ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE BIOGÁS DEL JARDIN BOTÁNICO DE QUITO

PROYECTO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

DARIO WLADIMIR CHAGUARO JARRÍN

dwchj5@hotmail.com

WASHINGTON JAVIER LÓPEZ HIDALGO

washo_akd@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JORGE MOLINA

jorge.molina@epn.edu.ec

QUITO, AGOSTO 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Dario Wladimir Chaguaro Jarrín y Washington Javier López Hidalgo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Dario Wladimir Chaguaro Jarrín	Washington Javier López Hidalgo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Dario Wladimir Chaguaro Jarrín y Washington Javier López Hidalgo, bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Molina

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Dario

AGRADECIMIENTO

Washington

DEDICATORIA

Dario

DEDICATORIA

Washington

CONTENIDO

RESUMEN

PRESENTACIÓN

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS BÁSICOS……..……..……..……1

1.1 INTRODUCCIÓN……..……1

1.2 BIOCOMBUSTIBLE……2

1.2.1 BIOMASA……..……..……..……..2

1.3 BIOGÁS……3

1.3.1 EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA……...3

1.3.2 PROBLEMÁTICA DE RESIDUOS……..……..….4

1.3.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS……4

1.3.4 PRICIPALES USOS DEL BIOGÁS……6

1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL JARDÍN BOTÁNICO DE QUITO……..……..……..…8

1.4.1 RECOLECCION DE MATERIA PRIMA……..…..8

1.4.2 PRETATAMIENTO……..9

1.4.3 BIODIGESTIÓN……..……..10

1.4.4 EXTRACCIÓN DE PRODUCTOS……11
1.4.5 APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS……..…12
1.5 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PLANTA DE BIOGÁS……..…12
1.5.1 PICADORA…… …....12
1.5.2 PANELES SOLARES TÉRMICOS……..……13
1.5.3 TANQUE TERMOSOLAR……..…13
1.5.4 TANQUE DE MEZCLADO Y ACCESORIOS……..…14
1.5.5 BOMBA DE SÓLIDOS……14
1.5.6 TANQUE BIODIGESTOR……...15
1.5.6.1 Material…….……1 5
1.5.6.2 Sistema de agitación……15
1.5.6.3 Sistema de calentamiento……...16
1.5.6.4 Accesorios……..…1 6
1.5.6.5 Válvulas de seguridad y sensores……....16
1.5.6.6 Características técnicas del biodigestor…….……17
1.5.7 BOMBA DE CIRCULACIÓN……..……18

1.5.8 FILTROS DE BIOGÁS……..19
1.5.9 BOLSAS DE BIOGÁS……20
1.5.10 PLANTA ELÉCTRICA……21
1.5.11 *COCINETA DE 2 HORNILLAS*……21

CAPITULO 2. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL…….....23

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO……23
2.2 CIRCUITO ELÉCTRICO PRINCIPAL……24
2.2.1 CARGA INSTALADA……26
2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES……...26
2.2.3 DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES……...27
2.2.4 TAMAÑO DE LOS CONTACTORES……...28
2.2.5 *PUESTA A TIERRA*……28
2.3 ESTRUCTURA DEL SISTEMA……28
2.4 SENSORES DE TEMPERATURA……....29
2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE UN PT100……...30

2.4.2 *UBICACIÓN DE LOS SENSORES*……..……32
2.5 ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA……33
2.6 SENSOR DE PRESIÓN……..……37
2.7 MICROCONTROLADOR ATMEGA 164P……..……..……38
2.8 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)……..……40
2.9 COMUNICACIÓN MICROCONTROLADOR-HMI……..……42
2.10 TRANSFERENCIA DE DATOS PLC-MICROCONTROLADOR……..…43
2.11 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO……..44
2.11.1 PLACA MICROCONTROLADOR……..……45
2.11.2 PLACA ACONDICIONAMIENTO PT100……..……46
2.11.3 *PLACA RELÉ DE PULSOS*……..49
2.12 PANEL DE CONTROL……50

CAPITULO 3. DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA…….……52

3.1 PROGRAMACION DEL MICROCONTORLADOR…….....52
3.1.1 BASCOM AVR……..…53
3.1.2 PROGISP……5
3

3.1.3 DIAGRAMAS DE FLUJO……54
3.2 PROGRAMACION DEL PLC ZELIO……..……..…63
3.2.1 ZELIO SOFT…….63
3.2.2 DIAGRAMAS DE FLUJO……..64
3.3 LA INTERFACE MÁQUINA-HOMBRE (HMI)……71
3.3.1 LABVIEW……72
3.3.2 FUNCIONAMIENTO……73
3.4 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA……..……76
3.5 PROTEUS……...77

CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS……...……79

4.1 PRUEBA DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA……79
4.2 PRUEBA Y CALIBRACION DE LOS CIRCUITOS DE ACONDICIONAMIENTO……..……82
4.3 PRUEBAS EN EL PLC……..……..88
4.4 PRUEBAS DEL MICROCONTROLADOR, HMI Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA……...89
4.5 PRUEBA GENERAL DE TODO EL SISTEMA INTEGRADO……90
4.6 VALORES REALES DE PRODUCCIÓN……...91

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……93

5.1 CONCLUSIONES……..93
5.2 RECOMENDACIONES……..….94

REFERENCIA BILBIOGRÁFICA……..……..…96

ANEXOS

PRESENTACIÓN

Energía renovable o alternativa es aquella que puede reemplazar a las fuentes de energías consideradas “no limpias”, por su menor efecto contaminante y por la posibilidad de renovación.

Sin lugar a dudas, las energías renovables constituirían la mayor parte de la energía del futuro en el planeta y en nuestro país existen condiciones naturales propicias para el aprovechamiento de algunas de esas fuentes, que pueden dar su contribución no solo a la solución parcial de la demanda energética sino a la protección del medio ambiente.

Paralelamente con la investigación de las plantas de biogás, se están desarrollando sistemas de control automático complementados con sistemas de comunicación y herramientas de visualización, que permiten garantizar las mejores condiciones de operación del proceso y una producción continua.

El fin de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de control y automatización para la planta de biogás del Jardín Botánico de Quito, que tenga la capacidad de medir, visualizar y almacenar las variables para supervisarlas desde un punto remoto, y compararlas con los valores esperados en el diseño para verificar que se encuentren en rangos permisibles; permitiendo a la vez un

posterior análisis con los datos recopilados y poder mejorar la producción de este tipo de energía alternativa.

Para la producción de biogás de manera continua, se debe garantizar una temperatura adecuada en la mezcla homogénea compuesta con agua y estiércol, que será la que ingresa al biodigestor, el mismo que debe mantener una presión adecuada para la fermentación anaeróbica de la composición. Con la ayuda de bombas y un agitador situado en el interior del digestor, el sistema de control se encargará de mantener las condiciones favorables para la realización de la reacción química.

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la automatización de la planta de biogás del Jardín Botánico de Quito; implementando un sistema nuevo e innovador cuyo objetivo es repotenciar la planta existente y con bajos costos de inversión.

En el Capítulo 1 se hace una breve explicación acerca del biogás y las condiciones favorables para su producción. Además se describe el marco teórico acerca de plantas de biogás y producción del gas metano; y un estudio de las partes constitutivas del sistema a implementar.

En el Capítulo 2, se detalla el diseño e implementación del nuevo hardware que fue instalado en la planta de biogás, que incluye las instalaciones eléctricas, las tarjetas de acondicionamiento de señales de los sensores de temperatura y de presión, y el equipo de control compuesto por un microcontrolador y un PLC.

En el Capítulo 3, se presenta el desarrollo del software, así como los paquetes computacionales utilizados para la solución del problema. Estos programas son los encargados de controlar la planta de biogás tanto de modo local como de modo remoto desde una HMI, mediante comunicación inalámbrica.

En el Capítulo 4, se describe el protocolo de pruebas realizado en el sistema después de su implementación.

En el Capítulo 5, se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas al culminar el presente proyecto.

CAPÍTULO 1
FUNDAMENTOS BÁSICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Los efectos del Calentamiento Global ya están presentes, y el hecho de que las reservas hidrocarburíferas sean cada vez menores en el mundo, constituyen dos motivos para que se potencialice con rapidez la Energía Renovable. Este tipo de energía se obtiene de fuentes naturales teóricamente inagotables.

Las energías renovables han constituido desde hace muchos siglos una parte importante de la energía utilizada por los humanos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. Como ejemplos claros tenemos: la navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la luz del sol.

Existen varios tipos de energías renovables, pero entre los de especial interés están la energía solar y el biocombustible.

La generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, es una forma de energía renovable que puede ser utilizada especialmente en áreas alejadas que no tengan el servicio eléctrico o en aplicaciones de pequeña potencia a partir de un voltaje continuo.

Los Colectores Solares permiten capturar energía térmica solar, para el calentamiento del agua en industrias, hoteles, hospitales y principalmente en residencias.

En la matriz energética se incluyen otras energías renovables como los Biocombustibles. El biodiesel, etanol y combustibles alternativos como el gas natural.

1.2 BIOCOMBUSTIBLE

Se entiende por biocombustible a aquel combustible que se obtiene de biomasa. Son diversas las ventajas de los biocombustibles con respecto a otras energías, como la menor contaminación ambiental, la sustentabilidad de los mismos y las oportunidades para sectores rurales.

Los biocombustibles pueden reemplazar parcialmente a los combustibles actuales provenientes del petróleo muy rápidamente. En comparación con otras energías alternativas, como la proporcionada por el hidrógeno, el reemplazo de los combustibles fósiles por biocombustibles en el sector de transporte carretero puede ser realizado con menores costos, debido a que no requieren grandes cambios en la tecnología actualmente utilizada, ni tampoco en el sistema de distribución.

1.2.1 BIOMASA

Biomasa, según el Diccionario de la Real Academia Española, tiene dos acepciones:

f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

El primer concepto se utiliza en Ecología. El segundo significado, se refiere en términos energéticos al proceso en el cual las plantas transforman la energía solar en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible.

Generalmente, se cofunde los conceptos pero es importante diferenciar el biocombustible y la biomasa como dos materiales totalmente distintos. La biomasa es por su naturaleza un material vegetal orgánico que almacena la energía del sol en forma de energía química. Se expresa en unidades de energía o en peso seco de la materia orgánica no fosilizada.

1.3 BIOGÁS

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos de origen orgánico.

Su composición depende del sustrato con el que se produce y del tipo de tecnología utilizada, pero usualmente se considera una mezcla constituida por metano CH_4 en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono, conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.

El biogás tiene un alto contenido de gas metano y por tanto un poder calorífico algo mayor que la mitad del que tiene el gas natural.

Es decir, salvo por el contenido en H2S, puede considerarse un combustible ideal.

1.3.1 EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico.

Los componentes esenciales de la materia orgánica, (cadenas y átomos de C, H, O y otros componentes), le confieren propiedades energéticas que además de la alimentación, pueden ser transformadas en otras formas de energía. La tecnología de la digestión anaerobia se adapta perfectamente al entorno técnico, socio-cultural, económico, energético y ambiental del Ecuador, por su simplicidad técnica (atendiendo todas las variables pertinentes), menor costo de inversión, operación y mantenimiento, y particularmente por la naturaleza de los productos que entrega: biogás y abonos orgánicos.

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los mejores para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados. [1]

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos

[1] http://www.biodisol.com/biocombustibles/biogas-que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas-energias-renovables-biocombustibles/

productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc.

La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimenticias.

La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas con beneficios sociales, económicos y ambientales.

1.3.2 PROBLEMÁTICA DE RESIDUOS

Los residuos orgánicos se producen indefectiblemente en diversas actividades humanas, tales como agricultura, ganadería, viviendas, transporte, manipulación y comercio de alimentos y agroindustrias. Su volumen, frecuencia y composición está relacionado con los hábitos de alimentación de la población, nivel de vida socio-económico y número de habitantes, como las variables más importantes a este respecto.

