostática. Según Hernández Gil & Zapata Vigil, (2018) recomienda usar una presión de operación en un rango que va de 0,5 a 1,5 bar. Para el diseño se selecciona un valor de presión de operación de 1,5 bar. La presión hidrostática se define usando la ecuación 8 donde relaciona la presión de operación, la gravedad y la altura.

$$P_h = \rho * a * h \quad (8)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Densidad o peso específico de la materia} \\ a &= \text{Constante de gravedad: } 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ h &= \text{Altura de los residuos en el tanque 85\% de la altura total: 0,765 m} \end{aligned}$$

En el cálculo de la presión hidrostática del tanque se selecciona un valor de peso o de densidad del residuo orgánico. El valor que se toma es un dato representativo de densidad cuya medida es dada en kilogramos sobre metro cúbico. Este dato lo encontramos determinado en la tabla 9. El valor de densidad que se selecciona es el de los residuos de comida como factor para los cálculos en esta y todas las secciones que requieren de este factor.

Tabla 9 Datos típicos de densidad para residuos domésticos

Tipos de residuos	Peso específico $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
	Rango	Típico
Residuos de comida	131-481	291

Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plásticos	42-131	65
Residuos de jardín	59-225	101
Madera	131-320	237
Basura	89-181	131

Fuente: (Cabildo Miranda, Escolástico León, & Esteban Santos, 2008)

$$P_h = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,765\text{m} = 2623,95 \text{ Pa} = 0,38 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$$

$$P_{\text{tanque}} = 21,76 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} + 0,38 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2} = 22,14 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$$

Con el valor de presión interna del tanque resultante se calcula el valor de espesor para el cilindro y las tapas toriesféricas aplicando las ec. 9 y 10.

Espesor del cilindro

$$t_1 = \frac{PR}{SE - 0,6P} + CA \quad (9)$$

Espesor del cabezal tori esférico

$$t_2 = \frac{PD}{2SE - 0,2P} + CA \quad (10)$$

Donde:

- t_1 = Espesor del cilindro
- t_2 = Espesor del cabezal
- P = Presión del tanque: $22,14 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$
- R = Radio interno del cilindro en pulgadas: $0,20 \text{ m} = 7,87 \text{ pulgadas}$
- D = Diámetro interno del cilindro en pulgadas: $0,40 \text{ m} = 15,748 \text{ pulgadas}$
- S = Valor del esfuerzo de la placa de acero inoxidable 430: $65267 \frac{\text{lb}}{\text{pul}^2}$
- E = Eficiencia de la junta según la norma UW-12: 0,6

CA = Margen de corrosión: 0,125 pul

2.3.2. Espesor del cilindro

$$t_1 = \frac{PR}{SE - 0,6P} + CA = \frac{22,14 \frac{lb}{pulg^2} * 7,87 pulg}{\left(65267 \frac{lb}{pulg^2}\right) (0,6) - (0,6) \left(22,14 \frac{lb}{pulg^2}\right)} + 0,125 pulg$$

$$= 0,1295 pulg$$

$$t_1 = 3,2893 mm$$

2.3.3. Espesor del cabezal tori esférico

$$t_2 = \frac{PD}{2SE - 0,2P} + CA = \frac{22,14 \frac{lb}{pulg^2} * 15,748 pulg}{2 * \left(65267 \frac{lb}{pulg^2}\right) (0,6) - (0,2) \left(22,14 \frac{lb}{pulg^2}\right)} + 0,125 pulg$$

$$= 0,1295 pulg$$

$$t_2 = 3,2893 mm$$

2.3.4. Peso del tanque

Aplicando las ec. 11, 12 y 13 se define el peso en vacío del cilindro y de las tapas superior e inferior.

$$M_{cilindro} = H_{cilindro} * \pi * \left(\frac{De^2}{4} - \frac{Di^2}{4}\right) * \rho_{material} \quad (11)$$

$$M_{cabezal toriesférico} = \rho_{material} * ((0,08089 * D_e^3) - (0,08089 * D_i^3)) \quad (12)$$

$$M_{total} = M_{cilindro} + 2 * M_{cabezal toriesférico} \quad (13)$$

Donde:

$M_{cilindro}$	=	Peso del cilindro
$H_{cilindro}$	=	Altura del cilindro
D_e	=	Diámetro exterior: 406 mm = 0,406 m
D_i	=	Diámetro interior: 400 mm = 0,4 m
$\rho_{material}$	=	Densidad del material 7700 $\frac{kg}{m^3}$

Así, de esta, manera se define el peso de las partes del digestor los cuales nos servirán de dato de apoyo en el diseño y construcción del tanque.

$$M_{\text{cilindro}} = H_{\text{cilindro}} * \pi * \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) * \rho_{\text{material}}$$

$$M_{\text{cilindro}} = 0,768 \text{ m} * \pi * \left(\frac{0,406\text{m}^2}{4} - \frac{0,4\text{m}^2}{4} \right) * 7700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$M_{\text{cilindro}} = 27,8672 \text{ kg} \approx 27,87 \text{ kg} = 61,442832 \text{ lb}$$

$$M_{\text{cabezal toriesférico}} = \rho_{\text{material}} * ((0.08089 * D_e^3) - (0.08089 * D_i^3))$$

$$M_{\text{cabezal toriesférico}} = 7700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * ((0.08089 * (0,406 \text{ m})^3) - (0.08089 * (0,4 \text{ m})^3))$$

$$M_{\text{cabezal toriesférico}} = 1,82085 \text{ kg} \approx 1,82 \text{ kg} = 4,012413 \text{ lb}$$

$$M_{\text{total}} = M_{\text{cilindro}} + 2 * M_{\text{cabezal toriesférico}}$$

$$M_{\text{total}} = 27,87 \text{ kg} + 2 * (1,82 \text{ kg}) = 31,51 \text{ kg} = 69,467659 \text{ lb}$$

En la tabla 10 se describen los parámetros necesarios para el diseño y posteriormente para el proceso de construcción mecánica del tanque digestor.

Tabla 10 Parámetros mecánicos para diseñar el tanque

Presión de diseño	22,14 psi			
Material	Cabezal semi esférico	Acero inoxidable 430		
	Cilindro	Acero inoxidable 430		
	Cono	Acero inoxidable 430		
Temperatura máxima	Cabezal semi esférico	35 °C		
	Cilindro	35 °C		
	Cono	35 °C		
Dimensiones geométricas del tanque digestor en pulgadas (in)		Radio (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)
	Cabeza tori esférica superior	200	65,22	406
	Cilindro	200	768	406
	Cabeza tori	200	65,22	406

	esférica inferior			
Presión de diseño				Psi
	Cabezal semiesférico superior			22,14
	Cilindro			22,14
	Cabezal semiesférico inferior			22,14
Espesor				mm
	Cabezal semi esférico			3
	Cilindro			3
	Cabezal semiesférico inferior			3
Peso				(lb)
	Cabezal tori esférico superior			3.902182
	Cilindro			61,442832
	Cabezal tori esférico inferior			3.902182
	Peso en vacío			56.592662703

Fuente: Autor

2.4. Diseño del sistema de control.

El proceso controla y monitoriza 6 parámetros los cuales son monitorizados a través de un sistema HMI. La interfaz sirve para visualizar el proceso de producción de biogás. Se escoge como interfaz de diseño y posteriormente para visualizar el HMI al software Intouch que cumple la función de recibir y enviar los datos de un puerto serial que conecta al microcontrolador Arduino NANO. En la Fig. 11 se describe el proceso general de funcionamiento para el proceso cuando se va a conectar al sistema HMI de Intouch.

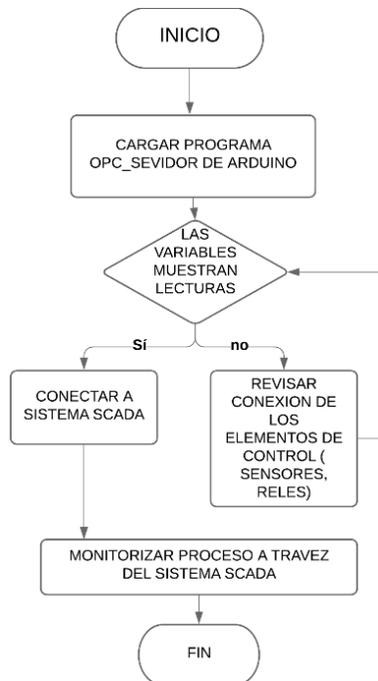


Figura 11 Proceso general

Fuente: Autor

Los parámetros que se controlan son: agitación, circulación de lixiviado y PH. También se monitorizan los parámetros de temperatura, humedad y presión.

El sistema HMI se divide en 5 ventanas. La ventana de inicio, proceso, alarmas, gráficas y de acceso. La ventana de inicio se muestra al iniciar el proceso esta pantalla se presenta en la Fig. 12.

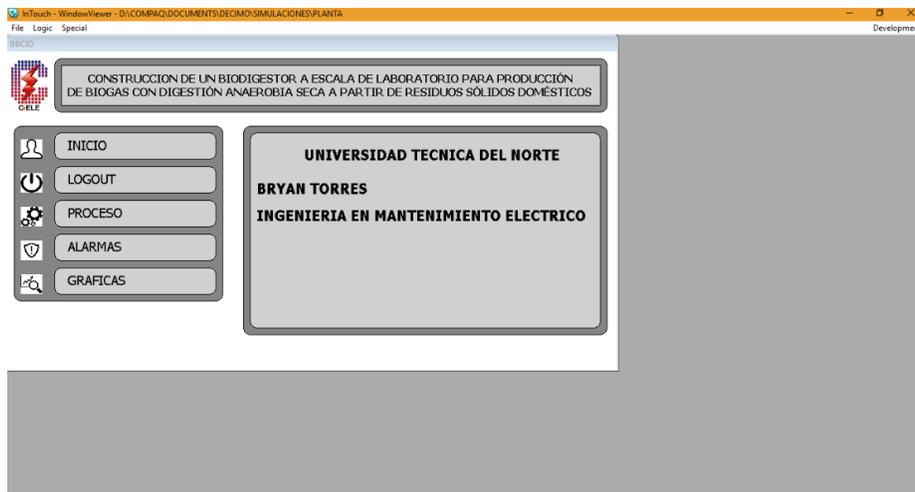


Figura 12 Pantalla de inicio INTOUCH

Fuente: Autor

Antes de iniciar el proceso se registra un usuario. El usuario debe dirigirse a la ventana de ingreso y presionando el botón de login (Figura de candado). Desde esta ventana se accede mediante un usuario y contraseña caso contrario no se logra visualizar ninguna ventana del proceso.

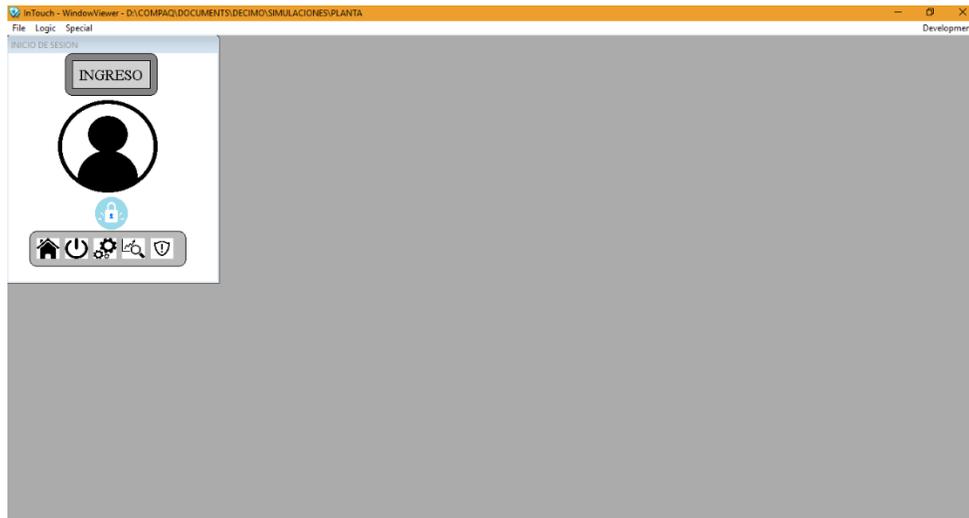


Figura 13 Inicio de sesión

Fuente: Autor

Se emplea un inicio de sesión para que no todos los individuos manipulen el proceso. Se establecen 3 niveles de acceso visitante, operario y administrador.

Los 3 usuarios poseen una clave única de acceso. De esta forma si es necesario los usuarios registrados efectúan maniobras de control en el proceso o simplemente monitorizan el proceso. Estos usuarios se indican en la tabla 11 aquí se detallan los usuarios, sus contraseñas y su nivel de acceso siendo 9999 el nivel de acceso más alto.

Tabla 11 Usuarios y contraseñas para ingreso

Usuario	Contraseña	Nivel de acceso
Administrator	2019012	9999
Operario	201901	5000
Visitante	20190	1000

Fuente: Autor

La Fig. 14 muestra el diseño del proceso siempre y cuando el usuario este registrado caso contrario estas ventanas están inactivas.

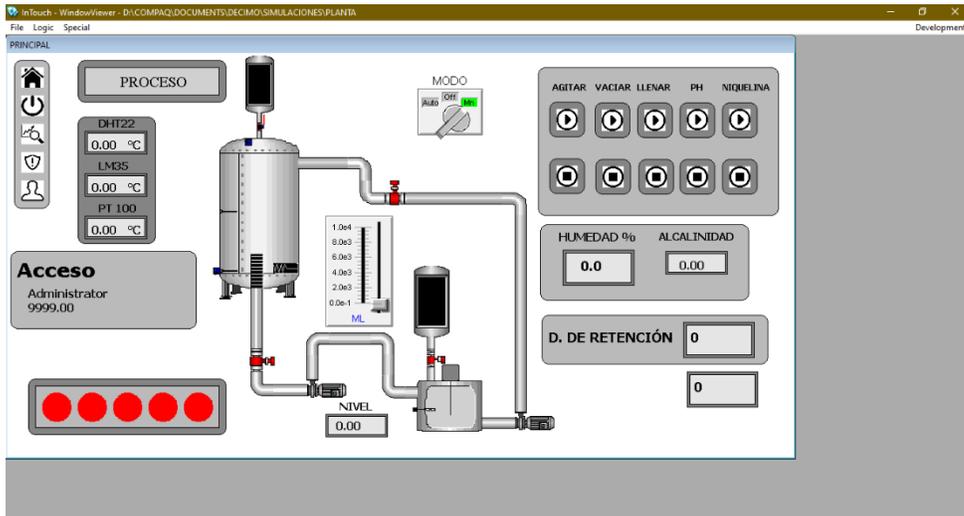


Figura 14 Proceso de digestión

Fuente: Autor

2.4.1. Descripción del proceso.

El proceso monitoriza la temperatura del tanque manteniéndola en los 35 grados centígrados aproximadamente. Esto se logra mediante una resistencia eléctrica que se encuentra ubicada en el interior del tanque y que mantiene la temperatura del lixiviado y el tanque.

Para mantener la humedad dentro del tanque se realiza una circulación de lixiviado en intervalos de tiempo asegurándonos de esta manera que la humedad no reduzca del 80%. El lixiviado circula de la parte inferior del tanque a un contenedor de almacenamiento que además de almacenar lixiviado procedente del tanque también toma medidas de pH. El control de pH se efectúa mediante una mezcla de agua y bicarbonato lo que asegura que si el pH presenta valores bajos este compuesto externo cause una reacción que consigue subir el valor de pH.

Se usa un microcontrolador modelo Atmel Mega328P montado en una placa de Arduino. La placa de control monitoriza y controla el proceso. Se diseña una placa de PCB donde se arma los elementos necesarios para controlar y monitorizar el proceso. En este módulo se encuentra conectados a borneras los pines analógicos y digitales que se usan como entradas o salidas para lectura o escritura de valores. La Fig. 15 muestra el diseño de la placa.

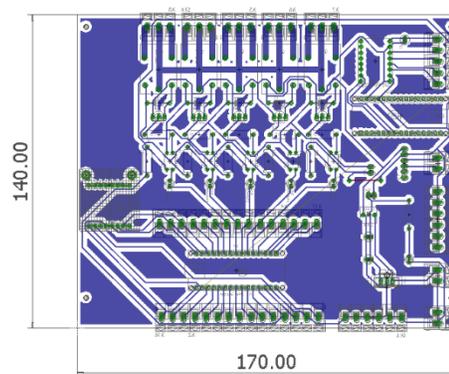


Figura 15 Diseño módulo de comunicación serial.

Fuente: Autor

Se realiza el diseño de la placa mediante el software Eagle de AutoCAD. Este software dispone de librerías de Arduino lo cual facilita la representación de los elementos en toda la placa. La placa se diseña de acuerdo con la norma IPC-2221. Esta norma establece los requisitos generales para el diseño y ensamblaje de tarjetas electrónicas.

Para resolver de forma aproximada se usa una de las calculadoras que se pueden encontrar en numerosas páginas web. La calculadora determina los valores mínimos de grosor de las pistas donde se establece un valor de corriente de 2 amperios para los sensores, caminos de señal y de 10 amperios para los contactos de los relés de 5 voltios. Se determina una temperatura máxima de 50 grados centígrados y una temperatura ambiente de 20°C. La tabla 12 describe los valores que se consideran para el diseño en la aplicación Eagle. (Nick de Smith Webmaster, 2018).

Tabla 12 Grosor de caminos para placa PCB

Trazos	Valor
Señal	11.88 mil: 0.3 mm
Relés	109.36 mil: 2.78 mm

Fuente: Autor

La tabla 13 describe los sensores que se conectan a la placa de control y cuál es el fin que cumplen en el proceso.

Tabla 13 Sensores conectados a la placa

Componente	Descripción	Especificación
Sensor LM35 sumergible	Este sensor mide la temperatura de la materia	<p>Calibración de temperatura directamente en Celsius;</p> <p>Lineal: + 10.0mV / °C;</p> <p>Precisión: ±0.5 °C</p> <p>Rango de temperatura: 0 °C ~ 100 °C</p> <p>Señal de voltaje de salida directa</p> <p>Ajuste de precisión internamente;</p> <p>Voltaje de fuente: 4 ~ 30V;</p>
PT100	Mide la temperatura del lixiviado se encuentra localizado en la tapa tori esférica inferior del digestor.	<p>Conexión de 2 hilos</p> <p>Fabricado con platino</p> <p>A 0 °C tiene 100 ohm</p> <p>Rango: -25 A 250°C</p>
DHT22	Con este sensor se va a medir los valores de temperatura y humedad en la parte superior del digestor en donde se supone se almacenará el gas.	<p>Alimentación: 3.3v – 5.5v, recomendado 5v.</p> <p>Tiempo de muestreo: 2 segundos.</p> <p>Rango de valores desde -40°C hasta 80°C de temperatura.</p> <p>Precisión: ±0.5°C, ±1°C como máximo en condiciones adversas.</p> <p>Tiempo de respuesta: <10 segundos.</p> <p>Rango de valores desde 0% hasta 99.9% de Humedad Relativa.</p> <p>Precisión: ±2%RH, a una temperatura de 25°C.</p> <p>Tiempo de respuesta: <5 segundos.</p>

<p>Ultrasónico HC-SR04</p>	<p>Se usará para medir una cantidad de lixiviado establecida para realizar la circulación del líquido y mantener la humedad relativa en el interior del digestor.</p>	<p>Voltaje de alimentación: 5VDC Mínimo rango de medición: 2cm Máximo rango de medición: 450cm Rango de error: Hasta 3mm Máximo ángulo de desviación: Hasta 15°</p>
<p>RTC ds3231</p>	<p>Se usa para establecer el tiempo de permanencia de la materia orgánica en el interior del digestor.</p>	<p>Voltaje de entrada 3.3V-5V Onda de salida Cuadrada programable Soporte calendario Hasta el año 2100 Precisión del sensor de temperatura ± 3 grados Referencia Memoria EEPROM AT24C32 Capacidad memoria EEPROM 32K</p>
<p>Sensor de PH</p>	<p>Mide la alcalinidad del lixiviado</p>	<p>Tensión de calefacción: 5 ± 0.2 V (AC/DC) Corriente de trabajo: 5-10mA Rango de concentración detectable: pH 0-14 Rango de temperatura de detección: 0-80 °C Tiempo de respuesta: = 5s Tiempo de estabilización: 60s Potencia del componente: 0.5 W Temperatura de trabajo: -10 ~ 50 °C (temperatura nominal 20 °C)</p>

		Humedad: 95% Rh (humedad nominal 65% Rh) Tamaño del módulo: 42mm x 32mm x 20mm
BMP180	Mide la presión en el interior del digestor.	Voltaje de Operación: 3.3VDC - 5VDC. Interfaz de comunicación: I2C. Rango de Presión: 300 a 1100 hPa. Resolución: 1 Pa. Precisión absoluta: 1 hPa. Medición de temperatura incluida. Resolución de temperatura: 0.1°C. Precisión Temperatura: 1°C.

Fuente: (mercadolibre, 2019f, 2019e, 2019b, 2019g, 2019d, 2019a, 2019c)

En la placa no solo se encuentran los relés de 5 voltios, también se localizan condicionadores determinados que conectan los elementos o sensores que Arduino no puede conectar directamente a sus entradas. Los condicionadores utilizados se definen en la tabla 14.

Tabla 14 Condicionadores para Arduino

Modelo	Descripción
MAX31865	Condicionador para conectar el sensor PT100
A4988	Controlador para motor NEMA17
BNC	Condicionador usado para medir PH

Fuente: Autor

Los relés de 5 voltios en corriente continua cumplen la función de activar o desactivar los instrumentos que se describen en la tabla 15.

Tabla 15 Instrumentos de control con relés de 5V

Cantidad	Elementos	Voltaje
2	Bomba de agua	12 DC
3	Relés 12 V	12 DC
1	Motorreductor	12 DC

Fuente: Autor

Se encuentran instaladas dos bombas de agua una que hace circular el lixiviado del biodigestor al depósito de agitación y la segunda bomba hará que el lixiviado regrese al tanque digestor.

Los relés de 12 voltios DC controlan los elementos que trabajan en voltajes de corriente alterna. Así se evita de esta forma interferencias entre Arduino que trabaja con DC y los elementos en AC. Estos elementos se representan en la tabla 16.

Tabla 16 Elementos de corriente alterna

Cantidad	Elemento
1	Niquelina sumergible de 1000 w capacidad 30 litros
2	Electroválvula

Fuente: Autor

2.4.2. Programación en Arduino

La programación que se desarrolla en Arduino comunica las variables de control y monitoreo del proceso lo que significa que Arduino envía y recibe datos ya sea desde el OPC al Arduino o desde los sensores al Arduino y al OPC.

La programación realiza operaciones de lectura para los sensores y de accionamiento de modo on/off para los relés. Estas señales son salidas o entradas digitales y analógicas del microcontrolador el proceso de comunicación para Arduino se describe en la Fig. 16.

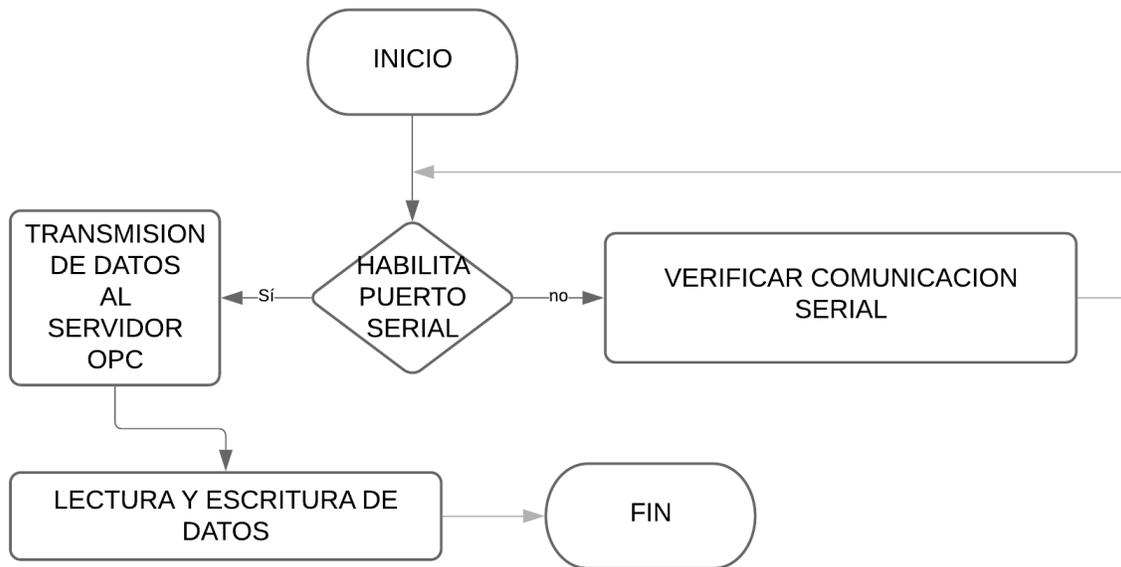


Figura 16 Proceso de comunicación serial entre Arduino y OPC Server
Fuente: Autor

El programa que se desarrolla en la interfaz de Arduino tiene el fin de brindar las variables necesarias para ejecutar operaciones de lectura y escritura dentro del sistema HMI. Arduino únicamente envía y recibe datos mas no desarrolla procesos de control los cuales se establecen en la interfaz HMI.

La Fig. 17 describe el funcionamiento del subprograma de lectura para los sensores usados en el programa de comunicación serial de Arduino. Este subprograma envía valores que se pueden leer y visualizar dentro del sistema HMI, así el sistema puede ejecutar las diferentes acciones ya sean de control, agitación, circulación de lixiviado y pH. También se monitorizan los valores de temperatura, humedad y presión en el interior del tanque digester.

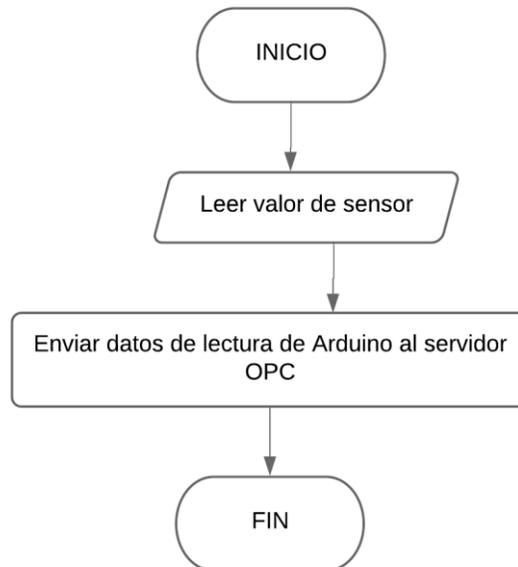


Figura 17 Lectura de variables desde Arduino al servidor OPC

Fuente: Autor

Las lecturas tomadas de los sensores envían datos desde Arduino al servidor a un intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo es necesario para tomar medidas de cada uno de los sensores.

Los relés de 5 voltios reciben señales de alto o bajo desde el microcontrolador el cual dependerá de la señal recibida por el servidor OPC al Arduino para encender o apagar.

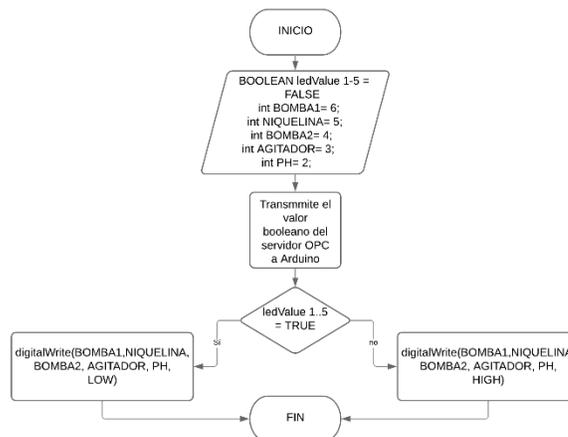


Figura 18 Escritura de valores a través del servidor OPC a Arduino

Fuente: Autor

En la Fig. 18 describe el proceso de activación de los relés a través de señales digitales, para accionar los relés considerar que trabajan con lógica inversa. Es decir, si se van a activar se

debe enviar una señal de bajo (LOW) y de igual manera si se desea desactivar se debe enviar una señal de alto (HIGH).

Librerías

OPC

Arduino se comunica con el servidor OPC a través de la librería denominada OPC SERVER. La librería cumple la función de retornar valores a través del puerto serial. La librería está disponible dentro del gestor de librerías de Arduino IDE. La librería se instala dirigiéndose a Programa > Incluir Librería > Administrar Bibliotecas y buscar la librería OPC como se muestra en la Fig. 19 e instalarla.

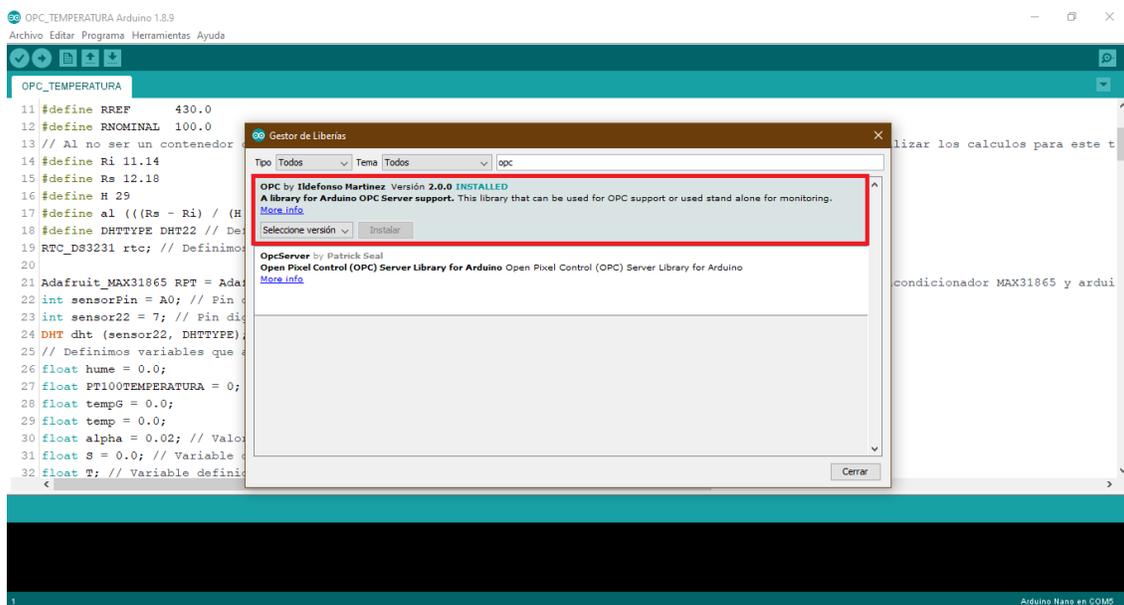


Figura 19 Instalación librería OPC de Arduino
Fuente: Autor

Estructura

Para poder ejecutar adecuadamente un programa usando comunicación serial se debe tener en cuenta la estructura que debe seguir un programa para poder iniciar la comunicación, esta estructura es la siguiente:

- a. Incluye la librería OPC

Para incluir la librería la cual se encontrará después de haberla instalado en la opción Incluir librería de Arduino IDE.

- b. Declara el objeto OPC

Se declara el objeto OPC con el fin de que cuando se desee hacer la lectura o escritura desde el servidor OPC exista el grupo de objetos. El grupo de objetos envía o recibe los datos de comunicación. Pueden ser del tipo Serial, Ethernet, Net el comando que se debe seguir se lo escribe de la siguiente forma:

OPCTipo OPCN;

OPCTipo: Se selecciona el tipo de comunicación puede ser Serial, Net, Ethernet.

OPCN: se selecciona un nombre para el servidor OPC.

c. Códigos que Arduino ejecuta para cada una de las funciones establecidas.

Se establecen las funciones que en Arduino se van a ejecutar en las funciones declaradas para el proceso. Se pueden ejecutar procesos de lectura, escritura, lectura/escritura declarando la operación y el tipo de dato de la función.

Los comandos usados que se usan para declarar las funciones de operación se explican a continuación:

```
type item_name(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const type value)
```

type: Se define el formato del objeto de la función este puede ser float, int, bool, byte.

item_name: Se debe definir un nombre a la función.

const type: Se define el tipo de variable que obtendremos de la función si por ejemplo definimos una función del tipo byte el tipo de constante también debe ser del tipo byte.

d. Defina sus elementos OPC

Este proceso se desarrolla dentro del void setup (), ya que se van a definir las variables que envían los valores de lectura o escritura al servidor OPC. En este paso definimos el nombre de la variable, si es una variable de lectura, escritura o lectura/escritura y de que función del proceso se va a obtener el dato mediante el siguiente comando:

```
Name.addItem("item_name", opc_operation, opc_type, item_name);
```

Name.addItem: Se ejecuta una llamada al grupo de objetos OPC.

ítem_name: Es el nombre que se le asigne a la variable que obtenemos de una función determinada.

- b. Se declara un objeto que contiene los pines de comunicación de tipo SPI los pines vienen establecidos por defecto. Son 4 para la interfaz (CS, DI, DO, CLK), estos pines en el caso del Arduino Nano son (10, 11, 12, 13) respectivamente.
- c. Definir las constantes necesarias del proceso las cuales son RREF que establece para una PT100 es de 430 y RNOMINAL indica en uno de los ejemplos de la librería que a 0 grados RNOMINAL es igual a 100. Estos valores varían si se usa un sensor PT1000.
- d. Se inicia la comunicación entre Arduino y el acondicionador MAX31865. Para iniciar las lecturas se inicia el módulo mediante la operación max.begin(MAX31865_NWIRE). N: En este valor se va a definir el número de conductores que vienen desde el sensor PT100. En el mercado se encuentran sensores de este modelo de 2, 3 y 4 líneas en nuestro caso usamos un sensor PT100 de 2 líneas.
- e. Las constantes definidas calculan una resistencia y en base a la variación de la resistencia la librería calcula la temperatura mediante el comando: max.temperature(RNOMINAL, RREF) el cual es el dato que necesitamos conocer.

DHT

La librería DHT.h se usa para obtener lecturas de humedad y temperatura relativa de un ambiente específico para un sensor DHT.

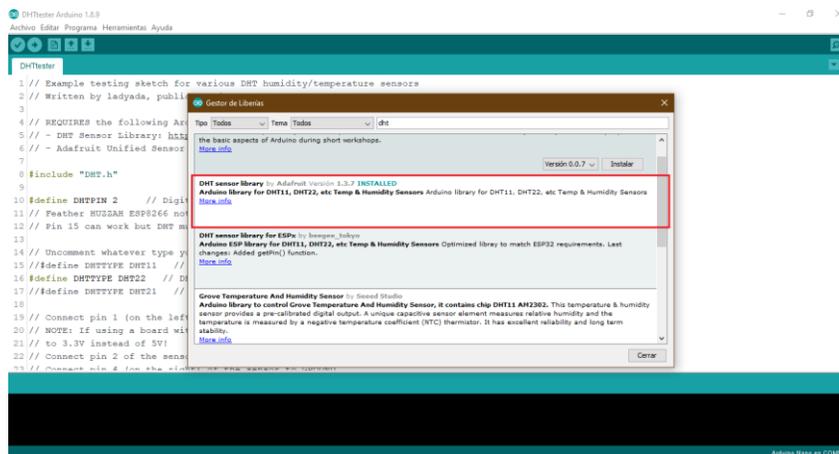


Figura 21 Selección librería DHT
Fuente: Autor

La librería debe ser instalada a través del gestor de librerías tal como se realizó con las librerías explicadas previamente en la Fig. 21 se manifiesta cuál es el nombre con el que se debe buscar y cual de todas las opciones elegir.

Estructura

- a. Declarar la librería DHT
- b. Definir el pin digital de conexión del sensor
- c. Definir el modelo de sensor DHT puede ser: DHT11, DHT22, DHT21.
- d. Inicializar el sensor a través del pin digital establecido mediante la orden `DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);` donde el `DHTPIN` viene a ser el pin digital declarado y el `DHTTYPE` el modelo de sensor.
- e. Inicializar las lecturas del sensor a través de la orden `dht.begin();`
- f. Realizar lecturas de humedad y temperatura. Los comandos son: `dht.readHumidity()` para humedad relativa y `dht.readTemperature()` para temperatura en grados centígrados.

RTC

La librería RTC ayuda a conectar el reloj de tiempo real ds3231 mediante la interfaz de comunicación i2c. Se comunica a través de los pines A4 y A5, se usa esta librería para monitorizar el tiempo de trabajo para cada elemento de accionamiento. Instalar la librería usando el gestor de librerías como se muestra en la Fig. 22.