Al no utilizar dichos residuos con otra finalidad, o bien reintegrarlos adecuadamente al ciclo natural que ocurre en el medio, se convierten en focos de contaminación ambiental intensiva.

1.3.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La actividad metabólica involucrada en el proceso se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado en que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa. [2]

Entre los factores más importantes tenemos:

- tipo de sustrato (nutrientes disponibles)
- temperatura del sustrato; la carga volumétrica

[2] http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf

- tiempo de retención hidráulico
- nivel de acidez (pH)
- relación Carbono/Nitrógeno
- concentración del sustrato
- grado de mezclado
- presencia de compuestos inhibidores del proceso.
- Tipo de materia prima

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede requerirse la adición de los compuestos antes enumerados o bien un post tratamiento aeróbico

En lo que respecta a estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias; y esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

Como norma se deberá tomar en cuenta que, a raíz de estar trabajando en un medio biológico, sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables, siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor. [3]

A modo ilustrativo se expone en la tabla 1.1, un indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos, tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

[3] http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores

ESPECIE	PESO VIVO (kg)	kg ESTIERCOL/día	%CH4
Cerdos	50	4,5 – 6	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	65
Equinos	450	12 – 16	65
Ovinos	45	2,5	63
Aves	1.5	0,06	60
Caprinos	40	1,5	-

Tabla 1.1 Porcentaje de metano según la especie animal

1.3.4 PRINCIPALES USOS DEL BIOGÁS

El biogás producido por los biodigestores puede ser empleado de varias formas: como combustible en cocinas de uso doméstico, en generación de calor para los procesos industriales y para generación de electricidad. Adicionalmente, de los biodigestores se obtiene como subproducto, fertilizante orgánico rico en nitrógeno, fósforo y potasio, para utilizarse como una mejora importante en el rendimiento de las cosechas.

En tabla 1.2 se listan los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio y su eficiencia.

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300 - 600 l/h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60W)	120 - 170 l/h	30 – 50
Heladera de 100 L	30 - 75 l/h	20 – 30
Motor a gas	0,5 m 3 /kWh	25 – 30
quemador de 10 kW	2 m 3 /h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 – 99
Generador	1 kW elect. 0,5 m3/kWh 2kW térmica	hasta 90

Tabla 1.2 Consumo de biogás de artefactos

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisoria e interesante su utilización a gran escala.

Las lámparas a gas tienen una muy baja eficiencia y el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan.

Las heladeras domésticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día, lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Estos equipos funcionan bajo el principio de la absorción (generalmente de ciclo amoníaco refrigerante - agua absorbente). Recientemente se han desarrollado equipos para el enfriamiento de leche y/u otros productos agrícolas lo que abre un importante campo de aplicación directa y rentable del mismo.

Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia, lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido.

En los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma del la potencia máxima del 20% al 30%.

A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables. [4]

La proporción de H_2S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores, obligando a un cambio más frecuente de los

[4] http://www.slideshare.net/FernanRock/biogas-6391545

aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales el bombeo de agua, el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural. El otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad.

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas como el volumen de gas que debe ser almacenado en alta presión y que debe previamente ser purificado.

1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL JARDÍN BOTÁNICO DE QUITO (JBQ)

La planta de biogás del JBQ está concebida como un prototipo demostrativo-didáctico, en el que se pueden distinguir las diferentes fases que intervienen en el proceso de producción de biogás. Está orientado al público que visita este Jardín, a fin de informarles sobre la importancia que tiene el uso de energías renovables en la conservación del medio ambiente.

El proceso de producción de biogás que se lleva a cabo en la planta del JBQ se describe a continuación:

1.4.1 RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada en el proceso la constituyen los residuos vegetales, residuos alimenticios y excretos de caballos, que generalmente es recogida del parque La Carolina. En la tabla 1.3, se proporciona datos aproximados sobre la cantidad de residuos orgánicos disponibles para el proceso.

TIPO	CANTIDAD
Residuo vegetal fresco (césped, hojas, flores, pétalos, excepto poda de árboles)	50 kg/día
Residuos de cocina	3 kg/día
Excretas frescas de caballo	80 kg/día
TOTAL	**133 kg/día**

Tabla 1.3 Materia prima

1.4.2 PRETRATAMIENTO

En esta fase los desechos vegetales recolectados son picados y mezclados con los desechos animales, en un tanque de mezclado y alimentación donde se homogenizan mecánicamente; se añade agua para lograr una disolución de 10 – 15% en peso de sólidos, con agua lluvia o de recirculación del biodigestor.

Los componentes y elementos auxiliares que se utilizan en esta fase son:

- Picadora eléctrica para material vegetal (picado 5mm de diámetro).
- Tanque mezclador graduado de material plástico con accesorios y acoples para descarga hacia el biodigestor
- Sistema mecánico con protección anticorrosiva de mezclado de material vegetal y animal.
- Bomba de sólidos para evacuar el sustrato homogeneizado desde el tanque de mezclado hacia el biodigestor.

En la figura 1.1 se muestra el diseño del tanque mezclador.

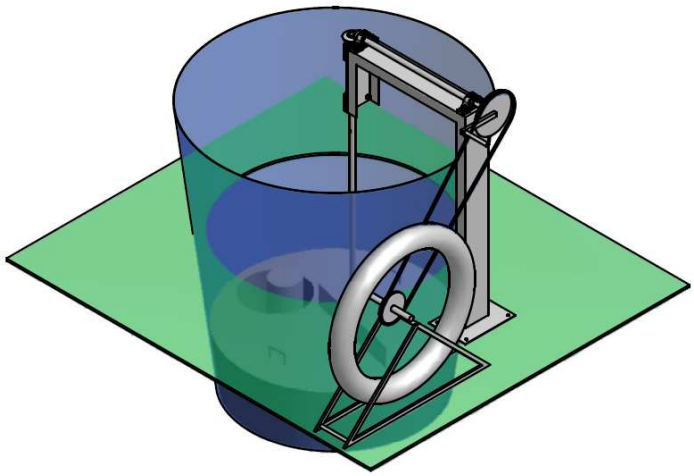


Figura 1.1 Tanque mezclador

1.4.3 BIODIGESTIÓN

Los desechos homogenizados pasan al biodigestor donde se produce la reacción bioquímica mediante la cual, las bacterias anaerobias digieren la materia orgánica presente, y como resultado producen biogás y abonos orgánicos líquidos y sólidos.

Los componentes y sistemas auxiliares que forman parte de esta fase son:

- El biodigestor, que consiste en un tanque de estructura sencilla, metálico de doble pared (cámara de aire para aislamiento térmico) y previsto para instalarse sobre el piso. Es totalmente hermético y oscuro para proporcionar las condiciones anaeróbicas necesarias. Dispone de una entrada para la materia orgánica y salidas para los abonos sólidos, líquidos, biogás y recirculación. El interior del tanque es totalmente impermeabilizado y su exterior está cubierto con pintura anticorrosiva.
- Sistema de agitación con protección anticorrosiva, para propiciar el contacto de las bacterias con la materia orgánica y evitar el encostramiento dentro del biodigestor.
- Sistema de calentamiento del biodigestor, constituido por colectores solares térmicos y un serpentín de agua caliente que se introduce en el biodigestor.
- Instrumentos de medición de presión, temperatura y nivel.

- Sistema automático de alivio de presión de biogás para evitar sobre carga.

Todo el sistema está diseñado de forma modular y flexible lo que permitirá a futuro la conexión de nuevos biodigestores.
En la figura 1.2 se muestra una fotografía del biodigestor en su etapa inicial.

Figura 1.2 Biodigestor

1.4.4 EXTRACCIÓN DE PRODUCTOS

Del tanque biodigestor, cada tres meses aproximadamente se extraerán los lodos orgánicos mediante la purga de fondo, para su acondicionamiento en la cama de compostaje con que cuenta la instalación.
El biogás producido en el reactor anaerobio -otro nombre con el que se conoce al biodigestor-, se evacua por una línea de cobre de ½" de diámetro, a dispositivos de filtrado de H_2S y de vapor de agua, antes de ser almacenado en dos fundas herméticas construidas con geomembranas de PVC. Estas membranas cuentan con una válvula de alivio y purga de líquidos. Otro dispositivo adicional que se dispone, es una tea de encendido automático, para quemar el biogás excedente.
En la figura 1.3 se muestra la válvula de purga del biodigestor de JBQ, para extraer los sólidos que no producen biogás y que son el sobrante de este proceso.

Figura 1.3 Válvula de extracción de sólidos

1.4.5 APROVECHAMIENTO DE PRODUCTOS

Una vez estabilizada la reacción interna, el biogás producido es evacuado continuamente por tubería hacia un dispositivo de tratamiento de biogás, para que posteriormente pueda ser combustionado en una cocineta y en un generador eléctrico.

Los efluentes líquidos y sólidos son extraídos regularmente del biodigestor por sus respectivas salidas y direccionados para su acondicionamiento final y utilización como abono en la misma propiedad. El efluente líquido (biol) se lo almacena temporalmente en tanques. Los lodos orgánicos (biosol) son secados aeróbicamente y mezclados con astillas de madera para producir compost.

1.5 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PLANTA DE BIOGÁS

1.5.1 PICADORA

Se ha seleccionado una picadora eléctrica de residuos (modelo TR-200), de control manual, 1.5 hp de potencia y 120 VAC, adecuada para residuos vegetales. No se admiten ramas o troncos gruesos para el picado, solamente hojas verdes y tallos frescos de máximo 5 mm de grosor.

En la figura 1.4 se muestra la picadora con la que cuenta la planta.

Figura 1.4 Picadora eléctrica

1.5.2 PANELES SOLARES TÉRMICOS

Se instalaron 6 paneles solares térmicos de placa colectora plana de aluminio de 0.4 mm de espesor; las dimensiones de los paneles son de 2,1 de largo x 1 m de ancho, tienen serpentín de 10 tubos de cobre de ½" de diámetro x 2 m de longitud y tubos principales de cobre de 1" de diámetro x 1,10 m de longitud. El aislante es poliuretano semi rígido de 35 mm de espesor, con cubierta superior de papel de aluminio, marco de perfiles y placa de base de aluminio, y vidrio transparente claro de 4 mm de espesor.

1.5.3 TANQUE TERMOSOLAR

Se ha instalado sobre un soporte metálico anclado al piso, un tanque termosolar cilíndrico de 800 litros (220 galones) fabricado con chapa de acero de 3 mm de espesor, galvanizado por inmersión. El aislamiento es de poliuretano rígido de 30 mm de espesor, y placa exterior de acero galvanizado pintado. Las conexiones de entrada y salida de agua son de 1"; dispone de válvula de seguridad en caso de sobrepresión, e indicadores de presión y temperatura.
En la figura 1.5 se muestra el tanque termosolar de la planta.

Figura 1.5 Tanque termosolar

1.5.4 TANQUE DE MEZCLADO Y ACCESORIOS

El tanque de mezclado es de 1000 litros de capacidad y tipo cónico, donde se mezclarán los desechos vegetales picados, con los desechos animales y el agua, según la proporción determinada. La agitación se la realiza mediante unas palas movidas mecánicamente con una transmisión de cadena, engranada a una bicicleta montada separadamente o mediante una polea manual como alternativa. Se adoptó este diseño para incentivar a los visitantes a que participen en el proceso directamente, y a su vez, tomen conciencia de lo que significa transformar energía humana en mecánica.