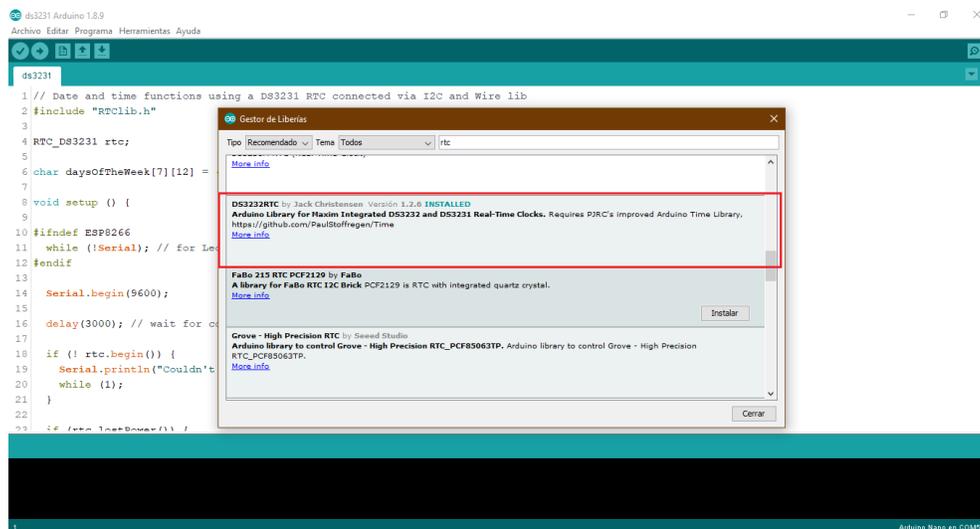


Figura 22 Librería RTC
Fuente: Autor

Estructura

- a. Declarar librería `RTClib.h`.

- b. Definir el modelo de rtc que se desea utilizar y definir una variable la cual almacenara los datos del reloj RTC.
- c. Ajustar fecha y hora
 Se ajusta la hora de dos maneras manual y automáticamente.
 La manera manual consta de definir la hora y fecha mediante el comando `rtc.adjust(DateTime(año, mes, día, hora, minutos, segundos))`. La forma automática se configura comparando la hora en la que se subió el programa al microcontrolador mediante el comando `rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)))`. La fecha se debe ajustar una sola vez.
- d. Se inicia la comunicación del módulo a través de la interfaz i2c mediante el comando `rtc.begin()`.
- e. Definimos una variable del tipo entero `int` mediante el comando `rtc.now()`; la cual almacenará la fecha actual que nos brinda los datos de día, mes, año, hora, minuto, segundo.

Los comandos para cada uno de los parámetros del reloj de tiempo real rtc se describen en la tabla 17. El modo de escritura para cada dato está acompañado del nombre definido para el RTC seguido del comando para cada parámetro.

Tabla 17 Comandos librería RTC

Parámetro	comando
Año	Nombredelrtc. year()
Mes	Nombredelrtc. month()
Día	Nombredelrtc. day()
Hora	Nombredelrtc. hour()
Minuto	Nombredelrtc. minute()
Segundo	Nombredelrtc. second()

Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

El capítulo tres explica el desarrollo del proceso de construcción del digestor. También, como está montado cada uno de los elementos de control para todo el proceso de control y monitoreo. Por último, se realiza una prueba de funcionamiento para verificar el funcionamiento del módulo en el tanque digestor.

Pruebas de funcionamiento

3.1. Construcción del digestor

La construcción del biodigestor se realiza con la asistencia de la empresa INDUMEI de la ciudad de Ibarra. Esta es una empresa dedicada al diseño, fabricación y montaje de maquinaria y equipos industriales, proyectos mecánicos y el desarrollo de manufactura de precisión. Las unidades de medida están expresadas en milímetros que es la unidad de medida con la que generalmente se trabaja en la industria metalúrgica, la precisión en las medidas entre el diseño y las medidas construidas tienen una variación de $\pm 5\%$ esto significa las figuras mostradas a continuación presentan los valores reales del digestor construido.

3.1.1. Partes del digestor

El digestor consta de una escotilla de ingreso de 4 pulgadas o 100 mm de diámetro para el ingreso de la materia. En la tapa superior está instalada una salida de $\frac{1}{2}$ pulgada y 35 mm de altura. La salida superior se usa para extraer el gas del proceso de digestión anaerobia. El tanque dispone de una salida de 4 pulgadas o 100 mm de diámetro para retirar la materia orgánica después de haberse sometido al tratamiento anaerobio. Para el ingreso y salida de lixiviado almacenado en la parte inferior del digestor se montan salidas de $\frac{1}{2}$ pulgada y 35 mm de distancia. Para la limpieza del tanque se usa una brida que facilita el mantenimiento del tanque digestor, los elementos del tanque están soldados con soldadura del tipo TIG la Fig. 23 muestra el diseño final para el digestor y sus medidas.

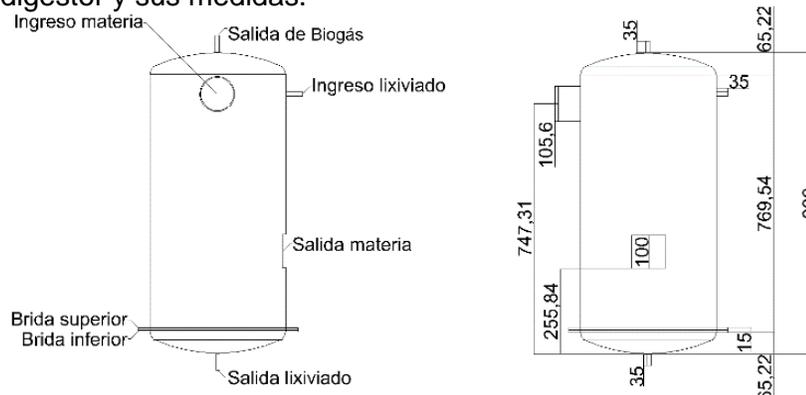


Figura 23 Partes y dimensiones del digestor construido

Fuente: Autor

3.1.2. Cortes

Para la construcción de las partes del digestor se usa una plancha de 2,20 m por 1,50 m en acero inoxidable 304 el cual es sometido a los cortes necesarios para formar el cilindro, las tapas superiores e inferior y las bridas de sujeción.

Corte del cilindro

Para calcular el corte del cilindro se debe usar la ecuación 14 la cual expresa el área del cilindro ya que se conoce la altura y radio.

$$A_{\text{cilindro}} = b * h = 2\pi r * h \quad (14)$$

Donde:

A_{cilindro}	=	Área del cilindro
b	=	Base
h	=	Altura: 769,54 mm
r	=	Radio externo: 203 mm

Resolviendo la ecuación podremos obtener el área necesaria para formar el cilindro.

$$A_{\text{cilindro}} = 2\pi * 203 \text{ mm} * 769,54 \text{ mm} = 1275,5 \text{ mm} * 769,54 \text{ mm} = 1.2755 \text{ m} * 0,77 \text{ m}$$

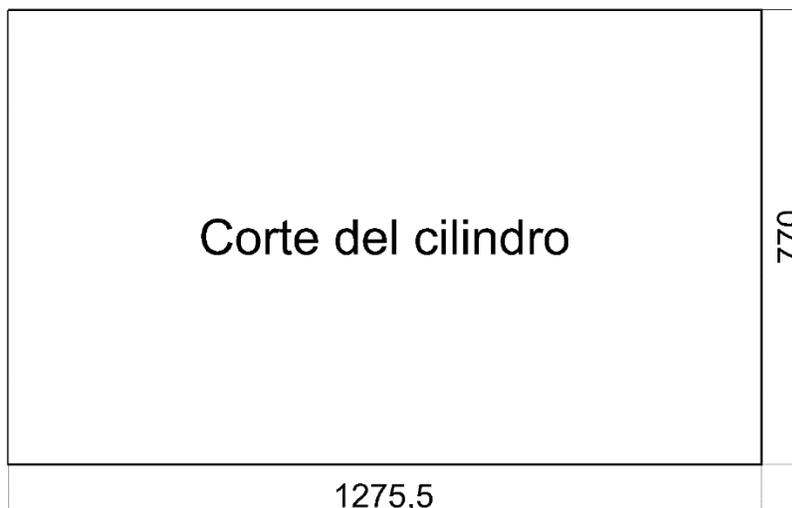


Figura 24 Dimensiones de corte para cilindro

Fuente: Autor

Con las medidas de la Fig. 24 se realiza un corte el cual forma la parte cilíndrica del tanque.

Teniendo el corte preparado se procede a doblar de acuerdo con el radio exterior que se desea para formar el cilindro como se muestra en la Fig. 25.



Figura 25 Dobles del cilindro

Fuente: Autor

Corte tapas toriesféricas.

Para la tapa toriesférica se elaboran cortes considerando los dobles y la altura de la parte recta de la tapa, para este corte se considera el 30% del diámetro exterior del cilindro ya que la tapa está formada por una parte recta y una parte toriesférica como se muestra en la Fig. 26.

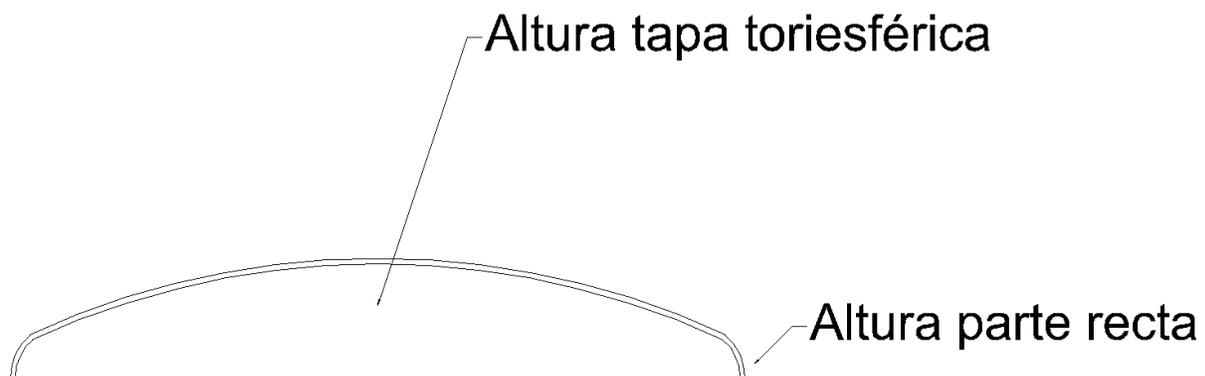


Figura 26 Tapa toriesférica

Fuente: Autor

El corte necesario para la tapa toriesférica entonces será según la ecuación 15.

$$D_{\text{tapa}} = D + (D * 0.3) \quad (15)$$

Donde tenemos que:

D_{tapa} = Diámetro de corte para la tapa
 D = Diámetro externo del cilindro: 406 mm

Resolviendo podemos obtener que para la tapa toriesférica superior eh inferior los valores de corte se resuelven a continuación y se muestran en la Fig. 27.

$$D_{\text{tapa}} = 406 \text{ mm} + (406 \text{ mm} * 0.3) = 527,8 \text{ mm}$$

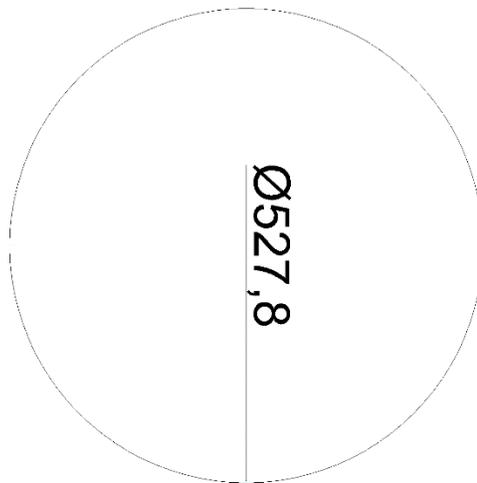


Figura 27 Corte para tapa toriesférica

Fuente: Autor

Los cortes de las tapas se someten a un proceso de doblado mediante la prensa hidráulica y así obtener las tapas inferior y superior mostradas en la Fig. 28.



Figura 28 Tapa toriesférica

Fuente: Autor

3.1.3. Soldadura y armado

El proceso de soldadura del tanque es del tipo de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo (no consumible) denominado TIG (Gas Inerte de Tungsteno). El método de soldadura funde con mayor eficiencia las juntas y materiales que en nuestro caso es acero inoxidable, además, esta soldadura ofrece un acabado mecánico más confiable y con una buena presentación estética.

En la Fig. 29 se puede observar el proceso de soldadura realizada en las juntas del tanque digestor.



Figura 29 Proceso de soldadura del tanque digestor.

Fuente: Autor

El proceso de soldadura acopla cada una de las partes del tanque digestor. Para probar que el tanque está completamente sellado se llena en su totalidad de líquido y así se comprueban posibles fugas, de ser necesario de ser necesario se las corrige. Al tanque también tiene ensamblada una base la cual sirve para sujetar de manera firme el tanque y darle una pequeña elevación.

Esta elevación es necesaria para poder instalar una electroválvula que permite el paso del lixiviado desde el tanque hasta el depósito externo esta altura se describe en la Fig. 30.

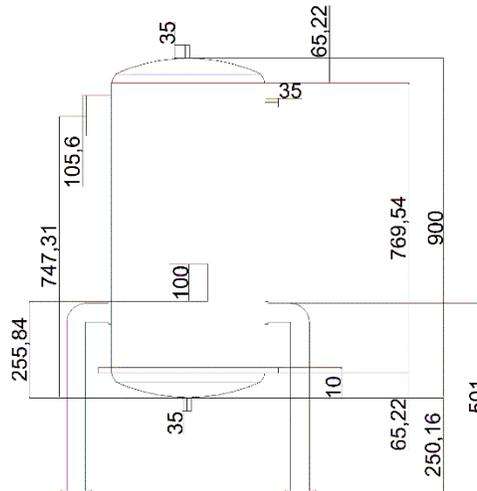


Figura 30 Altura de base de fijación

Fuente: Autor

De esta manera con una base fija es más fácil dejar salir el lixiviado almacenado y ejecutar el proceso de circulación.

En la Fig. 31 se muestra el tanque digestor armado y listo para iniciar la instalación de sus elementos de control y proceder con la prueba de funcionamiento.



Figura 31 Tanque digestor armado

Fuente: Autor

3.2. Construcción de la placa

La placa de control sujeta los elementos de accionamiento que vienen a ser los circuitos de los relés de 5 voltios, los acondicionadores y las borneras. Están conectadas borneras directamente a los pines del microcontrolador y el circuito de alimentación de 5 VDC y GND.

3.2.1. Diagrama de conexión del módulo de comunicación serial

En los diagramas descritos en las Fig. 32, 33, 34, 35 se muestra como está conectado cada uno de los elementos que están montados en la placa de control.

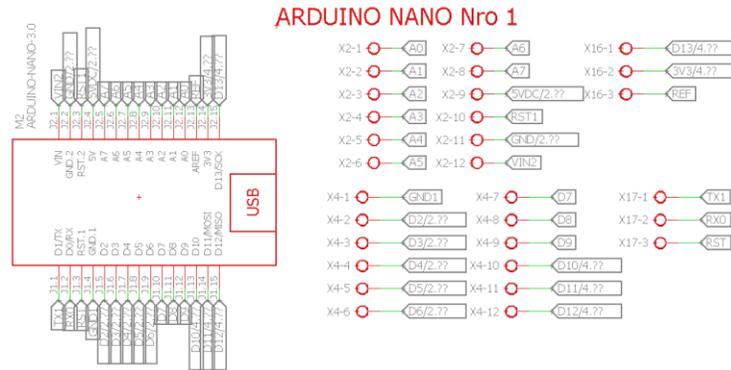


Figura 32 Conexión de placa Arduino con las borneras necesaria para la conexión de elementos de medición y actuación del módulo.

Fuente: Autor

El Arduino nano que lee los valores de cada uno de los sensores dispone de borneras para cables de 14 AWG hasta 22 AWG estas borneras se instalan en los extremos de la placa PCB que conecta a Arduino.

Para el control del motor NEMA se usa un código fuera del microcontrolador que controla el movimiento de este es decir la velocidad de giro y la dirección. El motor es controlado por un microcontrolador autónomo y su conexión se muestra en la Fig. 33. Esta programación se detalla en el Anexo C.

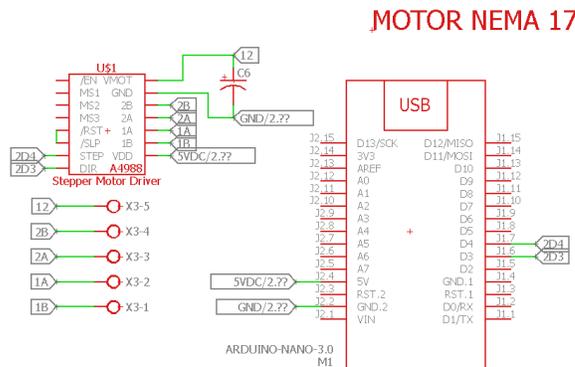


Figura 33 Diagrama de conexión control motor NEMA17

Fuente: Autor

Este microcontrolador opera al puente A4988 de forma apartada ya que en las pruebas de funcionamiento insertar estas líneas de código dentro de una misma placa causa una interferencia al momento de poner en marcha el motor.

Los relés de 5 voltios de corriente continua están diseñados para no generar interferencia al momento de conectar los elementos actuadores del sistema de control. El diagrama que se describe en la Fig. 34 es el mismo para los 5 relés instalados en la placa.

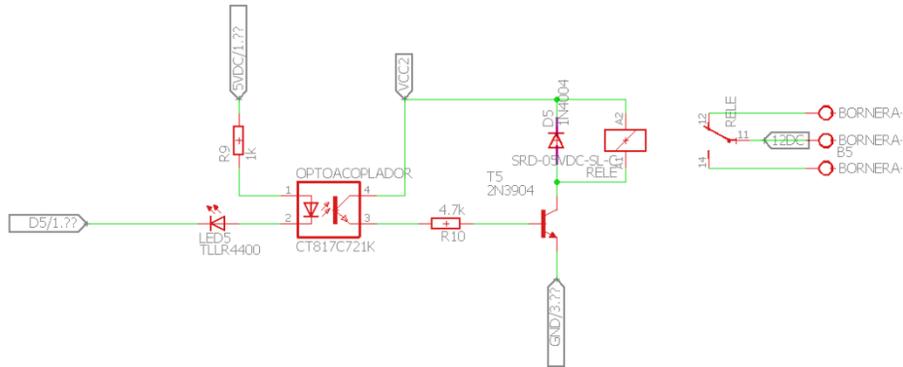


Figura 34 Diagrama de conexión relé 5 voltios DC

Fuente: Autor

En la placa de control también está instalado un convertidor de corriente dc/dc para poder alimentar la placa y sus elementos en el caso de que no se pueda conectar al puerto COM. El diagrama del convertidor de la Fig. 35 convierte los 12DC de la fuente externa a un nivel de voltaje menor necesario para el módulo.

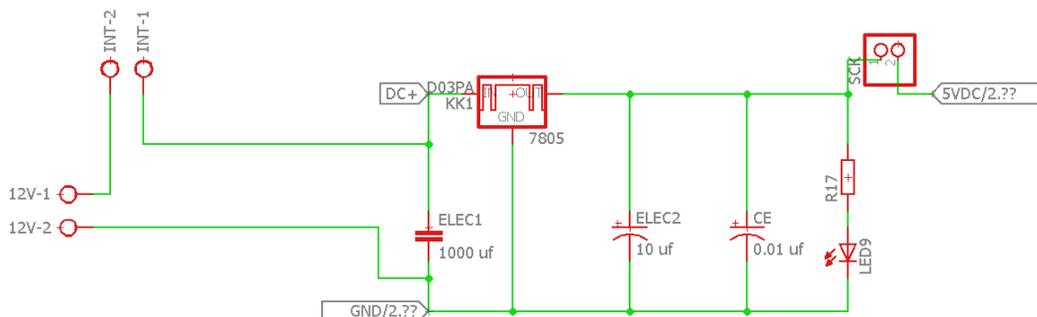


Figura 35 Esquema convertidor de 12 DC a 5 DC

3.2.2. Método de construcción.

Se construye los caminos de señal y alimentación de la placa de control aplicando el método del planchado el cual consta de someter la placa de cobre a una temperatura elevada y constante. Así mediante transferencia de calor se forman las pistas del circuito.

Los elementos que constituyen la placa de control se describen en la tabla 18.

Tabla 18 Lista de materiales para construcción de la placa de control

Cantidad	Elemento
8	Borneras 4 pines 14 – 22 AWG
11	Borneras 3 pines 14 – 22 AWG
6	Borneras 2 pines 14 – 22 AWG
1	Capacitor electrolítico 1000 uF (Elec 1)
1	Capacitor electrolítico 10 uF (Elec 2)
1	Capacitor cerámico 0,01 uF (CE)
1	Disipador de calor
1	Regulador de voltaje 7805
5	Resistencia 1 k Ω
5	Optoacoplador ct817c616k
5	Diodo led
5	Resistencia 4,7 k Ω
5	Transistor 2N3904
5	Diodo 1N4004
5	Relé 5 voltios
1	Espadín macho
1	Espadín hembra

Fuente: Autor

- a. La placa está sometida al proceso de planchado transfiriéndole calor constante durante un periodo de 25 minutos.
- b. Después de transferir las pistas impresas en papel fotográfico a la placa se sumerge en ácido férrico para limpiar el exceso de cobre y dejar las pistas útiles de la placa.
- c. Perforar los agujeros necesarios para proceder con el proceso de soldadura.
- d. Soldar los elementos en la placa.

El resultado de todo el proceso se representa en la Fig. 36.

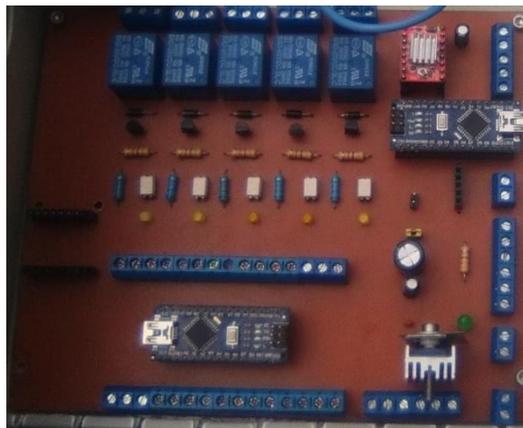


Figura 36 Placa de control

Fuente: Autor

3.3. Instalación de la placa y sensores

Para monitorizar el proceso a través de la placa se usan pines analógicos y digitales que se conectan a las borneras del microcontrolador central.

3.3.1. Sensores instalados

Los sensores instalados en la placa de control van cumplir la función de monitorizar y controlar los parámetros del proceso.

Temperatura

Los sensores de temperatura se instalan en el interior del tanque mediante perforaciones realizadas en el mismo y sellados a través de una prensa estopa de tamaño PG9 en la Fig. 37 se muestra la localización de cada sensor

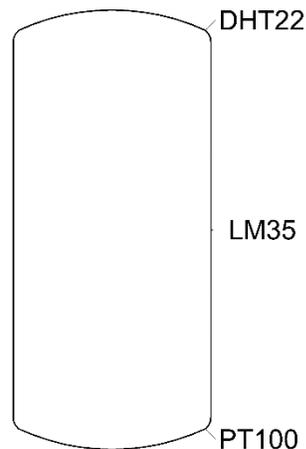


Figura 37 Localización sensores de temperatura
Fuente: Autor

Estos sensores monitorizan la temperatura del biogás, de la materia orgánica y del lixiviado.

Para más información de conexión de pines revisar el Manual de funcionamiento, prácticas y mantenimiento

Nivel

El sensor de nivel se ubica en el contenedor externo de lixiviado por lo que solo mide de 0 a 10 litros que es la capacidad máxima del contenedor este sensor se ubica en la parte superior del mismo como se muestra en la Fig. 38.

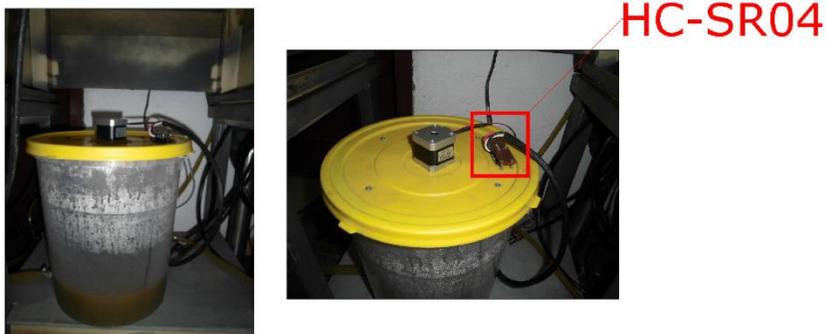


Figura 38 Localización sensor nivel HC-SR04
Fuente: Autor

Tiempo de retención

El tiempo retención es un dato que se necesita conocer al momento de monitorizar el tiempo transcurrido desde que ingresa la materia prima hasta la fecha actual, el reloj RTC DS3231 monitoriza el tiempo de retención de la materia en el interior del tanque digestor.

Este reloj de tiempo real se instala en la placa de control como se muestra en la Fig. 39.

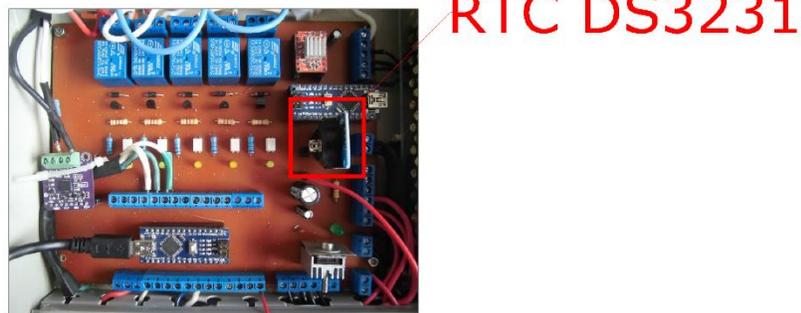


Figura 39 Localización RTC DS3231
Fuente: Autor

Humedad y temperatura DHT22

La humedad se mide a través del sensor DHT22. El sensor se encuentra instalado en la tapa superior del tanque así se puede monitorizar la temperatura relativa en la parte interna superior del tanque.

PH

El sensor de PH se instala en el recipiente externo donde se almacena el lixiviado extraído del tanque digestor. Este sensor monitoriza el PH y lo controla si es necesario.



Figura 40 Localización Sensor PH
Fuente: Autor

La Fig. 40 muestra la ubicación del sensor de pH, se lo ubica en esta posición con el fin de mantener una lectura de alcalinidad directa en el lixiviado.

3.4. Prueba de funcionamiento

Para la prueba de funcionamiento demuestra que en el proceso los sensores conectados están monitorizando los parámetros de temperatura, humedad relativa, nivel de líquido y alcalinidad que son muy importantes para poder ejecutar un adecuado control del proceso.

No todos los individuos pueden manipular el proceso de control. Las maniobras del proceso se permiten únicamente a los usuarios registrados cómo se muestra en la Fig.41. Se ingresa con un usuario y una contraseña caso contrario no se podrá realizar o tomar acciones dentro del proceso.

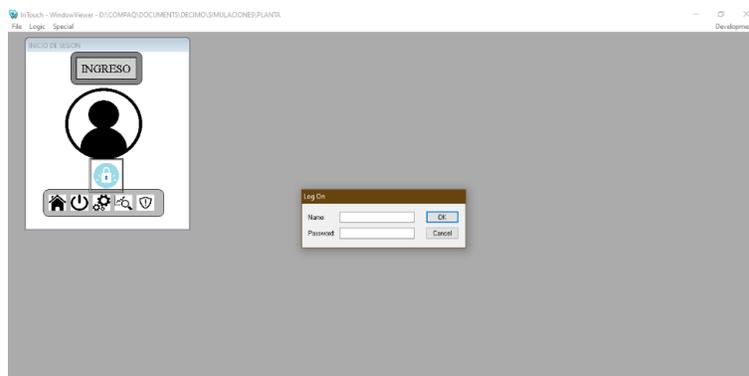


Figura 41 Ventana de acceso principal
Fuente: Autor

La Fig. 42 muestra la ventana del proceso principal después de haber registrado el usuario asignado. Los parámetros se monitorizan en tiempo real con el fin de tomar decisiones necesarias en el caso de tomar acciones donde se requiere corregir un parámetro.

No solo se visualizan las variables de lectura también en esta ventana se muestran las variables de control on/off las cuales si el usuario desea ejecuta una corrección manual del proceso.

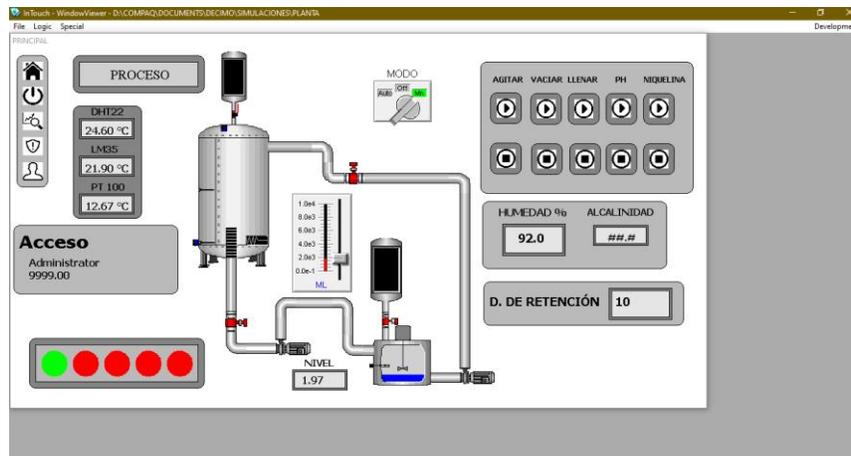


Figura 42 Ventana de control principal
Fuente: Autor

Los parámetros están enviando datos cada cinco segundos, este valor puede ser manipulado desde el servidor, pero con el fin de reducir interferencia en las lecturas este valor de intervalo de lecturas es el óptimo.

En la ventana de gráficas representan el comportamiento de los datos de temperatura de los tres sensores instalados en el tanque. En la comparación normalmente la temperatura más baja es la de la parte inferior de la tapa torisférica donde con la ayuda de la niquelina se debe controlar y así incrementar la temperatura del lixiviado la Fig. 43 muestra la ventana de graficas del proceso.

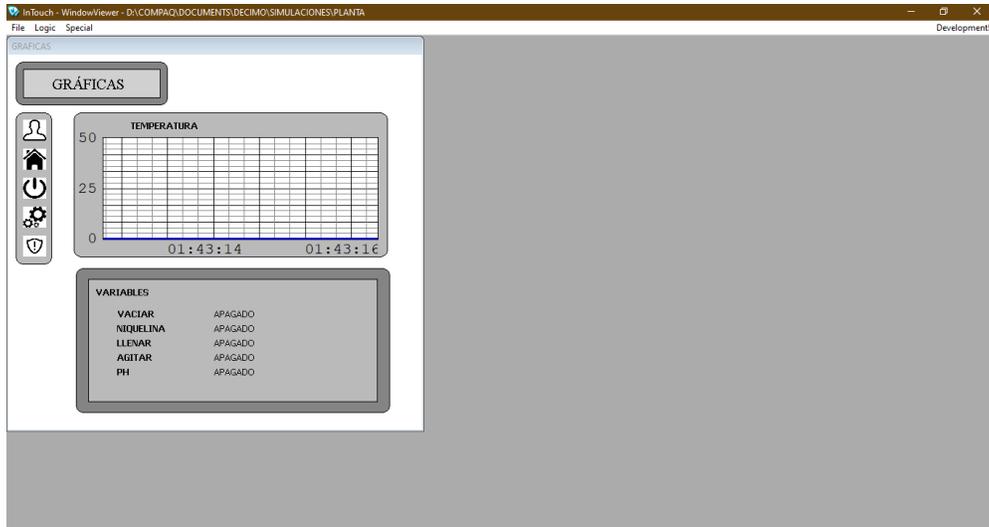


Figura 43 Gráficas del proceso
Fuente: Autor

La ventana de alarmas muestra cada uno el comportamiento de las variables ya sean de lectura o de escritura. Esta ventana muestra alertas en cada acción realizada dando un seguimiento más detallado del proceso. La Fig. 44 muestra como cada acción del proceso es enviada a la ventana de alarmas.

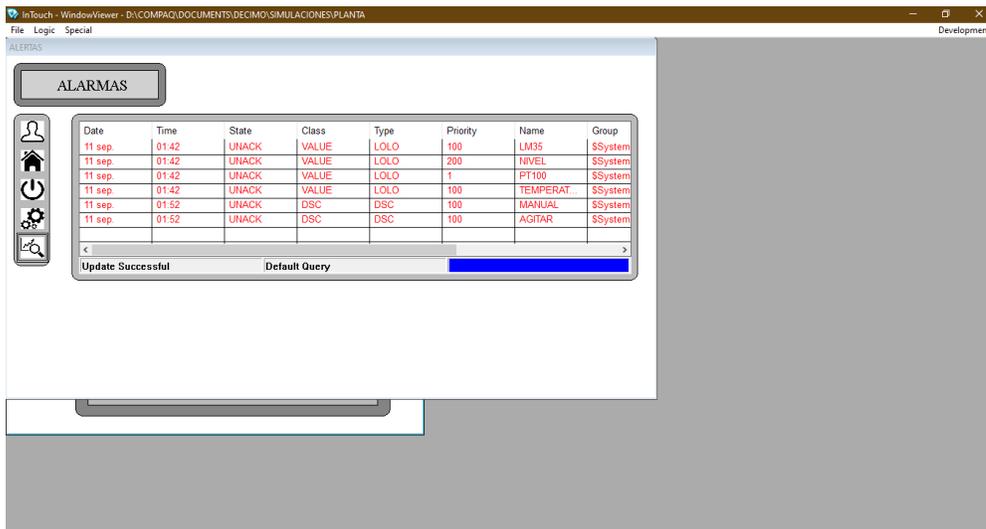


Figura 44 Alarmas del proceso
Fuente: Autor

3.4.1. Resultados de la prueba de funcionamiento

Automatizar el tanque mejora las condiciones del proceso. Lo que normalmente se hace en un proceso de este género hasta ahora exclusivamente es el ingreso de la materia ahora

implementando el módulo de control se puede mejorar las condiciones del proceso. Dándole seguimiento en cada una de sus etapas.

Arduino puede controlar y monitorizar los parámetros del proceso con total confianza siempre y cuando los sensores se mantengan en buenas condiciones. Por lo que, si un sensor tiene una pequeña falla afecta a las lecturas de los demás sensores. Es recomendable utilizar el manual de funcionamiento para evitar malas maniobras o corregir posibles fallas.

La circulación de lixiviado no es muy frecuente por el hecho de que el digestor usa especialmente residuos sólidos secos con un pequeño porcentaje de agua. El fin es mantener la humedad adecuada. Y así también se evita el forcejeo de las bombas que ejecutan el proceso de circulación de lixiviado. Se pueden establecer intervalos de tiempo en los que las bombas van a funcionar en función del tiempo y la humedad presente en el digestor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Del estudio previo se determinó que se puede aprovechar los residuos domiciliarios ya que presentan un alto porcentaje de materia orgánica donde si se aplica un método de tratamiento adecuado como la digestión anaerobia se podrá generar biogás mismo que podrá ser usado para la producción de energía eléctrica la cual es una de las fuentes más usada en la actualidad.

De la revisión de la literatura se logra tener un diseño del sistema de control y el tanque biodigestor el cual fue construido considerando los parámetros necesarios los cuales harán que el proceso de digestión anaerobia sea el óptimo así se demuestra que un adecuado diseño mecánico y geométrico del tanque facilitara el proceso haciéndolo más eficaz a la hora de ponerlo en marcha.

La prueba de funcionamiento del digestor demostró que un sistema de control es muy útil para poder monitorizar en tiempo real cada uno de los parámetros establecidos en el proceso de digestión anaerobio ya que por medio del sistema HMI el operario puede verificar el comportamiento del proceso y tomar las acciones correctivas necesarias.

Recomendaciones

Los docentes deben brindar más interés en los estudiantes exhibiendo programas de estudio relacionados con la generación de energía por medio de métodos alternativos generando interés para futuras investigaciones relacionadas con el área de generación aplicando métodos alternos y no los más conocidos en la industria eléctrica.

Considerar para investigaciones futuras la aplicación del módulo de producción de biogás para generación de electricidad por medio de motores de combustión interna.

Proporcionar a los estudiantes una visión más amplia relacionada con el área de desarrollo de sistemas HMI mediante la aplicación de módulos basados en un microcontrolador de la categoría de Arduino con cualidades de control de procesos.

En el momento de iniciar la puesta en marcha del digestor por favor tenga claro cuál es la condición en la que los elementos deben encontrarse tanto como sensores, motores y electroválvula con el fin de que mientras el digestor se encuentre en estado de funcionamiento no presente ninguna falla que afecte drásticamente al proceso se recomienda antes de poner en marcha el proceso investigar su funcionamiento mediante el manual de funcionamiento de este.