1.5.5 BOMBA DE SÓLIDOS

En el fondo del tanque de mezclado, se ha instalado una bomba eléctrica sumergible (modelo FORAS DS100) de acero inoxidable, para transferir la mezcla agitada al tanque biodigestor. Esta bomba es de 1 hp de potencia, fácilmente desmontable y dispone de un flotador que evita trabajo en vacío. Se ha acondicionado un sifón con mampostería y cemento en el fondo del tanque cónico, para facilitar al máximo la limpieza y succión de los sólidos. Esta bomba tiene su propio interruptor de accionamiento.
En la figura 1.6 se muestra la bomba de sólidos.

Figura 1.6 Bomba sumergible

1.5.6 TANQUE BIODIGESTOR

Se escogió una proporción casi de 1 entre diámetro y altura, debido a facilidad del diseño, montaje y efectividad del sistema de agitación y calentamiento interno, frente a otras configuraciones de tanques más bajos o esbeltos. De esta manera, las dimensiones adoptadas fueron de 2.3 m de altura x 2.6 m de diámetro, con lo que el volumen del cilindro es de 12.2 m^3.

La parte cónica fue determinada geométricamente, con una pendiente del 15%, lo que resultó en una altura total de 2.6 m, hasta la base plana donde se asienta el motoreductor.

1.5.6.1 Material

Por durabilidad se seleccionó el acero inoxidable 304 para la construcción del tanque, en lugar del acero negro recubierto con pintura epóxica, que tiene una vida útil menor. Los cálculos de resistencia indicaron un espesor de lámina de 0.9 mm, pero por facilidad de soldadura se lo incrementó a 2 mm.

1.5.6.2 Sistema de agitación

Sobre el domo del tanque se ha colocado un motor monofásico de 2 HP, 220 VAC, 60Hz para la agitación interna, que se la logra con un eje extensor de 1 ½" de diámetro y una hélice de acero inoxidable de 1.2 m de diámetro, ubicada a 40 cm del fondo. Otra hélice en forma de ancla, ha sido acoplada al mismo mecanismo para romper la costra superficial de la mezcla orgánica del

biodigestor, y liberar el gas constantemente. Finalmente, se han dispuesto de 4 deflectores verticales de 2 m de longitud, para romper el flujo perimetral de la mezcla y crear turbulencia, a fin de lograr un mayor efecto de homogenización de mezcla y temperatura.

1.5.6.3 Sistema de calentamiento

Para el mantenimiento de las condiciones térmicas internas adecuadas del biodigestor, se ha diseñado dos subsistemas:

- 1 serpentín de tubos de cobre de 1” en forma rectangular, ubicado a 30 cm del fondo; por este serpentín recirculará el agua caliente proveniente del sistema solar térmico, controlado automáticamente por un sensor de temperatura y un PLC.
- Forro exterior del biodigestor, formado por planchas corrugadas de galvalume de 0.4 mm de espesor, que proteger la capa de lana de vidrio de 5 cm de espesor, cubriendo el cuerpo del biodigestor; el propósito es reducir al máximo las pérdidas por convección y radiación que pudieran reducir el rendimiento del biodigestor.

1.5.6.4 Accesorios

- Para facilidad de visualización de los asistentes, se han colocado dos mirillas de 2” de diámetro cada una.
- La lectura de nivel será exterior mediante un tubo transparente calibrado y graduado.
- El acceso al interior del tanque biodigestor es por una escotilla de inspección de 60 cm de diámetro, ubicada en la parte baja del biodigestor.
- Se han colocado ductos soldados al cuerpo del biodigestor, para la entrada de la mezcla orgánica, la salida del biol, el rebosadero como medida de seguridad, la purga de lodos de fondo y la salida superior de biogás.

1.5.6.5 Válvulas manuales de seguridad y sensores

- Una válvula de seguridad será colocada en la línea del biogás que sale de la cúpula del biodigestor y que controlará la presión de la línea; será ajustada en

no más de 3 psi. Un chispero automático se activará cuando sobrepase la presión ajustada para realizar la combustión del gas en exceso.

- En el biodigestor se tiene instalados sensores de temperatura y presión, a fin de controlar estas variables y la operación de las bombas.
- Se han instalado dos extintores de incendios, uno en el área del biodigestor y otro en el local demostrativo.

1.5.6.6 Características técnicas del biodigestor

En la tabla 1.3 se presentan algunos datos técnicos aproximados del biodigestor y la producción de biogás y abonos. Esto se estimó considerando la materia orgánica presentada en la tabla 1.4 y una temperatura ambiente promedio de 14ºC.

Material de construcción:	**Metal**
Volumen total requerido:	**10 m^3**
Diámetro:	**2,6 m**
Altura:	**2,0 m**
Volumen de acumulación de biogás	**1 m^3**
Tiempo de retención:	**30 días**
Producción de biogás:	**10 m^3 /día**
Producción de metano:	**6 m^3 /día**
Producción de lodo orgánico	**12 kg./día**
Producción de Biol	**140 kg./día**
Capacidad diaria de procesamiento	**110 kg**
Producción de energía eléctrica	**3 kWh/día**
Producción de energía térmica	**5 kWh/día**
Volumen total de fertilizante orgánico	**150 kg./día**

Tabla 1.4 Características técnicas del Biodigestor

En la figura 1.7 se muestra el diseño interno del tanque biodigestor.

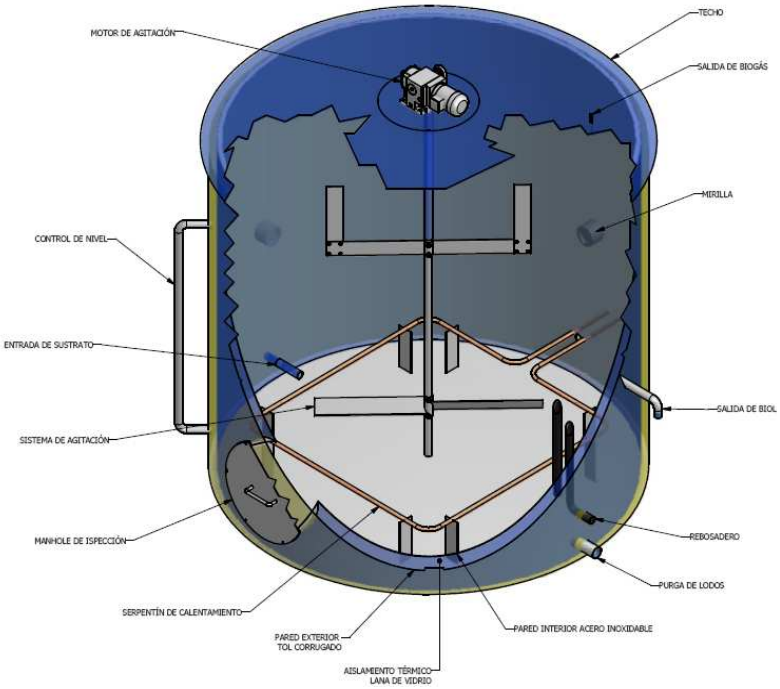


Figura 1.7 Estructura interna del Biodigestor

1.5.7 BOMBAS DE CIRCULACIÓN

La recirculación del agua caliente entre los paneles solares y el tanque termosolar estará a cargo de una bomba de 1 hp de potencia, será denominada como *bomba colectores-tanque*. Todas las líneas de agua caliente y fría son tuberías de cobre, aisladas con cañuelas de lana de vidrio recubiertas por lámina de aluminio, para minimizar las pérdidas térmicas. En la figura 1.8 se muestra la bomba C-T.

Figura 1.8 Bomba Colectores-Tanque

La segunda bomba denominada *bomba tanque-biodigestor,* es la encargada de hacer circular el agua desde en el tanque termosolar hacia el serpentín interior del biodigestor; ésta solo debe funcionar cuando la temperatura al interior del biodigestor sea menor que la del tanque termosolar. En la figura 1.9 se muestra la bomba T-B.

Figura 1.9 Bomba Tanque-Biodigestor

1.5.8 FILTROS DE BIOGÁS

En la línea de salida de biogás del tanque biodigestor, se han dispuesto dos filtros para secado y eliminación del gas sulfhídrico, formados por dispositivos llenos de limalla de hierro y un material adecuado para este fin.

En la figura 1.10 se muestra el filtro de H_2S con el que cuenta la planta, en el que se tuvo que colocar cajas protectoras con seguridad para impedir que las válvulas de paso sean manipuladas por personas ajenas, ya que la planta se encuentra al aire libre y en los primeros días varios visitantes movían las válvulas sin autorización.

Toda la planta cuenta con varias válvulas de paso en todas las tuberías, ya que al ser un proyecto de investigación interesa controlar varios parámetros para ver con cual se logra una mayor eficiencia.

Figura 1.10 Filtro de biogás

1.5.9 BOLSAS DE ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS

Se han instalado dos fundas de geomembrana (PVC –C-1000) expansible de 1 mm de espesor, para almacenar la producción diaria de biogás. Cada funda, de 5 m^3 aproximadamente de capacidad, tiene conexiones de entrada y purga, y costuras de refuerzo en los extremos.

En la figura 1.11 se muestra los globos de almacenamiento del biogás totalmente llenos, luego de una prueba producción.

Figura 1.11 Acumuladores de Biogás

1.5.10 PLANTA ELÉCTRICA

Para la generación de energía eléctrica se acondicionó un generador a gasolina, de 750 W de potencia nominal (modelo MG-750). Particularmente se ha regulado la válvula de admisión de combustible y entrada de aire, para que se combustione el biogás y energice las dos lámparas previstas.

En la figura 1.12 se muestra el generador eléctrico modificado, listo para su funcionamiento.

Figura 1.12 Generador eléctrico

1.5.11 COCINETA DE 2 HORNILLAS

Se ha instalado 1 cocineta de gas GLP de fabricación nacional de dos hornillas, en la que se quemará el biogás para fines demostrativos del público que asista a esta sección del Jardín Botánico de Quito.

En la figura 1.13 se puede observar la cocineta.

Figura 1.13 Cocineta

A continuación en la figura 1.14 se muestra un esquemático de la planta de biogás del JBQ.

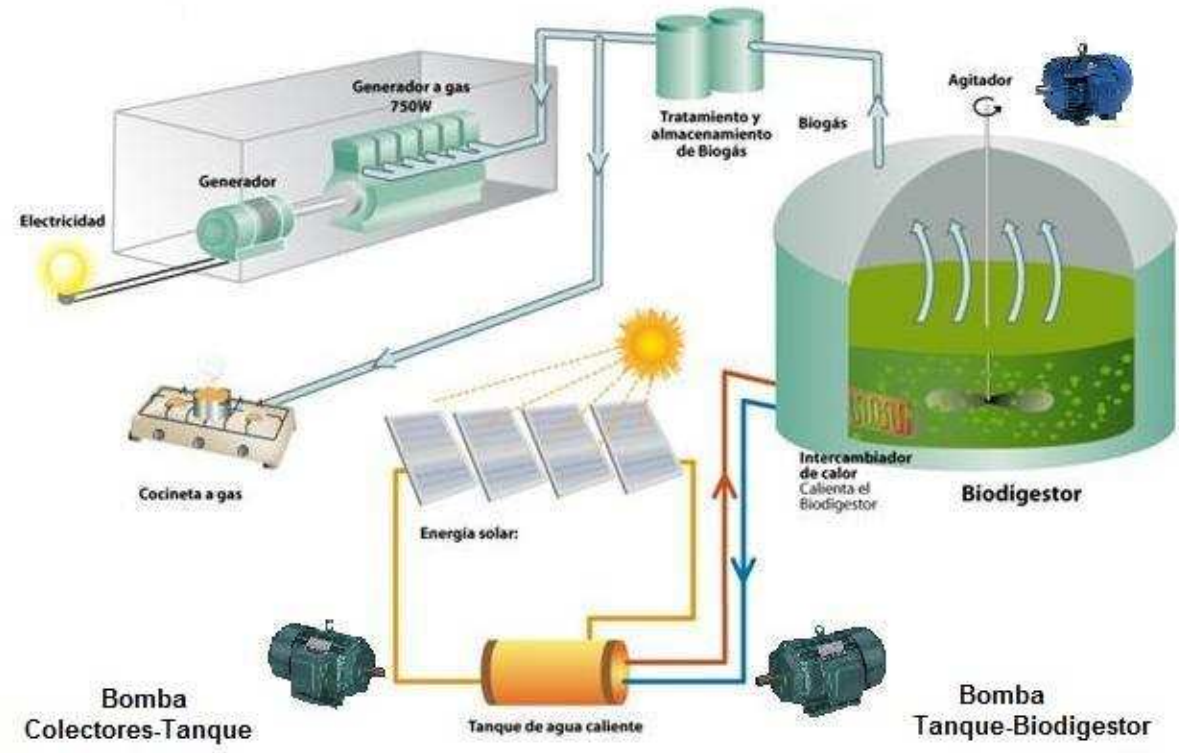


Figura 1.14 Esquemático de la Planta de biogás del JBQ

CAPÍTULO 2
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Después de realizar el estudio de sedimentación de la mezcla que se va a tener en el biodigestor y con base al sistema mecánico diseñado, se procedió a diseñar e implementar el sistema eléctrico y de control que permita cumplir los requerimientos técnicos de la planta de biogás y con bajos costos de inversión.