REFERENCIAS

- ABOUTESPAÑOL. (2018). Cómo un biodigestor convierte basura en energía. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <https://www.aboutespanol.com/que-es-un-biodigestor-3417683>
- Agüero, E. M. (2014). *Lineamientos para una Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de Frías, Santiago del Estero*. Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Escuela de Ingeniería Industrial, Córdoba. Recuperado de [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1543/Proyecto Integrador - Agüero Eugenia.pdf;sequence=1](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1543/Proyecto_Integrador_-_Agüero_Eugenia.pdf;sequence=1)
- Alvaro Gualoto, M. E., & Olives Erazo, A. C. (2013). Identificación del potencial aprovechable de los residuos sólidos orgánicos que se generan en mercados, supermercados, parques, jardines y diferentes sectores industriales de la Zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5787>
- Andino Bermúdez, R. I., Martínez Arcia, K. A., & López, M. (2015). *Biodigestor: Una alternativa de innovación socioeconómica amigable con el medio ambiente*. Recuperado de <http://repositorio.unan.edu.ni/3895/1/8007.pdf>
- Araujo Lascano, A. C. (2014). *Puesta en marcha de la planta semi-industrial de digestión anaeróbica en Latinoamérica de Jugos S.A.* Quito, 2014. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3276>
- Ávila Velázquez, C. (2016). *USO DE BIODIGESTORES EN LA INDUSTRIA PECUARIA*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66337/TESINA-CAV-1016.pdf?sequence=1>
- Basés, P. E. (2016). *ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS EN UNA GRANJA DE GANADO BOVINO*. UNIVERSIDAD CARLOS III, Madrid. Recuperado de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26877/TFG_Paula_Estella_Bases.pdf
- Blanco Cobián, D. (2011). *Tratamiento biológico aerobio - anaerobio - aerobio de residuos ganaderos para la obtención de biogás y compost*. Recuperado de <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1066/Tesis.pdf?sequence=1>
- Bolívar Pimienta, H. M. (2017). *FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE INVERSIÓN PARA*

PLANTAS DE BIOGÁS AGROINDUSTRIAL A PEQUEÑA ESCALA USANDO COMO SUSTRATOS PURINES Y CHUMBERAS. Universidad de Extremadura, Badajoz. Recuperado de http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/6528/TDUEX_2017_Bolivar_Pimienta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brusi, E. R., & Navaz, M. (2017). *INFORME TÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DEL CAFÉ.* Perú. Recuperado de <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Informe-técnico-sistemas-tratamiento-y-aprovechamiento-residuos-café.pdf>

Cabildo Miranda, M. del P., Escolástico León, C., & Esteban Santos, S. (2008). *Reciclado y tratamiento de residuos.* Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3199391>

Castillo Uruchima, V. E., & Moreno Quinto, N. M. (2013). Industrialización de residuos sólidos en la gestión ambiental de la ciudad del Triunfo. *Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro.* Recuperado de <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/2740>

Castro Soto, I. A. (2016). *POTENCIAL DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL ANIMAL E IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DE BIOGÁS EN CHILE PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS EN SEGMENTO GANADERO DEFINIDO.* UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA. Recuperado de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/22113/3560902048738UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cedeño Peñafiel, M. J., & Tola Cisneros, J. B. (2015). Estudio de factibilidad para el diseño, venta y distribución de Biodigestores en el Canton Salitre. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30458>

Celaya Aguilar, G., & Soto Rivero, E. (2014). *PROPUESTA DE DISEÑO FÍSICOQUÍMICO DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTOS A LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.* *British Journal of Psychiatry.* INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>

Chacón Guardado, A. J. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas.* (A. Montesinos Larrosa & L. Tagle Rodríguez, Eds.). La Habana, CUBA: CUBASOLAr.

Recuperado de http://www.ideassonline.org/public/pdf/cubasolar_diseno_y_construccion_de_plantas_de_biogas.pdf

Chávez Jácome, J. F., & Velasco Olave, J. E. (2015). *Modelación implementación y automatización de una micro-planta de producción de biogás a partir de biomasa residual para el laboratorio de energías renovables del DECEM de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10419>

Compostaje, R. E. de. (2014). *Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica II.2*. Madrid, UNKNOWN: Mundi-Prensa. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849931>

Córdova Cortez, S. P., & Miño Rosales, B. D. (2015). *Producción de biogás a partir de gallinaza con la adición de promotores de fermentación a 3 dosis, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, periodo 2014 – 2015*. LATACUNGA / UTC / 2015. Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2736>

Cueva Solá, A. B. (2014). *Arranque en la operación de la planta semi-industrial de digestión anaeróbica en Latinoamericana de Jugos S.A*. Quito: USFQ. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6304>

Diaz De Basurto Burgos, A. (2013). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO CON RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL MERCADO DE TIQUIPAYA (BOLIVIA)*. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20647/TFM_AITOR_DIAZ_DE_BASURTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Durazno Coronel, A. D. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15445>

El Telégrafo. (2016). Tratamiento de residuos sólidos en análisis. Recuperado el 7 de agosto de 2018, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/tratamiento-de-residuos-solidos-en-analisis>

Garcés Hernández, L. A., Gutiérrez Forero, P. A., & Reyes Alfonso, J. P. (2014). *Producción de*

Biogás a partir de residuos agrícolas. Bogotá. Recuperado de http://www.academia.edu/10345310/PROYECTO_DE_INVESTIGACIÓN_Producción_de_Biogás_a_partir_de_residuos_agrícolas_

García Fernández, M. E. (2015). *Análisis de la rentabilidad de la producción de Biol en la Planta de Digestión Anaerobia de latinoamericana de Jugos S.A.* Quito: USFQ, 2015. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4163>

García García-Roldán, J. J. (2017). *EVALUACIÓN DE RESIDUOS BIODEGRADABLES EN LA ISLA DE MENORCA. Potencial generador de biogás y fertilizantes orgánicos.* ISLA DE MENORCA. Recuperado de http://www.cime.es/WebEditor/Pagines/file/PDS/evaluacion_residuos_biodegradables.pdf

García, H., Toyo, L., Acosta, Y., Rodríguez, L., & Zauahre, M. El. (2014). Percepción del manejo de residuos sólidos urbanos (fracción inorgánica) en una comunidad universitaria. *MULTICIENCIAS*, 14, 247–256. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/904/90432809002.pdf>

García Zabaleta, R. S., Alamo Viera, M. V., & Aldana, M. D. M. (2017). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA.* Huaraz. Recuperado de http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf

Garrido Troncoso, G. E. (2014). *EFFECTO DE LA HUMEDAD EN LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, MEDIANTE TRATAMIENTO MECÁNICO BIOLÓGICO.* UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO, Concepción. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/173/1/Garrido_Troncoso_Gustavo.pdf

González, J. F., Martín, F. G., González, P. D. E. L. R. I. O., Alfaro, G. S. A. N. M., Ruiz, A. B., Hervas, J. M. S., ... Mira, J. A. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética.* Ediciones Mundi-Prensa. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=k9ISCgAAQBAJ>

Gualoto Chiza, J. A., & Zambrano Fernández, Z. A. (2013). Diseño y construcción de interface para monitoreo y control de prototipos del Laboratorio de energías alternativas y eficiencia energética del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6339>

- Hernández Gil, M. A., & Zapata Vigil, M. E. (2018). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR CON ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO PARA EL CASERÍO LA ZANJA – CAJAMARCA*. Universidad Señor de Sipan. Recuperado de [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5583/Hernández Gil %26 Zapata Vigil.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5583/Hernández_Gil_%26_Zapata_Vigil.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hernández Romero, M. (2016). Diseño de una planta de biometanización de residuos domésticos. Recuperado de <http://oa.upm.es/44097/>
- Herrera Pilotzi, H. (2017). ¿Que es el Biogas?, 11. Recuperado de http://www.citizenstrade.org/ctc/wp-content/uploads/2011/01/que_es_el_alca.pdf
- Hurtado Rangel, S. T., Loaisa Issa, A. E., & Velilla Castro, E. M. (2017). *Estrategias para promover la Clasificación de residuos sólidos en jóvenes de grado (7°) de la Institución Educativa Simón Araujo*. Corporación Universitaria del Caribe. Recuperado de [https://repositorio.cecar.edu.co/jspui/bitstream/123456789/166/1/ESTRATEGIAS PARA PROMOVER LA CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN JÓVENES DE GRADO %287°%29 DE LA INS.pdf](https://repositorio.cecar.edu.co/jspui/bitstream/123456789/166/1/ESTRATEGIAS_PARA_PROMOVER_LA_CLASIFICACIÓN_DE_RESIDUOS_SÓLIDOS_EN_JÓVENES_DE_GRADO_%287°%29_DE_LA_INS.pdf)
- INEC. (2016). Gestión de Residuos Sólidos 2016, 1–14.
- Iriarte, J. P. (2018). VOLUMEN EN TAPAS Y FONDOS BOMBEADOS - Juan Pablo Iriarte. Recuperado el 6 de septiembre de 2019, de <https://iriarte.com.co/volumen-tapas-fondos-bombeados/>
- Jarauta Rovira, L. (2015). *Las energías renovables*. Barcelona, UNKNOWN: Editorial UOC. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4536338>
- Lara, G. T. (2013). Biogás: una alternativa ambiental, social y económica. Recuperado el 16 de julio de 2018, de <http://www.sustentator.com/blog-es/2013/05/biogas-una-alternativa-ambiental-social-y-economica/>
- MAE, M. del A. del E. (2015). *Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador*. Quito. Recuperado de http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2015_Manual_Biodigestores_Ecuador.pdf
- Mazza, P. (2017). *DISEÑO DE EQUIPO DE ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE BIOGÁS DE DISTINTOS TIPOS DE BIOMASA*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. Recuperado de

mercadolibre. (2019a). Modulo Rtc Ds3231 Reloj De Tiempo Real. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421898695-modulo-rtc-ds3231-reloj-de-tiempo-real-con-pila-_JM

mercadolibre. (2019b). Pt100 Sumergible Platino Arduino Rtd Plc Sensor Temperatura. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421108615-pt100-sumergible-platino-arduino-rtd-plc-sensor-temperatura-_JM?quantity=1

mercadolibre. (2019c). Sensor Bmp180 Barométrico Presión Arduino. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421444327-tecnologia-robotica-sensor-bmp180-barometrico-presion-arduin-_JM?quantity=1

mercadolibre. (2019d). Sensor De Ph + Tarjeta Acondicionamiento Arduino Pic Avr - U\$S 48,99 en Mercado Libre. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421864488-sensor-de-ph-tarjeta-acondicionamiento-arduino-pic-avr-_JM?quantity=1

mercadolibre. (2019e). Sensor De Temperatura Y Humedad De Precisión Dht22. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421623090-sensor-de-temperatura-y-humedad-de-precision-dht22-cable-_JM?quantity=1

mercadolibre. (2019f). Sensor Lm35 De Temperatura Sumergible Arduino Pic Avr. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421733362-sensor-lm35-de-temperatura-sumergible-arduino-pic-avr-_JM

mercadolibre. (2019g). Sensor Ultrasónico Hc-sr04 Hc-04 Arduino. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-421709453-sensor-ultrasonico-hc-sr04-hc-04-arduino-eadictos-_JM?quantity=1

Munisamy, P., Ravichandran, M., Natarajan, S. D., & Varadhaaraju, C. (2017). Biological Aspects of Anaerobic Digestion and Its Kinetics: an Overview. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 6(4), 1090–1097. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017.6.4.1090-1097>

Nick de Smith Webmaster. (2018). ANSI PCB Track Width Calculator. Recuperado el 19 de agosto de 2019, de <https://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>

Pacheco González, I. S. (2016). *CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DIGESTOR*

ANAEROBIO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE ALIMENTOS Y PODA A ESCALA BANCO. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/51702/1/75084817.2016.pdf>

Pachón Rodríguez, A. D., & García Cepeda, A. F. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE HECES CANINAS. AUTORES.* Bogotá. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6949/1/DavidAlexanderRodriguezPachón2017.pdf>

Passeggi, M. (2018). *DISEÑO Y OPERACIÓN DE SISTEMAS ANAEROBIOS.* Recuperado de https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/138942/mod_resource/content/3/DIGESTORESANAEROBIOS.pdf

Pazmiño Macas, K. I. (2016). Biodigestores una solución energética para la población rural. Uso del biogás en un caso de estudio. Recuperado de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/9651#.W0Qfc0gvzIU>

Pérez Del Pozo, P. (2018). Cómo la basura perjudica nuestra salud y al medio ambiente. Recuperado el 7 de agosto de 2018, de https://www.alimentatubienestar.es/la-basura-perjudica-nuestra-salud-y-medio-ambiente/#Residuos_domesticos

Pineda, J. (2017). PROBLEMA AMBIENTAL DE BASURAS, RESIDUOS SOLIDOS. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/problema-ambiental-basura/>

Raffo, S., & Zava, M. O. (2014). *APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE BIODIGESTORES A UN FEEDLOT. ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE CABEZAS DENTRO DEL ESTABLECIMIENTO.* INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES. Recuperado de https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/426/Proyecto_Final_Raffo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramírez Sánchez, G. C. (2016). *VALORACION DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS DURANTE UN PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA CON CONTENIDO RUMINAL DE ORIGEN BOVINO BAJO CONDICIONES DE TIEMPO, CARGA Y TEMPERATURA DIFERENCIALES.* MANIZALES. Recuperado de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2771/Ramirez_Sanchez_

Gloria_pdf.2016 %282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Redel, L. I. (2014). BioDigestor: HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES: Recuperado el 30 de junio de 2018, de <http://infodigestor.blogspot.com/2014/06/historia-de-los-biodigestores.html>

Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí, 0(24)*, 22. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>

Rodríguez Perdigón, L. A. (2014). *VIABILIDAD TÉCNICA PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS – FORSU*. Bogotá. Recuperado de <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1560/RodriguezLuis2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Román Gía, R. A. (2016). *Diseño y simulación de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de vísceras animales*. Quito, 2016. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16720>

San Millán Cossío, A. (2017). *Estudio técnico sobre biodigestores anaeróbicos, aplicado al tratamiento de la fracción orgánica de los residuos municipales*. Universidad de Cantabria. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14132/ASC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez Oña, L. E., & Villalva Fernández, R. N. (2015). *Análisis técnico económico ambiental de diferentes alternativas de recolección de residuos sólidos urbanos, peligrosos y hospitalarios en la Parroquia Malchinguí – Pedro Moncayo*. Quito, 2015. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10497>

Suquillo Rea, E. G., & Tercero Chisaguano, J. C. (2016). *Estudio de prefactibilidad para cubrir la demanda de energía eléctrica que requiere la población de Itulcachi (Parque Industrial) a partir de generación eléctrica mediante energía renovable*. Quito, 2016. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15083>

Tapia Tapia, V. (2016). *INSTALACIÓN Y USO DE BIOGÁS*. Lima. Recuperado de <http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2016/11/Manual-de-Biodigestores-Final.pdf>

Tupiza Note, S. J., & Velásquez Conde, D. A. (2013). *Diseño e implementación de un biodigestor*

para el funcionamiento de un motor térmico. QUITO / UIDE / 2013. Recuperado de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/173>

Vallejos, M. (2013). Biodigestores como la potencial solución para el manejo de desechos orgánicos y la producción de energías alternativas - BiodiSol. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <http://www.biodisol.com/biocombustibles/biodigestores-como-la-potencial-solucion-para-el-manejo-de-desechos-organicos-y-la-produccion-de-energias-alternativas/>

Vanegas Cárdenas, E., Mariscal Moreno, J., Camargo Valero, M., & Aristizábal Zuluaga, B. (2015). Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *Energética*, 0(46), 29–36. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/energetica/article/view/51305>

Zambrano Soledispa, V. (2017). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA UNA EMPRESA FABRICANTE DE BALANCEADO A PARTIR DE RESTOS DE ANIMALES.* ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/38991/D-CD88521.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo A manual para diseño de recipientes a presión

https://www.academia.edu/27948555/Megyesy_Eugene_Manual_De_Recipientes_A_Presion_Dise%C3%B1o_Y_Calculo

Anexo B Programación OPC_SERVER

La programación utilizada para poder realizar la comunicación entre la placa de control y el sistema HMI se describe a continuación.

```
#include <Adafruit_MAX31865.h> //Incluir librería para obtener los valores de temperatura de la PT100
#include <OPC.h> // Librería necesaria para comunicación serial entre Arduino y Intouch
#include <DHT.h> // Librería del sensor de temperatura y humedad DHT22
#include <DHT_U.h>
#include <Wire.h> // Librería para realizar uso de la comunicación i2c necesaria para obtener los valores del RTC ds3231 y BMP180
#include <RTCLib.h> // Librería para obtener valores del reloj RTC DS3231
#include <Bridge.h> // Librerías de comunicacion del OPC server
#include <Ethernet.h>
#include <SPI.h>

// valores determinados por la librería max31865 para censar la temperatura a través del sensor PT100 si es un sensor estos valores cambian
#define RREF 430.0
#define RNOMINAL 100.0

// Al no ser un contenedor cilíndrico el contenedor el cual almacena el lixiviado extraído del digestor se debe realizar los cálculos para este tipo de objeto definiremos variables constantes para el contenedor en especial.
#define Ri 11.14
#define Rs 12.18
#define H 29
#define al (((Rs - Ri) / (H * Ri)) * ((Rs - Ri) / (H * Ri)))
#define DHTTYPE DHT22 // Definimos el tipo de sensor DHT
RTC_DS3231 rtc; // Definimos una variable rtc que servirá para ejecutar las lecturas necesarias del DS3231
```

```

Adafruit_MAX31865 RPT = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13); // Se deben definir los
pines de comunicacion entre el acondicionador MAX31865 y Arduino nano
int sensorPin = A0; // Pin de lectura para el sensor LM35
int pHpin = A1; // Connect the sensor's Po output to analogue pin 0.
int sensor22 = 7; // Pin digital de lectura para el sensor DHT22
DHT dht (sensor22, DHTTYPE);
// Definimos variables que almacenaran los resultados obtenidos en cada uno de los
sensores conectados a Arduino
float hume = 0.0;
float PT100TEMPERATURA = 0;
float tempG = 0.0;
float temp = 0.0;
float P = 11.39;
float alpha = 0.02; // Valor definido para mejorar las lecturas del sensor LM35 reduciendo
el ruido
float S = 0.0; // Variable definida para almacenar el valor del filtro para el sensor LM35
float Z = 0.0;
float alpha2 = 0.02;
float T; // Variable definida para enviar al opc
// Pines donde se conectan los pines del sensor ultrasónico HC-04
const int PinTrig = 9;
const int PinEcho = 8;
const float VelSon = 34000.0; // Constante velocidad sonido en cm/s
const int numLecturas = 50; // Número de muestras
const float distanciaVacio = 26; // Distancia medida por el sensor cuando el contenedor
externo esta vacío
bool primeraMedia = false;
float lecturas[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActual = 0; // Lectura por la que vamos
float total = 0; // Total de las que llevamos
float media = 0; // Media de las medidas
float Po;
int AGITADOR = 3; // Pin de señal para activación del motor NEMA17
int BOMBA1 = 6; // Pin de señal de activación del relé para la bomba y la válvula de
extracción de lixiviado

```

```

int BOMBA2 = 4; // Pin de señal de activación del relé para la bomba y la válvula de
inyección de lixiviado
int NIQUELINA = 5; // Activación de la niquelina
int contPH = 2; // Activación válvula control PH
int setd = 13;
int dia;
int minutos;
float Pr;
OPCSerial aOPCSerial;

// retornamos el valor del sensor LM35 y se almacenara en la variable T que se usara para
la lectura en el OPC
float LM35(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    return T;
}

// retornamos el valor del sensor PT100 y se almacenara en la variable
PT100TEMPERATURA que se usara para la lectura en el OPC
float PT100(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    return PT100TEMPERATURA;
}

// retornamos el valor del sensor dht22 de temperatura y se almacenara en la variable
tempG que se usara para la lectura en el OPC
float S22T (const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    tempG = (dht.readTemperature())-2.0;
    return tempG;
}

// retornamos el valor del sensor dht22 de humedad y se almacenara en la variable hume
que se usara para la lectura en el OPC
float S22H (const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    hume = dht.readHumidity();
    return hume;
}

// retornamos el valor del sensor RTC ds3231 y se almacenara en la variable dias que se
usara para la lectura en el OPC
int dias (const char *itemID, const opcOperation opcOP, const int value) {
    return dia;
}

```

```

}
int minu (const char *itemID, const opcOperation opcOP, const int value) {
    return minutos;
}

```

// Para la lectura del nivel mediante el sensor ultrasonico se debe realizar un proceso que nos devolverá la cantidad de líquido aproximado en el contenedor externo retornándonos el valor de cantidad de líquido para lectura del OPC

```

float NIVEL (const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    total = total - lecturas[lecturaActual];
    iniciarTrigger();
    unsigned long tiempo = pulseIn (PinEcho, HIGH); // La función pulseIn obtiene el tiempo que tarda en cambiar entre estados, en este caso a HIGH
    float distancia = tiempo * 0.000001 * VelSon / 2.0; // Obtenemos la distancia en cm, hay que convertir el tiempo en segundos ya que está en microsegundos por eso se multiplica por 0.000001
    lecturas[lecturaActual] = distancia; // Almacenamos la distancia en el array
    total = total + lecturas[lecturaActual]; // Añadimos la lectura al total
    lecturaActual = lecturaActual + 1; // Avanzamos a la siguiente posición del array
    if (lecturaActual >= numLecturas) // Comprobamos si hemos llegado al final del array
    {
        primeraMedia = true;
        lecturaActual = 0;
    }
    media = total / numLecturas; // Calculamos la media
    if (primeraMedia) // Solo mostramos si hemos calculado por lo menos una media
    {
        float distanciaLleno = distanciaVacio - media;
        float cantidadLiquido = ((PI) * (Ri * Ri) * (distanciaLleno) * (1 + al + (1 / 3) * (al * al) * (distanciaLleno * distanciaLleno))) + 500.0;
        return cantidadLiquido;
    }
}
float VpH (const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    return Z;
}

```

```

float Presion(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const float value) {
    Pr = P + (0.05*PT100TEMPERATURA);
    return Pr;
}

```

// Se establecen funciones para controlar los motores, electroválvulas desde el Scada solo se envía una señal de ON, OFF.

```

bool R1(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const bool value) {
    static bool ledValue1 = false;
    if (opcOP == opc_opwrite) {
        ledValue1 = value;
        if (ledValue1)
            digitalWrite(AGITADOR, LOW);
        else
            digitalWrite (AGITADOR, HIGH);
    }
}

```

```

else
    return ledValue1;
}

```

//-----//

```

bool R2(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const bool value) {
    static bool ledValue2 = false;
    if (opcOP == opc_opwrite) {
        ledValue2 = value;
        if (ledValue2)
            digitalWrite (BOMBA1, LOW);
        else
            digitalWrite (BOMBA1, HIGH);
    }
}
else
    return ledValue2;
}

```

```

//-----//
bool R3(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const bool value) {
    static bool ledValue3 = false;
    if (opcOP == opc_opwrite) {
        ledValue3 = value;
        if (ledValue3)
            digitalWrite (BOMBA2, LOW);
        else
            digitalWrite (BOMBA2, HIGH);
    }
    else
        return ledValue3;
}
//-----//

bool R4(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const bool value) {
    static bool ledValue4 = false;
    if (opcOP == opc_opwrite) {
        ledValue4 = value;
        if (ledValue4)
            digitalWrite (NIQUELINA, LOW);
        else
            digitalWrite (NIQUELINA, HIGH);
    }
    else
        return ledValue4;
}
//-----//

bool R5(const char *itemID, const opcOperation opcOP, const bool value) {
    static bool ledValue5 = false;
    if (opcOP == opc_opwrite) {
        ledValue5 = value;
        if (ledValue5)
            digitalWrite (contPH, LOW);
        else

```

```

        digitalWrite (contPH, HIGH);
    }
    else
        return ledValue5;
}
void setup () {
    Serial.begin(9600); // iniciamos la comunicacion a través del puerto serial
    RPT.begin(MAX31865_2WIRE); // Iniciamos el módulo max31865 definiendo que la
    PT100 es de 2 hilos, pueden conectarse PT100 de 3 o 4 hilos
    dht.begin(); // Iniciamos las lecturas del sensor DHT22
    rtc.begin(); // Iniciamos el módulo RTC
    //-----//
    pinMode (PinTrig, OUTPUT); // Pin trig como salida
    pinMode (PinEcho, INPUT); // Pin echo como entrada
    pinMode (AGITADOR, OUTPUT); // Pin agitador salida
    pinMode (BOMBA1, OUTPUT); // Pin bomba1 salida
    pinMode (BOMBA2, OUTPUT); // Pin bomba2 salida
    pinMode (NIQUELINA, OUTPUT); // Pin niquelina salida
    pinMode (contPH, OUTPUT); // Pin contPH salida

    //----- se establecen a los pines de salida digitales con un alto ya que los módulos
    de relé se accionan con lógica inversa es decir se activan con estado bajo desactivan con estado
    alto//

    digitalWrite (AGITADOR, HIGH);
    digitalWrite (BOMBA1, HIGH);
    digitalWrite (BOMBA2, HIGH);
    digitalWrite (NIQUELINA, HIGH);
    digitalWrite (contPH, HIGH);
    for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
    {
        lecturas[i] = 0;
    }
    aOPCSerial.setup();
    aOPCSerial.addItem("LM35", opc_read, opc_float, LM35);
    aOPCSerial.addItem("PT100", opc_read, opc_float, PT100);

```

```

aOPCSerial.addItem("TEMPERATURADHT", opc_read, opc_float, S22T);
aOPCSerial.addItem("HUMEDADHT", opc_read, opc_float, S22H);
aOPCSerial.addItem("DIAS", opc_read, opc_int, dias);
aOPCSerial.addItem("MINUTOS", opc_read, opc_int, minu);
aOPCSerial.addItem("NIVEL", opc_read, opc_float, NIVEL);
aOPCSerial.addItem("VPH", opc_read, opc_float, VpH);
aOPCSerial.addItem("PRESION", opc_read, opc_float, Presion);
aOPCSerial.addItem("AGITAR", opc_readwrite, opc_bool, R1);
aOPCSerial.addItem("BOMBA1", opc_readwrite, opc_bool, R2);
aOPCSerial.addItem("BOMBA2", opc_readwrite, opc_bool, R3);
aOPCSerial.addItem("NIQUELINA", opc_readwrite, opc_bool, R4);
aOPCSerial.addItem("PH", opc_readwrite, opc_bool, R5);
}
void loop () {
  // Se realiza el proceso de comunicacion entre Arduino y el OPC
  aOPCSerial.processOPCCommands();
  // LECTURA LM35
  float Y = analogRead(sensorPin);
  float mv = (Y * 5000.0) / 1023.0;
  float temp = mv / 10.0;
  S = (alpha * temp) + ((1 - alpha) * S);
  T = S;
  // LECTURA PT100
  PT100TEMPERATURA = RPT.temperature(RNOMINAL, RREF);
  //Rtcds3231
  DateTime fecha = rtc.now ();
  dia = fecha.day () + setd;
  minutos = fecha.minute();
  //pH
  float LPH = analogRead(pHPin);
  Po = ((1024.0 - LPH) / 73.07) + 2.5;
  Z = (alpha2 * Po) + ((1 - alpha2) * Z);
}
void iniciarTrigger ()

```

```

{
  // Ponemos el Triiger en estado bajo y esperamos 2 ms
  digitalWrite (PinTrig, LOW);
  delayMicroseconds (2);
  // Ponemos el pin Trigger ha estado alto y esperamos 10 ms
  digitalWrite (PinTrig, HIGH);
  delayMicroseconds (10);
  // Comenzamos poniendo el pin Trigger en estado bajo
  digitalWrite (PinTrig, LOW);
}
Anexo C Programación motor NEMA 17

```

```

const int stepPin = 4;

const int dirPin = 3;

int estado = LOW;

long customDelayMapped = 500;

long tiempoanterior = 0;

void setup () {
  // Sets the two pins as Outputs
  Serial.begin(9600);
  pinMode (stepPin, OUTPUT);
  pinMode (dirPin, OUTPUT);
  digitalWrite (dirPin, HIGH);
}

void loop () {
  unsigned long tiempoactual = micros ();
  if (tiempoactual - tiempoanterior >= customDelayMapped) {
    tiempoanterior = tiempoactual;
    if (estado == LOW) {

```

```

        estado = HIGH;
    }
    else {
        estado = LOW;
    }
    digitalWrite (stepPin, estado);
}
}
}

```

Anexo D Programación prueba de sensores

```

// SENSORES COMUNICACION
#include <Adafruit_MAX31865.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include "DHT.h"

Adafruit_MAX31865 pt100 = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13);
Adafruit_BMP085 bmp;

#define DHT_22 7
#define RREF 430.0
#define RNOMINAL 100.0
#define dhtmodelo DHT22
DHT dht (DHT_22, dhtmodelo);

const int sensorPin = A0;
int Motor = 3;
int niq = 5;
int BOMBA1 = 6;
int BOMBA2 = 4;
float TLM35 = 0.0;
float Tdht22 = 0.0;
float Hdht22 = 0.0;
float Tpt100 = 0.0;
float alpha = 0.01;
float S = 0.0;
float P = 0.0;
long customDelayMapped = 1000; // Defines variables
long tiempoanterior = 0;

void setup() {
    Serial.begin(9600);

```

```

pinMode(Motor, OUTPUT);
pinMode(BOMBA1, OUTPUT);
pinMode(BOMBA2, OUTPUT);
pinMode(niq, OUTPUT);
dht.begin();
bmp.begin(0x77);
////////////////////////////////////7
pt100.begin(MAX31865_2WIRE);
digitalWrite(Motor, HIGH);
digitalWrite(BOMBA1, HIGH);
digitalWrite(BOMBA2, HIGH);
digitalWrite (niq, HIGH);
// put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // dht22
  Hdht22 = dht.readHumidity();
  // if (isnan(Hdht22)){
  //   Hdht22 = Tpt100 * 4.5;
  // }

  Tdht22 = dht.readTemperature();
  // if (isnan(Tdht22)) {
  //   Tdht22 = Tpt100 + 3.0;
  // }
  // MAX31865 y PT100
  Tpt100 = pt100.temperature(RNOMINAL, RREF);
  // LM35
  float Y = analogRead(sensorPin);
  float mv = (Y * 5000.0) / 1023.0;
  float temp = mv / 10.0 ;
  S = (alpha * temp) + ((1 - alpha) * S);
  float T = S;
  if (T >= Tpt100) {
    T = Tpt100;
  }
  if (T >= 23) {
    T = T - 10;
  }
  unsigned long tiempoactual = micros();
  if (tiempoactual - tiempoanterior >= customDelayMapped ) {
    tiempoanterior = tiempoactual;
    P = (bmp.readPressure()) / 6894.757;
  }
  Serial.println("DHT22: ");
  Serial.print ("Humedad: ");
  Serial.println (Hdht22);
  Serial.print ("Temperatura: ");
  Serial.println (Tdht22);
}

```

```
Serial.print("PT100: ");  
Serial.println (Tpt100);  
Serial.print("LM35: ");  
Serial.println (S);  
Serial.println (temp);  
Serial.print ("presion: ");  
Serial.println (P);  
delay (500);  
}
```

Biodigestor de residuos domiciliarios

Manual de funcionamiento, prácticas y
mantenimiento

Ibarra - Ecuador
2019

Introducción

Este manual contiene instrucciones de funcionamiento y mantenimiento del módulo biodigestor de residuos domiciliarios, este documento debe ser estudiado antes de iniciar la operación de este para que su uso sea de fácil entendimiento. Tomando en cuenta las advertencias y procedimientos necesarios para darle un correcto uso al mismo. Se establece una práctica de funcionamiento la cual consta de probar la comunicación entre Arduino eh Intouch con el fin de probar el funcionamiento del proceso de circulación de lixiviado, los sensores de temperatura, agitación y el control de pH.

Seguridad

La sección de seguridad indica las precauciones de seguridad básicas que deben ser consideradas en su operación ya que antes de su uso se deben considerar situaciones de riesgo para cada uno de los equipos ya que antes de operar los equipos deben ser inspeccionados de forma muy minuciosa para reconocer posibles fallas y así realizar el adecuado mantenimiento preventivo o correctivo.

Funcionamiento

Se describen las técnicas adecuadas de operación las cuales son procedimientos básicos, que ayudan a desarrollar la destreza y la técnica necesaria para operar el módulo de forma eficaz y evitando fallas entre los dispositivos previniendo gastos innecesarios. Las destrezas necesarias se irán adquiriendo en la práctica y teniendo como base los conocimientos básicos en base a programación, electrónica, control y electricidad que son necesarios para ejecutar el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos.

Mantenimiento

En esta sección se describe una guía para el cuidado de cada uno de los elementos instalados en el módulo estableciendo intervalos de mantenimiento los cuales se establecen en el programa de mantenimiento considerando las condiciones de operación de los equipos, así como también, se describe el mantenimiento preventivo que debe realizarse en condiciones de operación normales con el fin de prevenir fallas al momento de efectuar el proceso de operación.

Sección de seguridad

Conexión de los equipos.

Antes de iniciar la comunicación entre el módulo de control y el sistema Scada se debe tomar en cuenta que cada una de las conexiones están en correcto funcionamiento, así como también, se debe revisar que los sensores instalados están realizando las lecturas correctas ya que al momento de realizar la comunicación si uno de los sensores se encuentra fallando la comunicación serial se vuelve inestable eh incluso realizan lecturas incorrectas que repercuten en todo el proceso.

Además de conocer la forma correcta de conexión entre el módulo de control y sus elementos también se debe conocer los pines analógicos y digitales que se usan para conectar los sensores la tabla 19 nos muestra un detalle breve de los pines usados.

Tabla 19 Asignación de pines.

Sensor	Pin		Alimentación
LM35	A0		5V
DHT22	7		5V
PT100 Acondicionador (MAX31865)	CS	10	3.3V
	DI	11	
	DO	12	
	CLK	13	
RTC DS3231	SDA	A4	5V
	SCL	A5	
BMP 180	SDA	A4	3.3V
	SCL	A5	
HC-SR04	Trig	9	5V
	Echo	8	
PH	A1		5V

Relés 5VDC	Vaciado	6	5V
	Niquelina	5	
	Llenado	4	
	Agitador	3	
	PH	2	

Fuente: Autor

Sección de funcionamiento

Comunicación

La comunicación se la realiza usando un servidor OPC el cual lleva el nombre de ArduinoOPCServer este servidor ayudara a crear las variables ya sean de lectura o escritura que Arduino crea para comunicarse con el sistema Scada.

Precauciones

Antes de conectar el sistema Scada con el servidor se debe comprobar que la comunicación es estable es decir como ya se explicó que para mantener una comunicación estable todas las variables deben estar funcionando correctamente y enviando datos coherentes se puede usar servidores OPC externos antes de comunicarse con el sistema Scada.

Practica de prueba de funcionamiento

- a. Cargar el programa de pruebas de funcionamiento para los sensores descrito a continuación.

```
// SENSORES PRUEBA
#include <Adafruit_MAX31865.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

Adafruit_MAX31865 pt100 = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13);

#define DHT_22 7
#define RREF 430.0
#define RNOMINAL 100.0
#define dhtmodelo DHT22
```

```

DHT dht (DHT_22, dhtmodelo);

const int sensorPin = A0;

int Motor = 3;

int niq = 5;

int BOMBA1 = 6;

int BOMBA2 = 4;

float TLM35 = 0.0;

float Tdht22 = 0.0;

float Hdht22 = 0.0;

float Tpt100 = 0.0;

float alpha = 0.01;

float S = 0.0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(Motor, OUTPUT);

  pinMode(BOMBA1, OUTPUT);

  pinMode(BOMBA2, OUTPUT);

  pinMode(niq, OUTPUT);

  dht.begin();

  //////////////////////////////////////

  pt100.begin(MAX31865_2WIRE);

  digitalWrite(Motor, HIGH);

  digitalWrite(BOMBA1, HIGH);

  digitalWrite(BOMBA2, HIGH );

  digitalWrite (niq, HIGH);
}

void loop() {

  // dht22

  Hdht22 = dht.readHumidity();

  Tdht22 = dht.readTemperature();

  // MAX31865 y PT100

  Tpt100 = pt100.temperature(RNOMINAL, RREF);

```

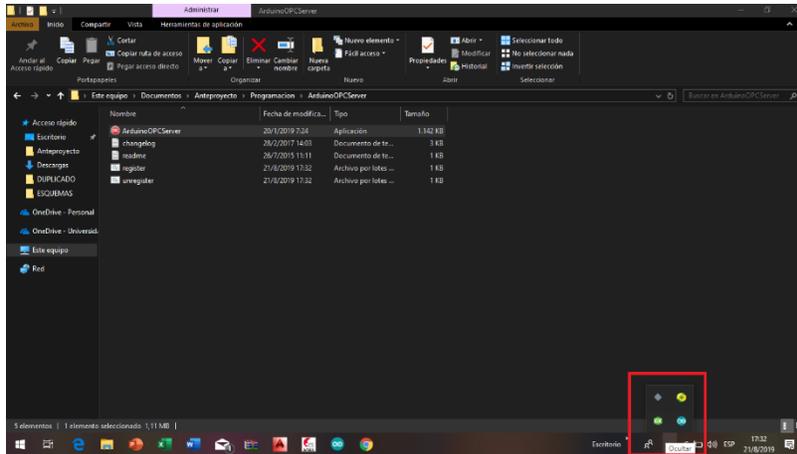
```

// LM35
float Y = analogRead(sensorPin);
float mv = (Y * 5000.0) / 1023.0;
float temp = mv / 10.0 ;
S = (alpha * temp) + ((1 - alpha) * S);
float T = S;
Serial.println("DHT22: ");
Serial.print ("Humedad: ");
Serial.println (Hdht22);
Serial.print ("Temperatura: ");
Serial.println (Tdht22);
Serial.print("PT100: ");
Serial.println (Tpt100);
Serial.print("LM35: ");
Serial.println (S);
Serial.println (temp);
delay (500);
}

```

- b. Después de probar el funcionamiento adecuado de cada uno de los sensores instalados en el modulo cargar el programa de comunicación serial OPC_TEMPERATURA.
- c. Habilitar el puerto COM al que se encuentra conectado el modulo mediante el software ArduinoOPCServer.
Ejecutar la aplicación ArduinoOPCServer dándole doble clic seguido aparecerá en la barra de tareas un icono con el logo de Arduino.