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO

Para el diseño del sistema de control de la planta de biogás del JBQ, se han considerado cuatro aspectos importantes y que son:

1. Garantizar y mantener las condiciones más favorables para dicho proceso, lo que prácticamente depende de una variable fundamental que es la temperatura al interior del biodigestor;
2. La seguridad, tanto para las personas como para los equipos;
3. El trabajo continuo de la planta, mediante la utilización de elementos robustos y confiables; y,
4. Que el sistema sea simple en su operación.

Con base a esas consideraciones, el sistema de control se encargará de:

1. Mantener la temperatura al interior del biodigestor lo más alto posible dependiendo siempre de las condiciones climáticas, ya que la fuente de calor es el sol; controlando para tal efecto la operación de los elementos que influyen en la regulación de dicha variable.
2. Controlar la presión en la línea del biogás, para evitar sobrepresión y posibles roturas de las juntas del tanque.
3. Mantener una mezcla homogénea dentro del biodigestor para mejorar las condiciones de generación de biogás.

4. Proporcionar al operador información visual de las variables del proceso y facilitar el control de la planta.

Por otro lado, todos los dispositivos de maniobra y protección del sistema eléctrico, serán dimensionados considerando las características y valores nominales de cada componente de carga y acorde a la normativa existente sobre instalaciones eléctricas.

2.2 CIRCUITO ELÉCTRICO PRINCIPAL

El circuito eléctrico principal de la planta de biogás del JBQ, se indica en el diagrama de la figura 2.1; y en el que se puede destacar:

- El alimentador principal (2 fases-neutro), que proviene de la red de distribución existente en el parque “La Carolina”.
- Los motores M1, M2 y M3 que son energizados por medio de contactores electromagnéticos que a su vez son controlados por un PLC.
- Los motores M4 y M5, de la bomba sumergible y de la picadora, son conectados a tomacorrientes especiales y tienen mando manual.
- Del alimentador principal también se derivan circuitos para las salidas del PLC y para las fuentes de corriente continua requeridas en el sistema de control.

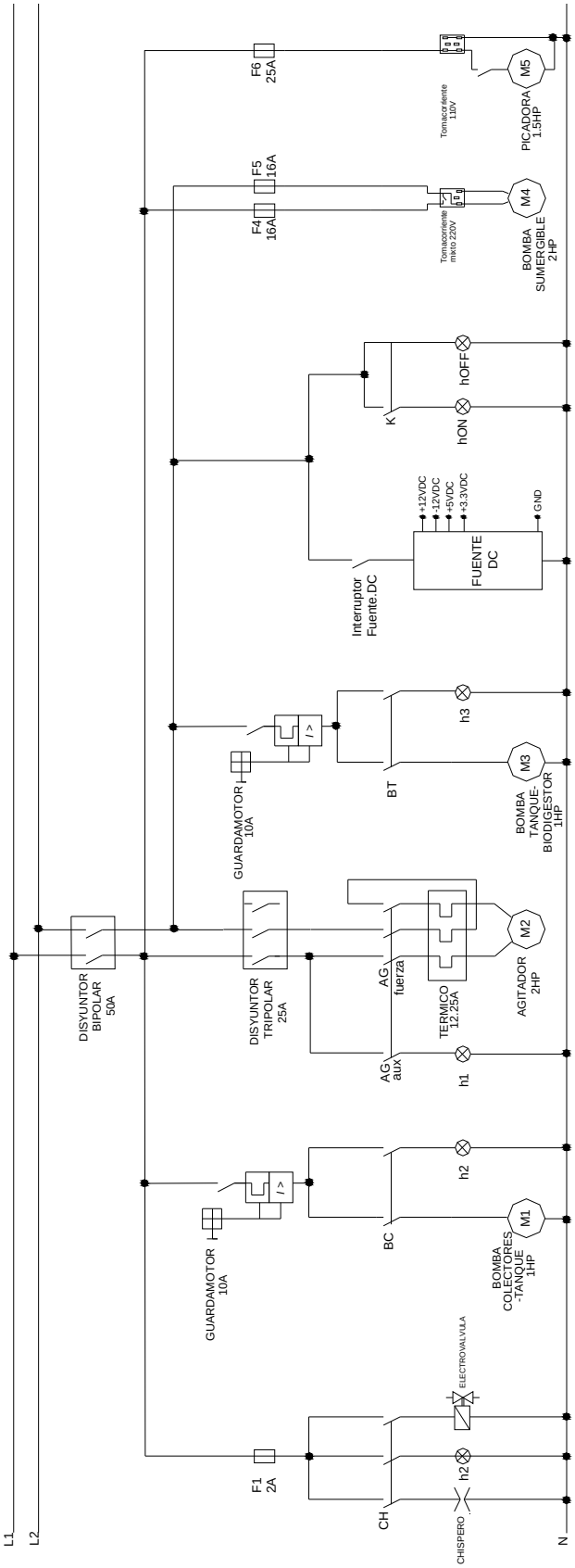


Figura 2.1 Circuito eléctrico principal

2.2.1 CARGA INSTALADA (MOTORES)

En la tabla 2.1 se listan los equipos con sus principales características.

Denominación	Potencia (HP)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tipo	Arranque
Agitador	2	220	9.8	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Bomba Tanque- Biodigestor	1	110	8.4	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Bomba Colectores- Tanque	1	110	8.4	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Picadora	1.5	110	10	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno
Bomba sumergible	2	220	6.2	Monofásico Jaula de ardilla	A voltaje pleno

Tabla 2.1 Motores instalados en la planta

2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES

Para el dimensionamiento de conductores de los circuitos derivados a motores eléctricos y del alimentador principal, se consideró las recomendaciones que establece el código eléctrico ecuatoriano, en lo aplicable a instalaciones de baja tensión.

De esta forma, para el dimensionamiento de los conductores de cada ramal de motor se utilizó la formula siguiente:

$I_A = 1,25 * I_{PC}$, siendo IPC la corriente a plena carga del motor.

Para el alimentador principal:

$$I_{AP} = 1,25 * I_{PC}(más\ grande) + \sum I_{PC}(otros)$$

2.2.3 DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES

Para dimensionar las protecciones de los circuitos ramales se consideró la IPC y la letra clave de cada motor; y se utilizó un factor del 300% para los fusibles y del 250% para los disyuntores.

A continuación se muestra como ejemplo el dimensionamiento del conductor del ramal del agitador, ya que para todos los ramales se utilizó el mismo criterio.

<u>Sección del alimentador:</u>

$I_{plena\ carga} = 9.8A$ (dato de placa)

$I_{conductor} = 1,25 \times I_{plena\ carga} = 1,25 \times 9.8A$

$I_{conductor} = 12.25A$

Conductor: 14 flexible THW (15A)

<u>Protección de cortocircuito:</u>

Letra clave del motor: F

$I_{disyuntor} = 2.5 \times I_{plena\ carga} = 2.5 \times 9.8A$

$I_{disyuntor} = 24.5A$

Disyuntor Tripolar: 25A

<u>Protección de sobre cargas:</u>

Se utilizó un relé térmico ajustado a la corriente nominal del motor (9.8A).

A continuación se muestra, en la tabla 2.2, el resumen de todas las protecciones de los equipos.

EQUIPO	I_{PC} (A)	# CONDUCTOR	LETRA CLAVE	$I_{FUSIBLE}$ (A)	$I_{DISYUNTOR}$ (A)
AGITADOR	9.8	14	F	-	25
BOMBA T-B	8.4	14	B	-	20
BOMBA C-T	8.4	14	B	-	20
BOMBA SUMERGIBLE	6.2	14	B	16	-
PICADORA	10	14	B	25	-

Tabla 2.2 Calibre de conductores y protecciones

2.2.4 TAMAÑO DE LOS CONTACTORES

De acuerdo a las normas IEC, los contactores fueron dimensionados por la I_N de cada motor, categoría AC_3, aplicable a motores de inducción jaula de ardilla, con desconexión a plena marcha.

2.2.5 PUESTA A TIERRA

Como electrodo de tierra se utilizó una varilla de cobre-acero, de 1.8m., enterrada en el área de la instalación.
El conductor de tierra común es un alambre de cobre # 12 AWG, une las carcasas de todos los motores, los tableros metálicos y todas las partes conductivas expuestas en la instalación.

2.3 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control está constituido por:

- La instrumentación y dispositivos de campo, que lo constituyen los sensores de temperatura, presión, pulsadores de mando y contactores.
- Un PLC, encargado de controlar de manera automática de la planta.

- Un microcontrolador, utilizado para la comunicación inalámbrica entre el PLC y la HMI. También envía datos al LCD para desplegar valores de temperatura.
- Una Interface Hombre-Máquina (HMI) para adquisición y visualización de datos (temperatura) y control supervisor.

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de bloques de la estructura del sistema de control.

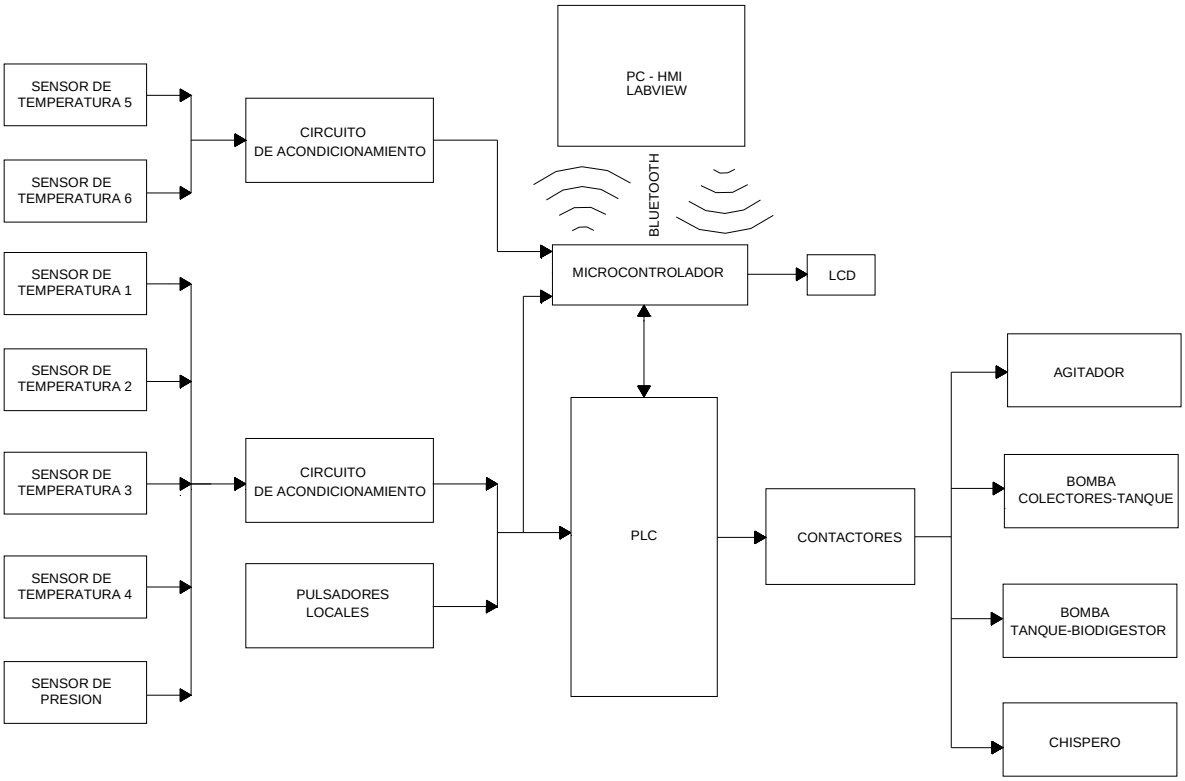


Figura 2.2 Diagrama de bloques del sistema de control

2.4 SENSORES DE TEMPERATURA

Los RTDs son sensores de temperatura tipo resistivos. En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica.