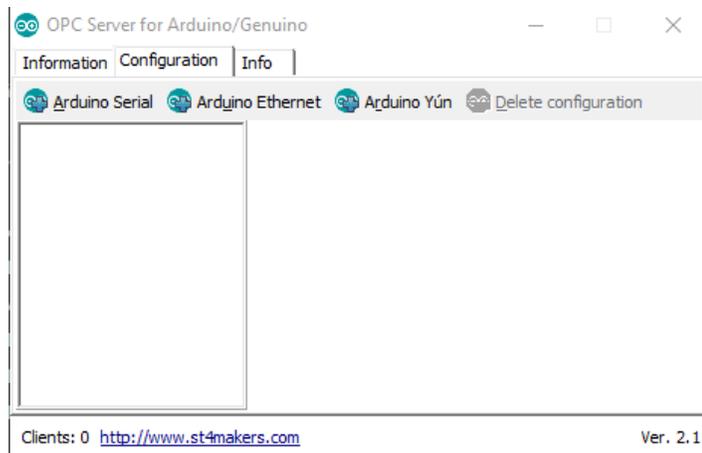
Figura 45 Configuración puerto serial



Fuente: Autor

La fig. 45 muestra el icono para configurar el puerto serial al que se va a conectar y obtener las variables de comunicación se dará doble clic en el icono que se encuentra en la barra de tareas y dar clic en la pestaña “Configuration” ahí se debe configurar el servidor dando clic en Arduino Serial y seleccionamos el puerto COM conectado a la placa de control como se muestra en la fig. 46.

Figura 46 Ventana de configuración puerto COM

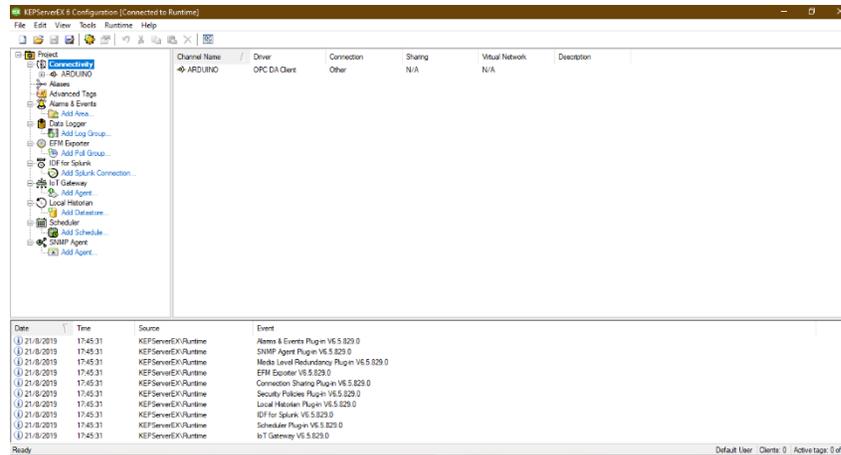


Fuente: Autor

Seguidamente después de haber guardado la configuración del servidor OPC se debe registrar el servidor dentro de la misma carpeta encontraremos un archivo denominado register que se debe ejecutar como administrador sino se realiza este registro el servidor para la prueba no reconocerá el servidor de Arduino.

Para la prueba se usará el software “KEPserverEX 6.5” ejecutar la configuración del servidor la fig. 47 muestra la ventana de inicio del servidor KEPServer.

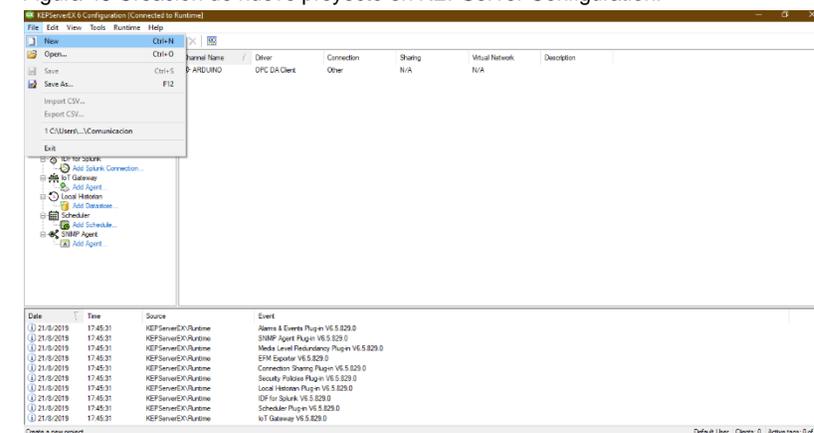
Figura 47 Ventana de configuración KEPServer



Fuente: Autor

Se debe crear un nuevo proyecto como se muestra en la fig. 48.

Figura 48 Creación de nuevo proyecto en KEPServer Configuration.



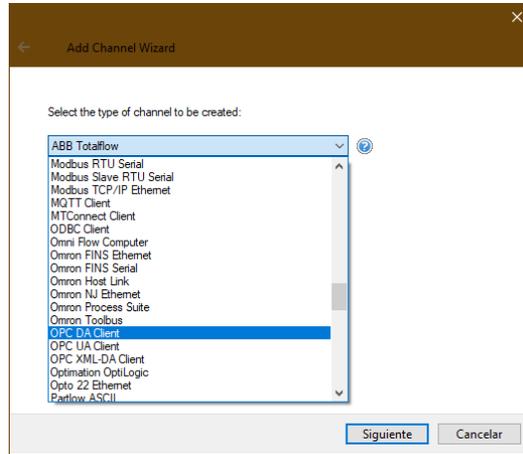
Fuente: Autor

Al crear un nuevo proyecto nos aparecerá un cuadro de dialogo el cual nos preguntará si deseamos crear y actualizar el nuevo proyecto en caso de haber creado un proyecto anteriormente se debe aceptar y el proceso continuar con el proceso.

Creamos un nuevo canal dando clic en “Clic to add channel” o también dando clic derecho en Connectivity > New Channel nos mostrará la ventana en la cual nos pedirá

seleccionar el tipo de canal que se va a crear en nuestro caso se debe seleccionar OPC DA Client como se muestra en la fig. 49.

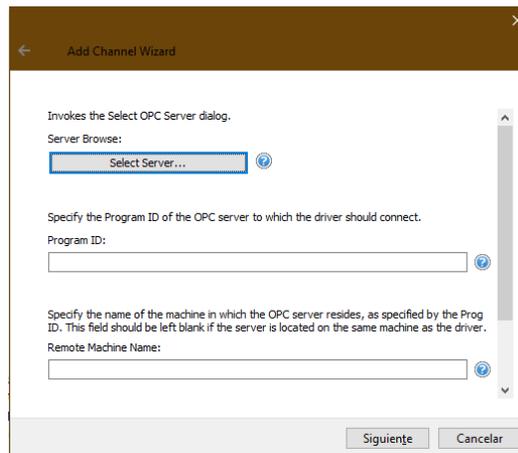
Figura 49 Tipo de canal para comunicación entre Arduino y KEPServer



Fuente: Autor

Se usará la configuración típica sugerida por el servidor por lo tanto se presionará siguiente en todas las ventanas que se mostraran después de seleccionar el tipo de canal hasta llegar a la ventana para seleccionar el servidor en esta parte se debe dar clic en "Select Server" como se muestra en la fig. 50.

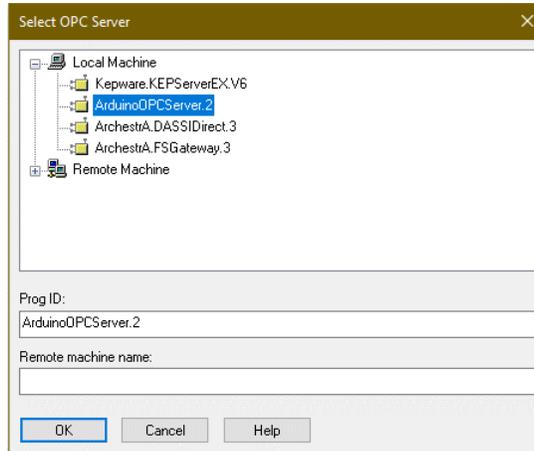
Figura 50 Ventana de selección de servidor OPC



Fuente: Autor

Para seleccionar el servidor después de dar clic en Select Server se buscará el servidor en Local Machine y seleccionar el servidor de Arduino en la ventana mostrada en la fig. 51.

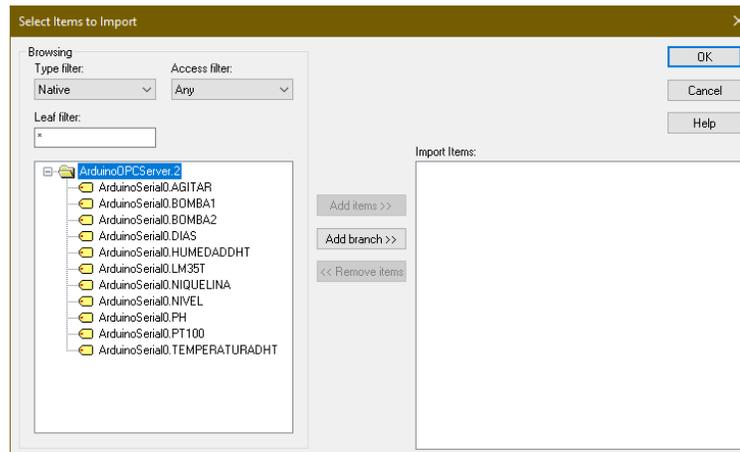
Figura 51 Servidores OPC disponibles



Fuente: Autor

Ya reconocido el servidor se creará el canal el cual será usado para comunicar nuestro Arduino ahora solo queda crear el dispositivo y las variables que se van a controlar, se debe dar clic en “Clic to add a device” asignamos un nombre específico al dispositivo y seleccionamos las variables a controlar en el botón Select ítems to import como se muestra en la fig. 52.

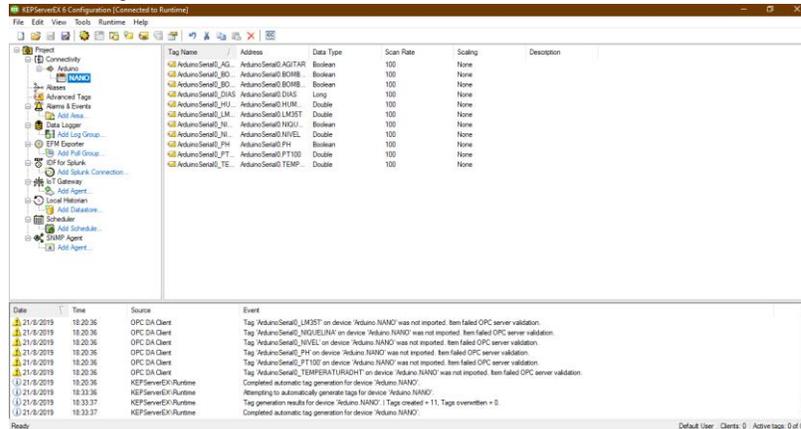
Figura 52 Ventana de selección de variables del servidor.



Fuente: Autor

En este punto ya las variables se encuentran definidas en el servidor como se muestra en la fig. 53 y ya como último paso queda comprobar su conexión y funcionamiento esto se realiza ejecutando la ventana OPC Quick Client

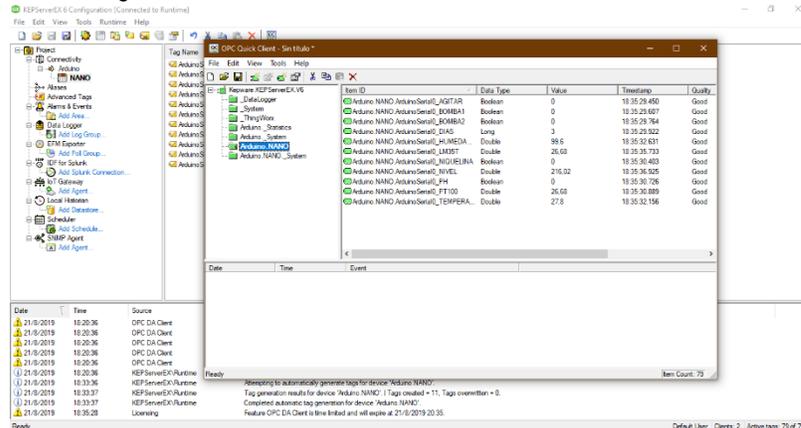
Figura 53 Variables definidas en el servidor.



Fuente: Autor

En la fig.54 se muestra que todos los sensores se encuentran en estado activo y están enviando datos así se asegura una comunicación estable así la conexión esta lista para ser conectada al sistema Scada sin ningún inconveniente.

Figura 54 Conexión estable con todas las variables.



Fuente: Autor

Advertencia: Trate de no desconectar repentinamente el módulo del puerto COM ya que si se desconecta de esta forma el puerto sufrirá un atascamiento de comunicación y será imposible reconectar el puerto al servidor y tampoco se podrá cargar más programas en estos casos se deberá reiniciar el computador o finalizar las tareas del servidor desde el

administrador de tareas como son el Runtime Service, Server-Event Log Service y ArduinoOPCServer.

Para poder usar con normalidad la placa de control hay que verificar que el puerto COM se encuentre disponible en el caso de estar conectado al modo de pruebas se debe cerrar el OPC Quick Client.

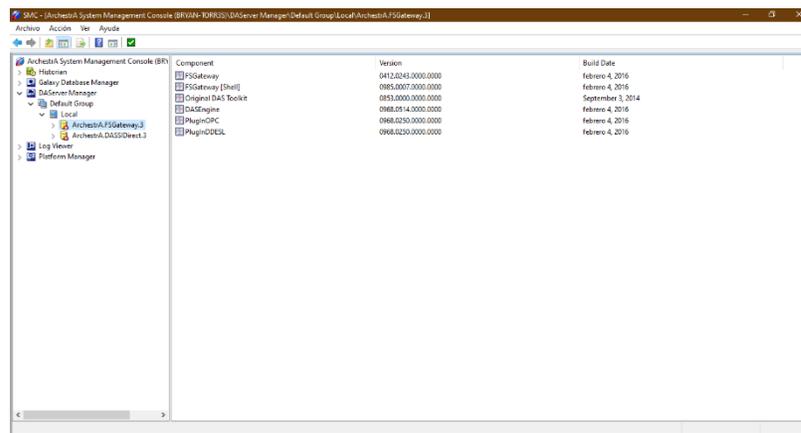
Practica de comunicación con INTOUCH

La comunicación con Intouch se la realizará mediante la aplicación integrada de Wonderware denominada System Management Console en la fig. 55 se muestra la ventana principal de la aplicación que se encargará de comunicar el servidor OPC de Arduino con Intouch el procedimiento que se debe realizar es parecido al explicado en KEPServer se decidió usar esta aplicación como interfaz de comunicación por el límite de tiempo que presenta KEPServer que al ser una versión Demo tiene un límite de tiempo.

Los pasos para realizar la comunicación se explicarán brevemente.

La comunicación debe configurarse escogiendo el nodo de comunicación DASServer Manager en este nodo estableceremos los parámetros de comunicación seleccionamos el nodo damos clic y aparecerá una subcarpeta del nodo denominada Default Group > Local > ArchestrA.FSGateway.3

Figura 55 Ventana principal System Management Console

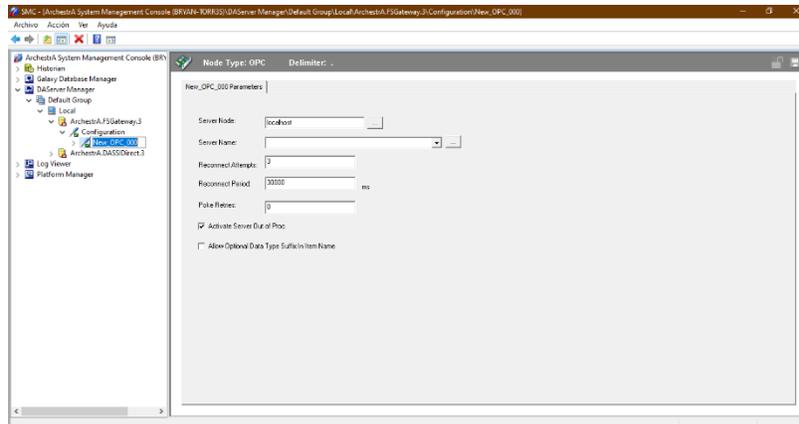


Fuente: Autor

Configurar el servidor OPC que se desea comunicar desde este nodo para configurar un nodo con el servidor de ArduinoOPCServer damos clic derecho en la subcarpeta

“Configuration” y seleccionamos Add OPC Object nos creara una subcarpeta que nos mostrara las opciones de configuración para el servidor a la cual nos deseamos conectar. La fig. 56 muestra este paso.