El platino es el elemento más indicado para la fabricación de sensores de temperatura por resistencia, ya que, como se desprende de la tabla 2.4 posee:

- Alto coeficiente de temperatura
- Alta resistividad, lo que permite una mayor variación de resistencia por ºC.
- Relación lineal resistencia – temperatura.
- Rigidez y ductilidad lo que facilita el proceso de fabricación de la sonda de resistencia.
- Estabilidad de sus características durante su vida útil.

En la tabla 2.3 se muestra la comparación de las propiedades del platino en comparación con otros elementos.

Metal	Resistividad µΩ/cm	Coeficiente de t° Ω/Ω, °C	Intervalo útil de temp °C	Resist a 0°C Ω	Precisión °C
Platino	9.83	0.003850	-200 a 950	25, 100, 130	0.01
Niquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-15 a 300	100	0.50
Cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	10	0.10

Tabla 2.3 Características del Platino

2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE UN PT100

Un Pt100 es un tipo partículas de RTD, que consiste en un alambre de platino que a 0℃ tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatu ra aumenta su resistencia eléctrica proporcionalmente.

El incremento de la resistencia no es completamente lineal pero si creciente y característico del platino; de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

En la figura 2.3 se ilustra la variación casi lineal de la resistencia en función de la temperatura de un PT100.

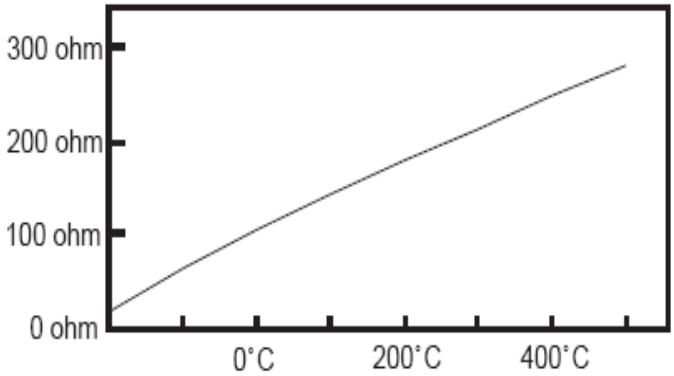


Figura 2.3 Curva PT100

Normalmente los sensores Pt100 industriales vienen encapsulados en la misma forma que las termocuplas, es decir, dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico.

En la figura 2.4 se muestra una fotografía tomada desde el interior del tanque biodigestor, antes que la planta empiece a funcionar.

Figura 2.4 PT100 con vaina de protección al interior del biodigestor

Por otra parte, los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan robustos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100℃ a 200℃).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado, con la ventaja adicional que no se deteriora gradualmente entregando lecturas erróneas, sino que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas, donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además, un Pt100 puede ser colocado hasta una distancia de 30 metros del medidor sin mayor problema, utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

En la figura 2.5 se muestra los PT100 instalados durante la etapa de construcción de la planta.

Figura 2.5 Sensores de temperatura

2.4.2 UBICACION DE LOS SENSORES

Los 6 sensores Pt100 están ubicados en los siguientes puntos:

1. Al exterior del panel (temperatura ambiente).
2. Salida del serpentín.
3. Entrada del serpentín.
4. Al interior del biodigestor.
5. Tanque de almacenamiento de agua.
6. Salida de los colectores solares.

Es importante mencionar que los últimos 4 son los que intervienen en la lógica de control y los 2 primeros son solo para visualización en el LCD.

2.5 ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

Debido a que el cambio de temperatura representa una variación pequeña de la resistencia de los PT100, se emplea en el acondicionamiento un puente de Wheatstone, que es un convertidor de impedancia a tensión y cuya salida está en el orden de los milivoltios, razón por la cual es necesaria la amplificación de estas señales.

Para el acondicionamiento de los sensores de temperatura se seleccionó el integrado TL084 que necesita de dos fuentes: +12 V_{DC} y -12 V_{DC}, y cuyas principales características son:

- Bajo consumo de energía.
- Rangos de voltaje diferencial.
- Alta impedancia de entrada.

En la figura 2.6 se muestra la distribución de pines del integrado TL084.[5]

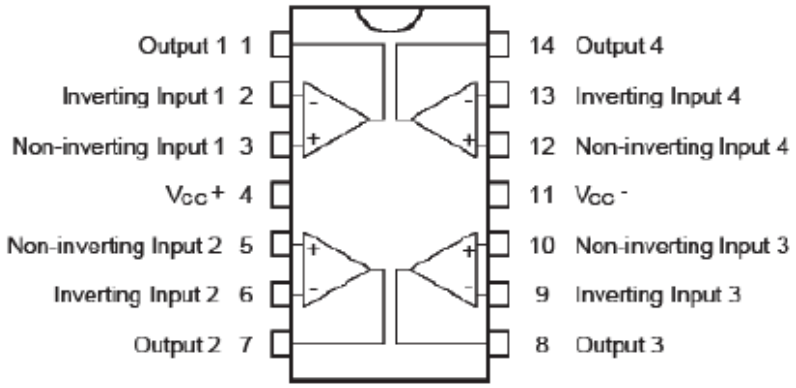


Figura 2.6 Integrado TL084

- *Parámetros de diseño para el circuito de acondicionamiento de los PT100 para visualización.*

Para los sensores de visualización se realizó acondicionamiento de 0ºC a 35ºC.

- Voltaje de alimentación: -12V_{DC} y +12V_{DC}
- Salida: 0 (a 0ºC) – 5V (a 35ºC)

[5] Fuente: Datasheet TL084, www.datasheetcatalog.com

$$R_f = R_O(1+\alpha.\Delta T)$$

α Calculado a partir de la tabla de temperatura vs resistencia obtenida experimentalmente y que es igual a 0.004290 (la tabla se encuentra en el CAPÍTULO 4).

RTD mínimo (para temperatura=0℃):

$$R_f = 100(1+4.290\times10^{-3}\times0)$$
$$\Rightarrow RTD_{mín} = 100\Omega$$

RTD máximo (para temperatura máxima):

$$R_f = 100(1+4.290\times10^{-3}\times35)$$
$$\Rightarrow RTD_{máx} = 115.015\Omega$$

Para la corriente máxima:

$$\frac{12}{R_2+RTD_{mín}} < 1mA$$

$$R_2 > \frac{12}{1\times10^{-3}} - RTD_{mín}$$

$$R_2 > 11.9k\Omega \Rightarrow R_2 = 12k\Omega$$

$$R_1 = R_2 = 12k\Omega$$
$$R_3 = RTD_{mín} = 100\Omega$$

$$Vin_1 = 12\frac{R_3}{R_1+R_3} = 12\frac{100}{100+12k} = 0.099V$$

$$Vin_2 = 12\frac{RTD_{máx}}{R_2+RTD_{máx}} = 12\frac{115.015}{12k+115.015} = 0.114V$$

$$V_o = \frac{R_f}{R}(Vin_2 - Vin_1) \Rightarrow \frac{R_f}{R} = \frac{5}{0.113-0.099} = 335.57$$

Para la primera etapa de amplificación, se escoge ganancia =5, entonces se tiene:

$$\frac{R_{f1}}{R_1'} = 5 \rightarrow R_{f1} = 5R_1'$$

$$Asumiendo \quad R_1' = 2k \Rightarrow R_{f1} = 10k$$

Para disminuir los efectos del ruido, se opta por una segunda etapa de amplificación con una ganancia de 66.67, entonces se tiene:

$$\frac{R_{f2}}{R_2'} = 667.1 \rightarrow R_{f2} = 67.1R_2'$$

$$Asumiendo: R_2' = 1k \Rightarrow R_{f2} = 68k \rightarrow 62k + 6k$$

Para la ganancia se utiliza potenciómetros de precisión de 10k.

En la figura 2.7 se muestra el circuito que comprende al acondicionamiento de señales de los sensores utilizados para visualización.

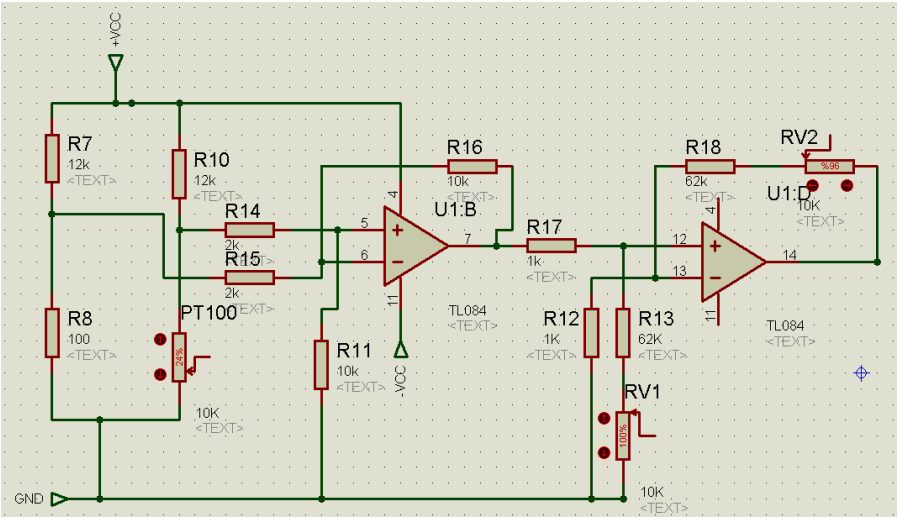


Figura 2.7 Circuito de acondicionamiento para los sensores de temperatura (visualización)

- *Parámetros de diseño para el circuito de acondicionamiento de los PT100 de control*

Los cuatro sensores PT100 que intervienen en el control están acondicionados de 10ºC a 70ºC.

- o Voltaje de alimentación: -12V_{DC} y +12V_{DC}
- o Salida: 0 (a 10ºC) – 10V (a 70ºC)

$$R_f = R_O(1 + \alpha.\Delta T)$$

α Calculado a partir de la tabla de temperatura vs resistencia = 0.004290

RTD mínimo (para temperatura mínima):

$$R_f = 100(1 + 4.290 \times 10^{-3} \times 10) = 100\Omega$$

$$RTD_{mín} = 100\Omega + 2\Omega(resistencia\ medida\ de\ los\ cables\ de\ conexión)$$

$$\Rightarrow RTD_{mín} = 102\Omega$$

RTD máximo (para temperatura máxima):

$$R_f = 100(1 + 4.290 \times 10^{-3} \times 70)$$
$$\Rightarrow RTD_{máx} = 130.04\Omega$$

Para la corriente máxima:

$$\frac{12}{R_2 + RTD_{mín}} < 1mA$$

$$R_2 > \frac{12}{1 \times 10^{-3}} - RTD_{mín}$$
$$R_2 > 11.9k\Omega \Rightarrow R_2 = 12k\Omega$$
$$R_1 = R_2 = 12k\Omega$$
$$R_3 = RTD_{mín} = 82\Omega + 20\Omega = 102$$

$$Vin_1 = 12\frac{R_3}{R_1 + R_3} = 12\frac{102}{102 + 12k} = 0.101V$$
$$Vin_2 = 12\frac{RTD_{máx}}{R_2 + RTD_{máx}} = 12\frac{130.04}{12k + 130.04} = 0.1286V$$
$$V_o = \frac{R_f}{R}\left(Vin_2 - Vin_1\right) \Rightarrow \frac{R_f}{R} = \frac{10}{0.1286 - 0.1011} = 363.63$$

Para la primera etapa de amplificación, se escoge una ganancia =5, entonces se tiene:

$$\frac{R_{f1}}{R_1'} = 5 \rightarrow R_{f1} = 5R_1'$$

$$Asumiendo \quad R_1' = 2k \Rightarrow R_{f1} = 10k$$

Para disminuir los efectos del ruido, se opta por una segunda etapa de amplificación con una ganancia de 72.72, entonces se tiene:

$$\frac{R_{f2}}{R_2'} = 72.72 \rightarrow R_{f2} = 72.72R_2'$$

$$Asumiendo \quad R_2' = 4.3k \Rightarrow R_{f2} = 312.6k \rightarrow 300k + 12k$$

Para la ganancia se utiliza potenciómetros de precisión de 20k.

En la figura 2.8 se muestra el circuito para el acondicionamiento de los PT100 de control.

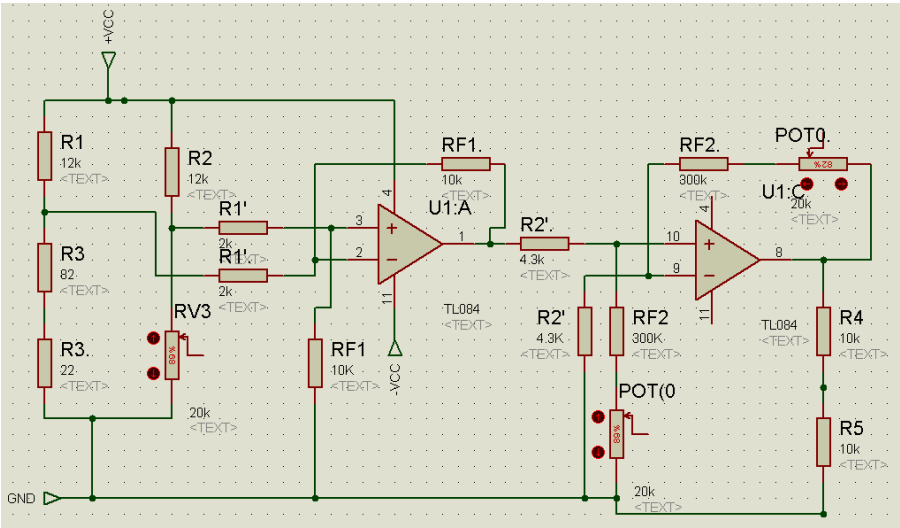


Figura 2.8 Circuito de acondicionamiento para los PT100 de control

2.6 SENSOR DE PRESIÓN

El sensor de presión es el que manda la señal al PLC Zelio para que encienda el sistema de combustión automática, compuesto por una electroválvula para evacuar el biogás y un chispero para producir la ignición del gas.

El sensor de presión mide la presión interna del biodigestor, que en condiciones normales está por debajo de los 3 PSI. Cuando la presión interna supere los 3 PSI, el PLC emite la señal para abrir la electroválvula y producir la combustión del biogás.

En la figura 2.9 se muestra el sensor de presión utilizado.

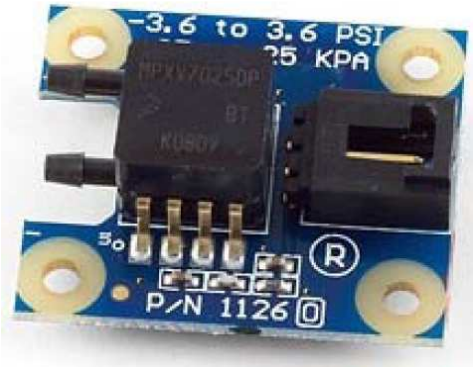


Figura 2.9 Sensor de presión

El sensor de presión MPXV70 es fabricado por National Instruments y mide presión diferencial o absoluta, es ideal para aplicaciones con bajos rangos de presión.

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

* Voltaje de Alimentación: 5 VDC
* Consumo de Corriente: 10mA
* Impedancia de salida: 1 kOhm
* Rango de presión diferencial: -3.6 a +3.6 psi (-25 a +25 kPa)
* Error: 5% * Diámetro de los puertos de gas: 2.79 a 3.30 mm.

El sensor tiene un principio de funcionamiento radiométrico, es decir se basa en la medición de la intensidad de rayos gamma emitidos.
La medida de presión se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

$$V_{Sensor} = V_{Source}\,(0.004 \times Pressure - 0.04)$$

$$V_{Sensor} = 5V\,(0.004 \times Pressure - 0.04)$$

$$V_{Sensor} = 0.020 \times Pressure - 0.20$$

$$V_{Sensor} + 0.20 = 0.020 \times Pressure$$

$$Pressure = \frac{V_{Sensor} + 0.20}{0.020}$$

$$\text{Since: } V_{Sensor} = SensorValue \times 0.005$$

$$Pressure = \frac{SensorValue \times 0.005 + 0.20}{0.020}$$

$$Pressure = SensorValue \times 0.25 + 10$$

2.7 MICROCONTROLADOR ATMEGA164P

Se realizó la selección de este microcontrolador previo al análisis de los recursos requeridos por el sistema tanto de periféricos de entrada y como de salida, además cuenta con un convertidor analógico/digital con resolución de 10 bits. El microcontrolador ATMEGA164P se encarga de recibir las señales acondicionadas de todos los sensores y transmitirlos mediante bluetooth a la PC; a su vez, envía los datos que recibe de la HMI hacia el PLC Zelio a manera de pulsos. El

microcontrolador también envía señales al LCD donde se visualizan los valores de las temperaturas.

En la figura 2.10 se muestra el diagrama de entradas y salidas del microcontrolador.

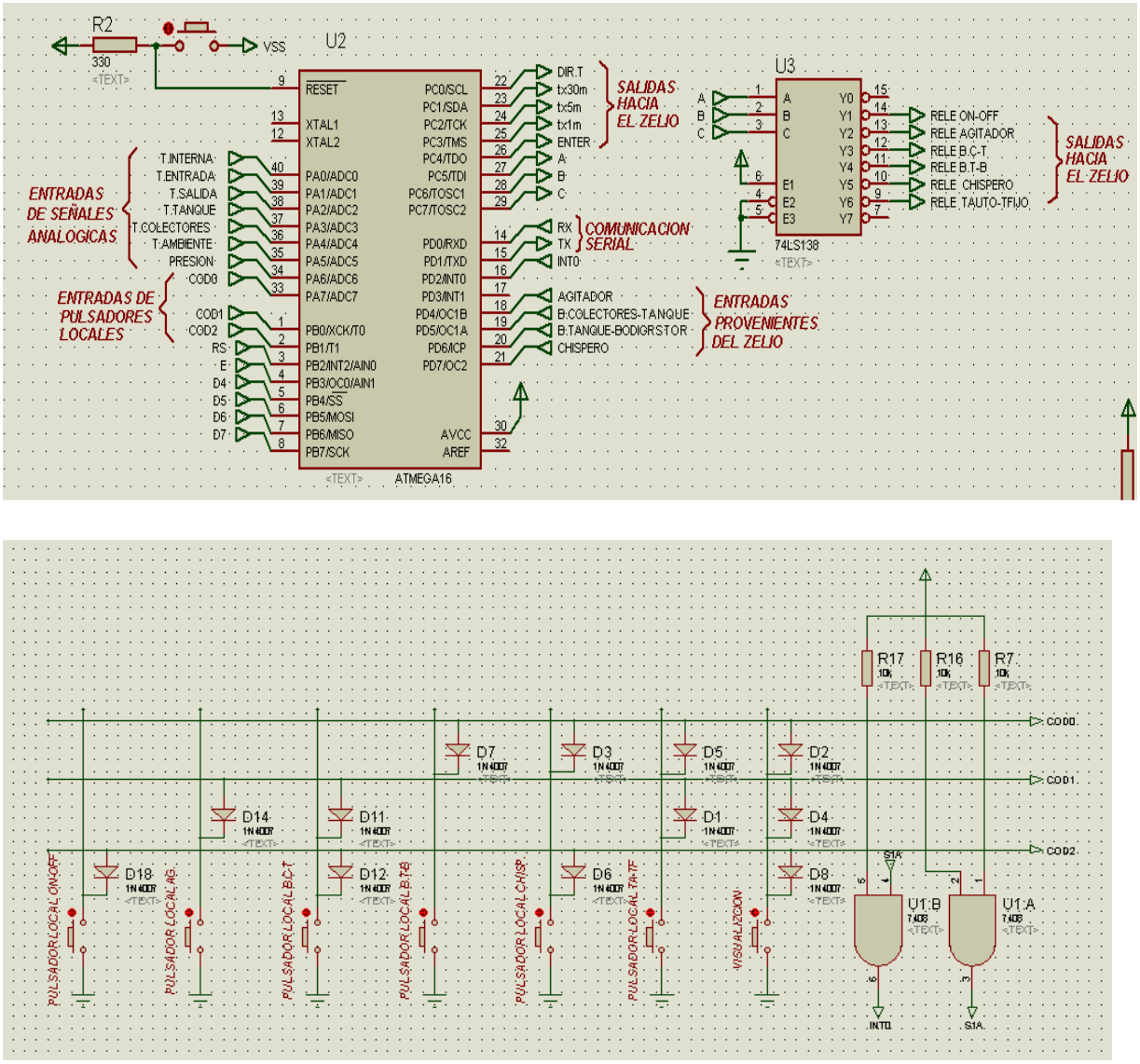


Figura 2.10 Entradas y salidas del microcontrolador

Los pines D4-5-6-7 son los que están conectados al LCD. Además se utiliza un teclado codificado para minorar el número de entradas al microcontrolador. En la figura 2.10 también podemos observar que se utiliza un multiplexor para obtener 8 salidas a partir de la combinación de las salidas de 3 pines del microcontrolador. En ambos casos se utiliza la relación 2^n, siendo n el número de pines utilizados

del microcontrolador y la respuesta el número de entradas o salidas respectivamente.

El microcontrolador Atmega164P pertenece a la familia AVR de microcontroladores RISC fabricados por Atmel. Los AVR son CPUs con arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de propósito general de 8 bits. Los registros de entrada-salida y la memoria de datos forman un solo espacio de localidades, que se acceden mediante operaciones de carga-almacenamiento.

El uso del microcontrolador para este proyecto se justifica por la facilidad de la comunicación inalámbrica (más adelante detallada), ya que si solo se usa el PLC se tendría se comprar un módulo bluetooth propio del fabricante, cuyo costo excede el presupuesto; además se está realizando una investigación para probar que un sistema así es económico y efectivo para soluciones de control similares a ésta.

2.8 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Para este proyecto se utilizó un PLC con estructura compacta. Este controlador es fabricado por TELEMECANIQUE y el modelo es Zelio Logic 2, el cual consta de 10 entradas digitales, 6 entradas analógicas y 10 salidas de relé, la alimentación es de 24 Vdc y el lenguaje de programación puede ser LD, BDF o Grafcet.