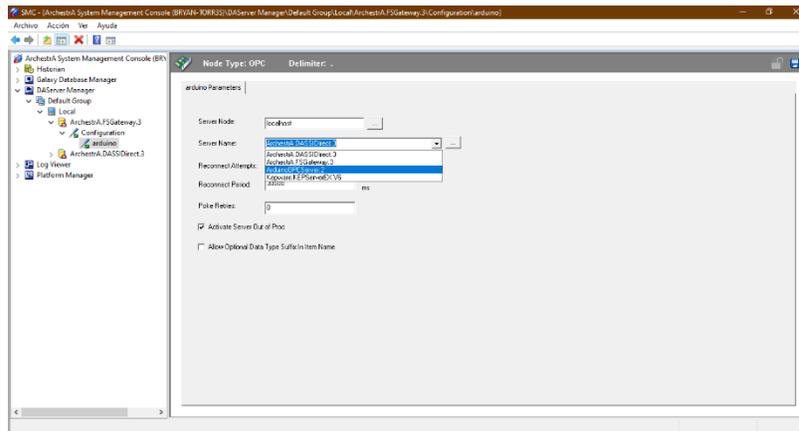
Figura 56 Ventana de configuración de un nuevo objeto OPC



Fuente: Autor

Se debe asignar un nombre aleatorio y buscaremos el servidor OPC al cual deseamos conectarnos dando clic en el apartado de Server Name igual que cuando en KEPServer se realizaba la búsqueda del servidor también aquí debemos seleccionar el servidor como se muestra en la fig. 57.

Figura 57 Selección servidor OPC

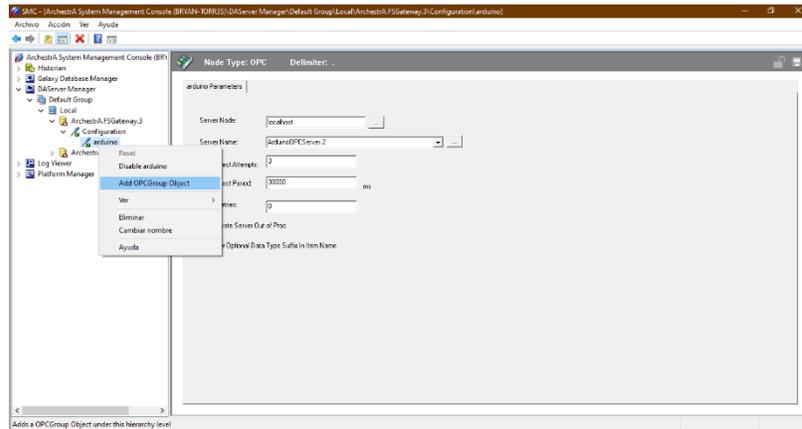


Fuente: Autor

En cada paso se debe guardar la configuración dándole un clic en el icono en forma de disco ubicado en la parte superior derecha de la ventana principal.

En el siguiente paso como se muestra en la fig. 58 después de haber guardado la configuración hasta este punto crear un grupo de objetos OPC dando clic derecho en la carpeta creada donde anteriormente hemos seleccionado el servidor OPC dándole clic derecho seleccionamos Add OPC Group Object.

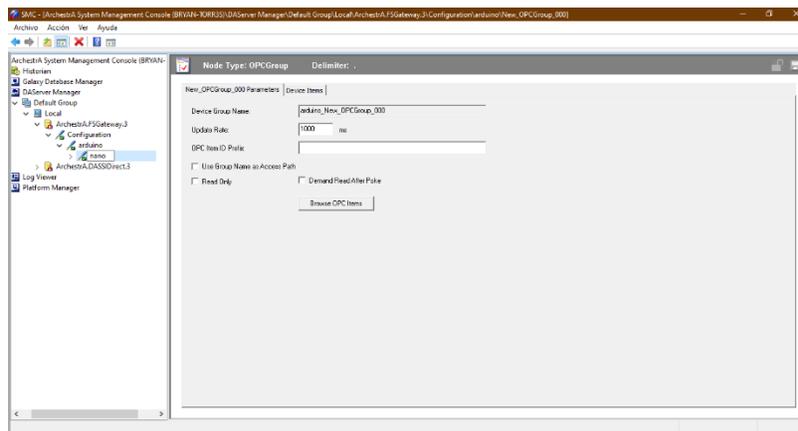
Figura 58 Creación grupo de objetos OPC



Fuente: Autor

De igual manera que en el anterior paso asignar un nombre o dejar el nombre por defecto del objeto OPC creado para poder crear la ventana de la fig. 59.

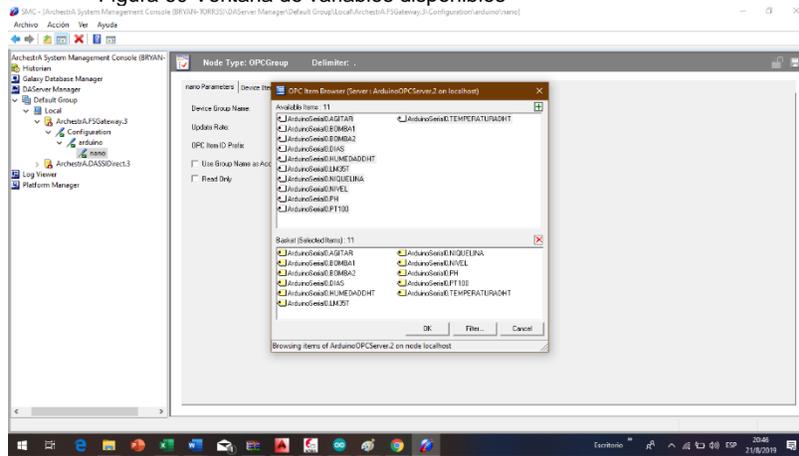
Figura 59 Ventana de grupo de objetos OPC



Fuente: Autor

Dar clic en el botón de la ventana creada denominado Browse OPC Items donde nos desplegara la ventana de la fig. 60 donde nos mostrara las variables disponibles para efectuar la comunicación entre Arduino eh Intouch.

Figura 60 Ventana de variables disponibles

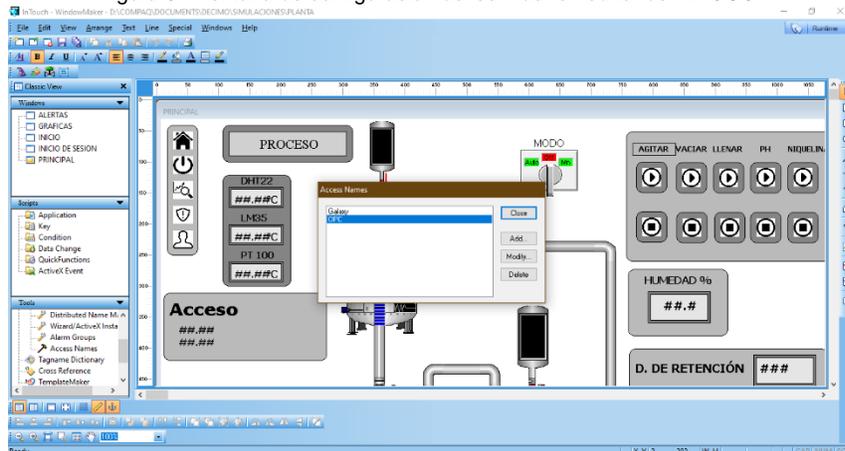


Fuente: Autor

Con estas variables ya definidas en el servidor ya solo necesitamos asignar los nombres de las variables en Intouch y probar el funcionamiento en el sistema Scada.

El último paso para comunicar Intouch y Arduino es configurar el servidor OPC dentro de la ventana de edición de Intouch para esto necesitamos abrir la aplicación denominada Planta al abrir el editor de Intouch debemos ir al apartado inferior izquierdo Tools seleccionamos Configure y al desplegar el menú debemos buscar la opción Access Names esta opción nos mostrara la ventana de selección del servidor OPC o bien podemos crear un nuevo servidor pero para facilitar las actividades de comunicación se usara el servidor que se encuentra configurado por defecto.

Figura 61 Ventana de configuración del servidor en editor de INTOUCH

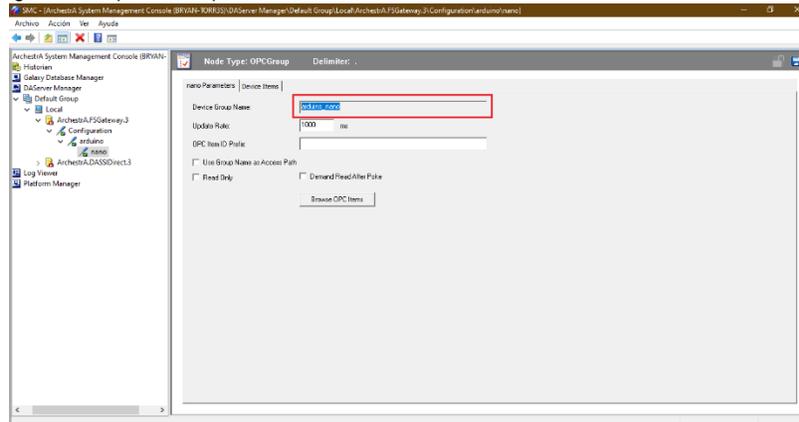


Fuente: Autor

En la ventana mostrada en la figura 61 solo se debe editar el Topic Name el cual se obtendrá de la configuración realizada en DASServer.

En nuestro caso el Topic Name es “arduino_nano” como se muestra en la figura 62 este nombre puede ser editado a conveniencia del usuario.

Figura 62 Topic Name para comunicación entre Arduino eh Intouch



Fuente: Autor

Una vez asignadas las variables en el sistema Scada solo queda activar el servidores dando clic derecho en ArchestrA.FSGateway.3 y damos clic en Activate Server.

Sección de mantenimiento

En esta sección se explica recomendaciones básicas relacionadas con la limpieza del tanque, la verificación correcta de cada uno de los motores y sensores instalados.

Limpieza

El tanque antes de ser usado debe ser sometido a un proceso de limpieza esto se lo hace extrayendo la tapa inferior del tanque y realizando una limpieza de su interior.

También se deben limpiar las mangueras y electroválvulas de este esto se lo hace desarmando cada una de sus piezas todo este proceso debe ser realizado con todos los instrumentos desconectados del módulo de control evitando cortocircuitos o descargas eléctricas.

Conexión

La conexión de los instrumentos debe ser verificada antes de iniciar su uso se debe verificar el nivel de tensión en cada uno de los terminales como son los motores en DC

como los instrumentos de AC en la tabla 20 se describen los niveles de voltaje para que cada uno de los instrumentos deben trabajar en condiciones normales de funcionamiento.

Tabla 20 Nivel de voltaje en cada uno de los instrumentos

Elemento	Nivel de voltaje
Bomba de vaciado	12DC
Electroválvula tapa inferior	120AC
Bomba de llenado	12DC
Electroválvula tapa superior	12DC
Motor Nema	12DC
Electroválvula control PH	120AC
Niquelina	120AC

Fuente: Autor

Instalación

Para instalar el módulo se debe seguir algunos pasos que se describirán a continuación:

- a. Instalar las válvulas y revisar fugas a la entrada y salida de estas.
Se puede verificar llenando el tanque con agua y verificar que no todo el sistema se encuentre sellado.
- b. Evitar en lo posible que exista aire en las mangueras.
Si existe aire en las mangueras las bombas se forzarán y no es recomendable dejar que la temperatura de las bombas se eleve en exceso.
- c. Instalar el contenedor de almacenamiento de lixiviado externo con el motor NEMA17 que servirá de agitador de lixiviado y para controlar el pH del lixiviado en los casos que así sean necesarios.
- d. El control se lo puede realizar de forma automática mediante la programación explicada a continuación de esta forma no es necesario que el modulo de control

se encuentre conectado al puerto COM solo debe ser alimentado desde la fuente de alimentación de 12 voltios ubicado en el tablero de control.

```
//MODO AUTOMATICO
```

```
#include <Adafruit_MAX31865.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
RTC_DS3231 rtc;
Adafruit_MAX31865 max = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13);
// Configuramos los pines del sensor Trigger y Echo
#define Ri 11.14
#define Rs 12.18
#define H 29
#define RREF 430.0
#define RNOMINAL 100.0
const int PinTrig = 9;
const int PinEcho = 8;
// Constante velocidad sonido en cm/s
const float VelSon = 34000.0;
// Número de muestras
const int numLecturas = 50;
// Distancia a los 1000 ml y vacío
const float distanciaVacio = 26;
float lecturas[numLecturas]; // Array para almacenar lecturas
int lecturaActual = 0; // Lectura por la que vamos
float total = 0; // Total de las que llevamos
float media = 0; // Media de las medidas
bool primeraMedia = false; // Para saber que ya hemos calculado por lo menos una
float al = (((Rs - Ri) / (H * Ri)) * ((Rs - Ri) / (H * Ri)));
int BOMBA1 = 6;
int NIQUELINA = 5;
int BOMBA2 = 4;
int AGITADOR = 3;
float setbajo = 1000;
float setalto = 7500;
String estado = "Espere";
void setup() {
  // Iniciamos el monitor serie para mostrar el resultado
  //Serial.begin(9600);
  // Ponemos el pin Trig en modo salida
```

```

pinMode(PinTrig, OUTPUT);
// Ponemos el pin Echo en modo entrada
pinMode(PinEcho, INPUT);
max.begin(MAX31865_3WIRE);
// Inicializamos el array
for (int i = 0; i < numLecturas; i++)
{
    lecturas[i] = 0;
}
rtc.begin();
pinMode(BOMBA1, OUTPUT);
pinMode(BOMBA2, OUTPUT);
pinMode(NIQUELINA, OUTPUT);
pinMode(AGITADOR, OUTPUT);

digitalWrite(BOMBA1, HIGH);
digitalWrite(BOMBA2, HIGH);
digitalWrite(NIQUELINA, HIGH);
digitalWrite(AGITADOR, HIGH);
}
void loop() {
    DateTime Cron = rtc.now();
    int minutos = Cron.minute();
    float temperatura = max.temperature(RNOMINAL, RREF);
    // Eliminamos la última medida
    total = total - lecturas[lecturaActual];
    iniciarTrigger();
    // La función pulseIn obtiene el tiempo que tarda en cambiar entre estados, en este caso a HIGH
    unsigned long tiempo = pulseIn(PinEcho, HIGH);
    // Obtenemos la distancia en cm, hay que convertir el tiempo en segundos ya que está en
microsegundos
    // por eso se multiplica por 0.000001
    float distancia = tiempo * 0.000001 * VelSon / 2.0;

    // Almacenamos la distancia en el array
    lecturas[lecturaActual] = distancia;
    // Añadimos la lectura al total
    total = total + lecturas[lecturaActual];
    // Avanzamos a la siguiente posición del array
    lecturaActual = lecturaActual + 1;
}

```

```

// Comprobamos si hemos llegado al final del array
if (lecturaActual >= numLecturas)
{
    primeraMedia = true;
    lecturaActual = 0;
}
// Calculamos la media
media = total / numLecturas;
// Solo mostramos si hemos calculado por lo menos una media
if (primeraMedia)
{
    float distanciaLleno = distanciaVacio - media;
    float cantidadLiquido = ((PI) * (Ri * Ri) * (distanciaLleno) * (1 + al + (1 / 3) * (al * al) *
(distanciaLleno * distanciaLleno))) + 500.0;
    float Ccm = distanciaLleno;
    float Cml = cantidadLiquido;

    // BOMBA 1
    if (minutos >= 1 && minutos <= 5 && cantidadLiquido <= setalto || minutos >= 21 && minutos <=
25 && cantidadLiquido <= setalto || minutos >= 41 && minutos <= 45 && cantidadLiquido <=
setalto) {
        digitalWrite(BOMBA1, LOW);
        //estado = "encendido Bomba 1";
    }
    else {
        digitalWrite(BOMBA1, HIGH);
    }
    // AGITADOR
    if (minutos >= 6 && minutos <= 7 || minutos >= 26 && minutos <= 27 || minutos >= 46 && minutos
<= 47) {
        digitalWrite(AGITADOR, LOW);
        //estado = "encendido AGITADOR";
    }
    else {
        digitalWrite(AGITADOR, HIGH);
    }

    // BOMBA 2
    if (minutos >= 8 && minutos <= 12 && cantidadLiquido >= setbajo || minutos >= 28 && minutos
<= 32 && cantidadLiquido >= setbajo || minutos >= 48 && minutos <= 52 && cantidadLiquido >=
setbajo) {

```

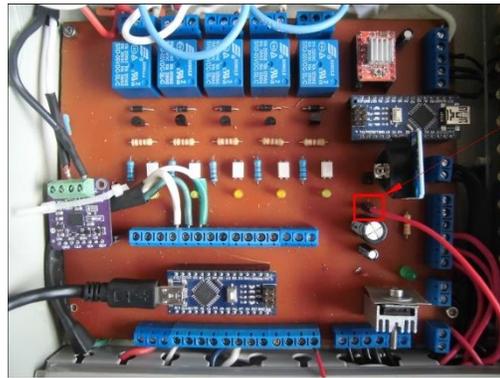
```

    digitalWrite(BOMBA2, LOW);
    //estado = "encendido Bomba 2";
}
else {
    digitalWrite(BOMBA2, HIGH);
}
// NIQUELINA
if (minutos >= 13 && minutos <= 20 && temperatura <= 35 && cantidadLiquido <= setbajo ||
minutos >= 33 && minutos <= 40 && temperatura <= 35 && cantidadLiquido <= setbajo || minutos
>= 53 && minutos <= 60 && temperatura <= 35 && cantidadLiquido <= setbajo) {
    digitalWrite(NIQUELINA, LOW);
    //estado = "encendido NIQUELINA";
}
else {
    digitalWrite(NIQUELINA, HIGH);
}
}
}
void iniciarTrigger()
{
    // Ponemos el Triiger en estado bajo y esperamos 2 ms
    digitalWrite(PinTrig, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    // Ponemos el pin Trigger a estado alto y esperamos 10 ms
    digitalWrite(PinTrig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    // Comenzamos poniendo el pin Trigger en estado bajo
    digitalWrite(PinTrig, LOW);
}

```

Se debe cargar el programa y conectar la alimentación externa a la placa de control esto se realiza conectando el conector de VIN al circuito conversor de 12 DC a 5DC integrado en la placa de control mediante un cable jumper como se muestra en la fig. 63.

Figura 63 Conexión alimentación externa



Conectar VIN



Convertidor 12 DC - 5 DC

Fuente: Autor

Anexo F Dimensiones geométricas tanque digestor construido.

Anexo G Diseño 3D tanque digestor.

Anexo H Conexión tablero de control.