Una de las ventajas de haber utilizado un PLC en este proyecto, es la facilidad que se tiene para modificar de control sin tener que volver a realizar nuevas conexiones de los dispositivos de entrada y salida, consiguiéndose de esta forma mayor flexibilidad en el sistema de control.

Para alimentar el PLC seleccionado se utilizó una fuente SIEMENS para PLC, tiene una entrada de 110 Vac y una salida de 24 Vac con 2,5 A de capacidad, por lo cual cumple con los valores de funcionamiento del PLC Zelio. En la figura 2.11 se muestra una fotografía del la fuente utilizada para alimentar al PLC.

Figura 2.11 Fuente PLC

El PLC que se utilizó en este proyecto es el que se muestra en la figura 2.12.

Figura 2.12 Zelio

En la figura 2.13, se presenta el diagrama de conexiones de entradas y salidas al PLC Zelio:

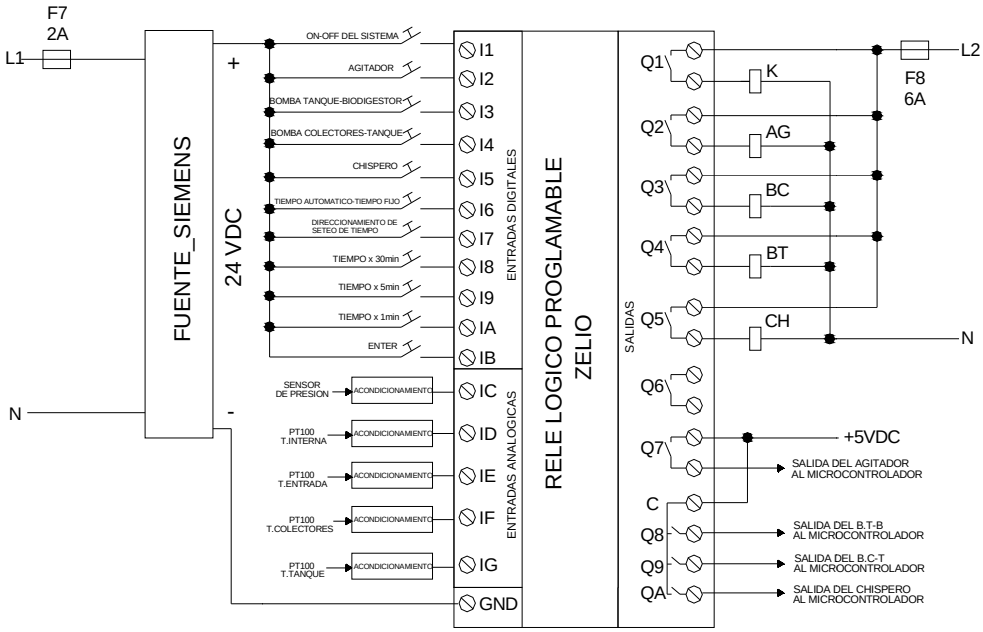


Figura 2.13 Diagrama de conexiones de entradas y salidas al PLC

2.9 COMUNICACIÓN MICROCONTROLADOR- HMI

La tecnología inalámbrica bluetooth presenta ondas de radio con alcance hasta los 100 metros. Para esta aplicación elegimos el modulo con conversor serial que facilita en gran medida la comunicación con la PC.

Para la comunicación inalámbrica entre la PC y el microcontrolador es necesario contar con 2 módulos, el primero que funciona como emisor y receptor en la computadora y el segundo que cumple las mismas funciones en el microcontrolador.

Para la PC se compró un módulo con software propietario, que permite configurar los parámetros de comunicación y además elegir el tipo de comunicación inalámbrica que se desea.

En la figura 2.14 se muestra una fotografía del modulo que se conecta en la PC.

Figura 2.14 Módulo bluetooth para la PC

Para el microcontrolador se seleccionó otro módulo que se lo conecta en los pines 14 y 15, es decir Rx y Tx, del microcontrolador. Para este dispositivo es muy importante contar con una fuente de 3.3 Vdc.

Para la conexión del modulo al microcontrolador se construyó una placa que se muestra en la figura 2.15.

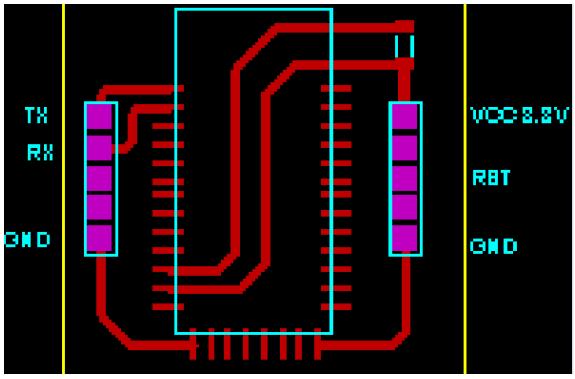


Figura 2.15 Placa bluetooth

La desventaja de la comunicación bluetooth es la distancia que debe existir entre el emisor y el receptor, para esta aplicación y con los componentes utilizados, el fabricante especifica un alcance de hasta 90 metros, contando desde el modulo de la PC hacia cualquier otro dispositivo; pero según las pruebas realizadas se comprobó que la distancia fue mucho menor y que también depende de los obstáculos que pueda tener la señal.

En la figura 2.16 se muestra el módulo que realiza la comunicación inalámbrica del microcontrolador.

Figura 2.16 Módulo bluetooth para el microcontrolador

2.10 TRANSFERENCIA DE DATOS MICROCONTROLADOR-PLC

Para transferir los datos desde el microcontrolador hacia el PLC se utilizan circuitos que generan pulsos de larga duración para que el PLC pueda entenderlos como entradas digitales. Las entradas: On-Off del Sistema, Agitador, Bomba Tanque Biodigestor, Bomba Colectores tanque, Chispero, Tiempo Automático-Tiempo Fijo que ingresan al PLC Zelio tienen la conexión que se muestra en la figura 2.17. Estos cambios se los puede hacer desde el HMI y con pulsadores locales en el panel de control.

Para variar los tiempos de funcionamiento del motor y de las bombas, el microcontrolador envía pulsos de larga duración a las entradas del PLC, estas entradas son: dirección de seteo de tiempos, tx30m, tx5m, tx1m, enter; y tienen el circuito que se presenta en la figura 2.18. Cambios realizados solo por el HMI.

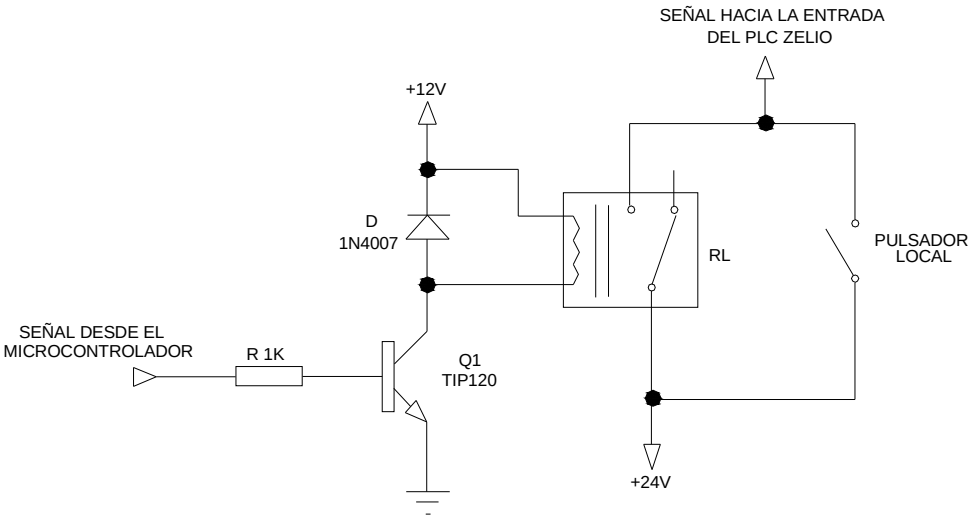


Figura 2.17 Circuito de pulsos desde el microcontrolador hacia el PLC

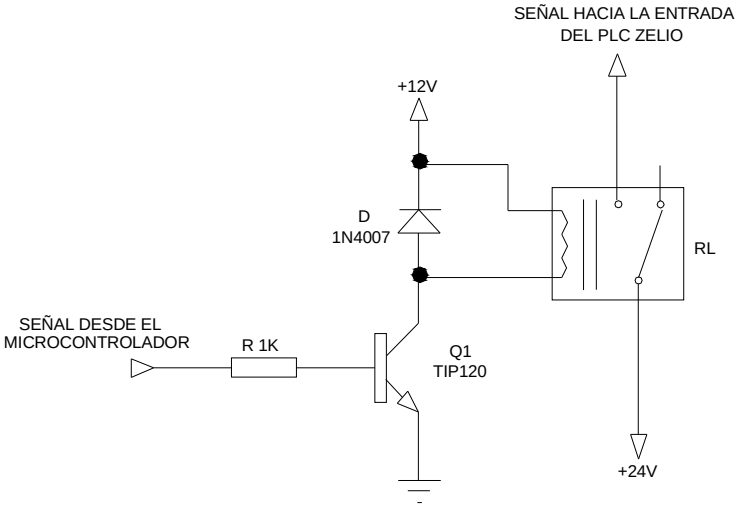


Figura 2.18 Circuito de pulsos para cambio de tiempos

2.11 PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO

En base al diseño de los circuitos de acondicionamiento de cada sensor y luego de realizar las pruebas pertinentes, se procedió a implementar las placas de circuito impreso para cada uno de los subsistemas.

En el capítulo 3 se explica con más detalle el software utilizado y la manera en la que se diseñaron las diferentes placas.

2.11.1 PLACA MICROCONTROLADOR

Esta placa cumple con la función de polarizar tanto al microcontrolador como al LCD. Contiene un arreglo de diodos a manera de un teclado codificado; la placa contiene los pulsadores para iniciar el control en modo local y en este arreglo se han considerado todas las salidas del microcontrolador para la comunicación con el PLC.

En la figura 2.19 se visualiza las pistas de la placa.

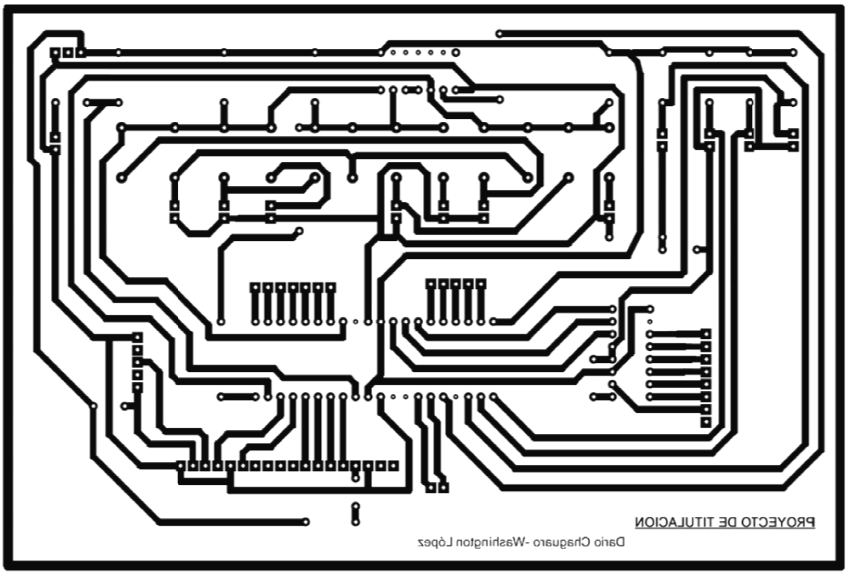


Figura 2.19 Placa microcontrolador

A continuación, en la figura 2.20 se muestra se verá la placa después de colocar los elementos.

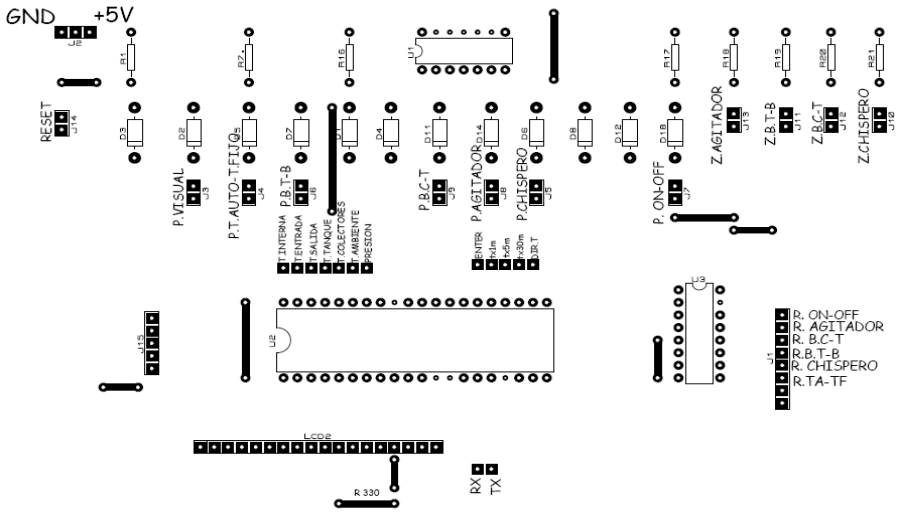


Figura 2.20 Placa microcontrolador

En la figura 2.21 se muestra la placa “microcontrolador” luego de soldar los elementos y probar la continuidad cada una de las pistas con el multímetro.

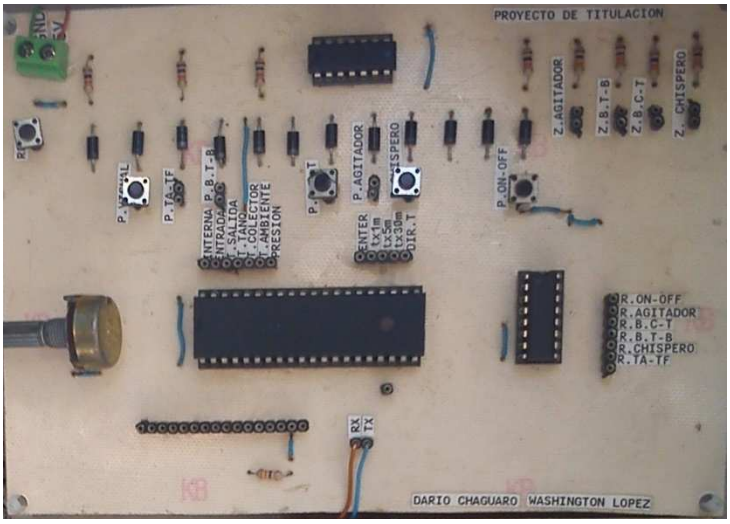


Figura 2.21 Placa microcontrolador terminada

2.11.2 PLACA ACONDICIONAMIENTO PT100

Esta placa contiene el circuito de acondicionamiento para las 6 entradas de los PT100.

Al igual que para la placa del microcontrolador se presenta los mismos esquemas en las figuras 2.22, 2.23 y 2.24

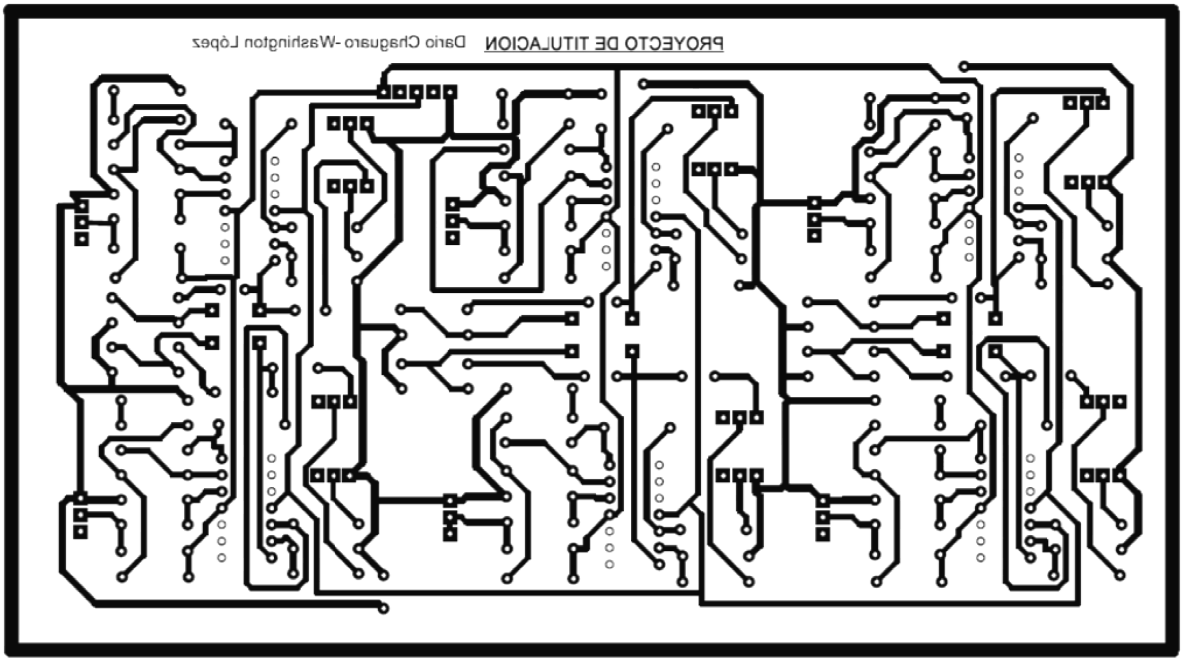


Figura 2.22 Placa PT100

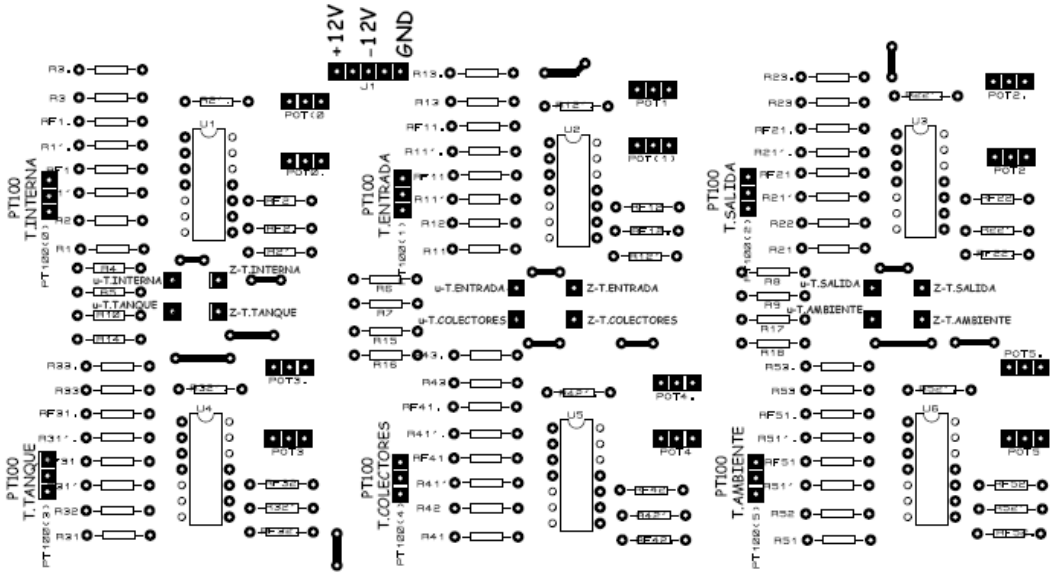


Figura 2.23 Placa PT100

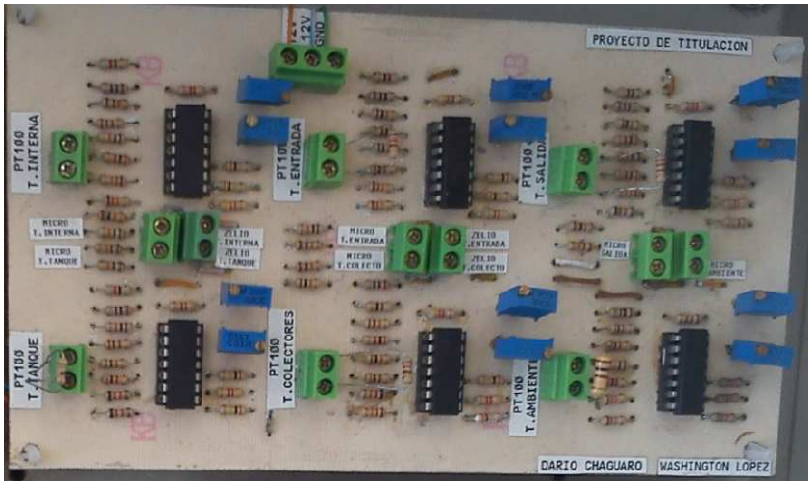


Figura 2.24 Placa PT100 terminada

2.11.3 PLACA RELÉ DE PULSOS

Esta placa constituye la interfaz física entre el ATMEGA164p y el PLC Zelio, ya que emite los pulsos necesarios desde el microcontrolador hacia el PLC para transmitir datos.

En las tres figuras siguientes se muestra los diagramas de esta placa de control.

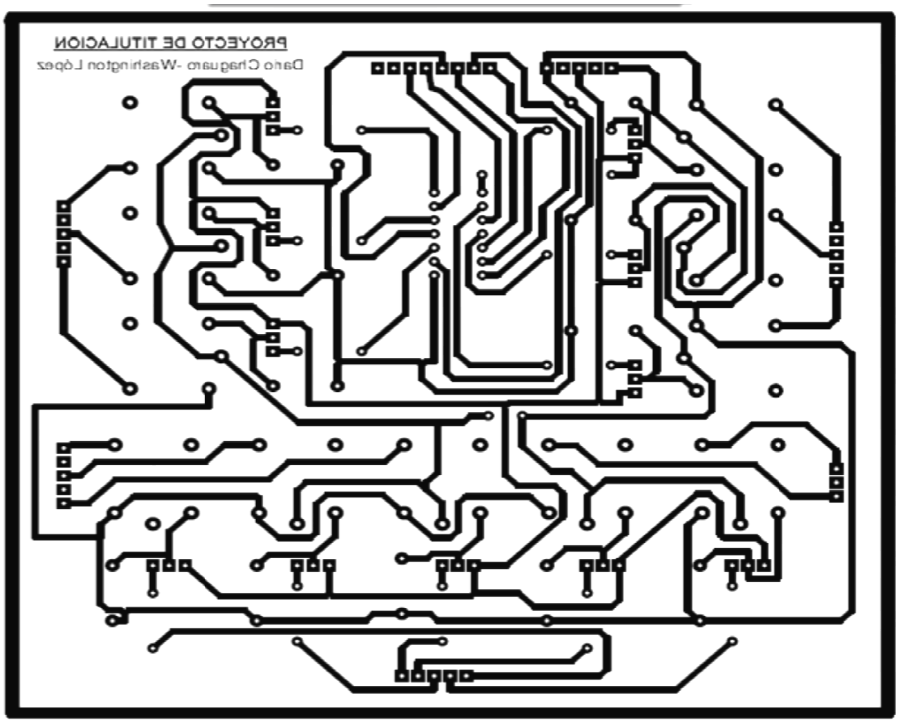


Figura 2.25 Placa Relé de pulsos

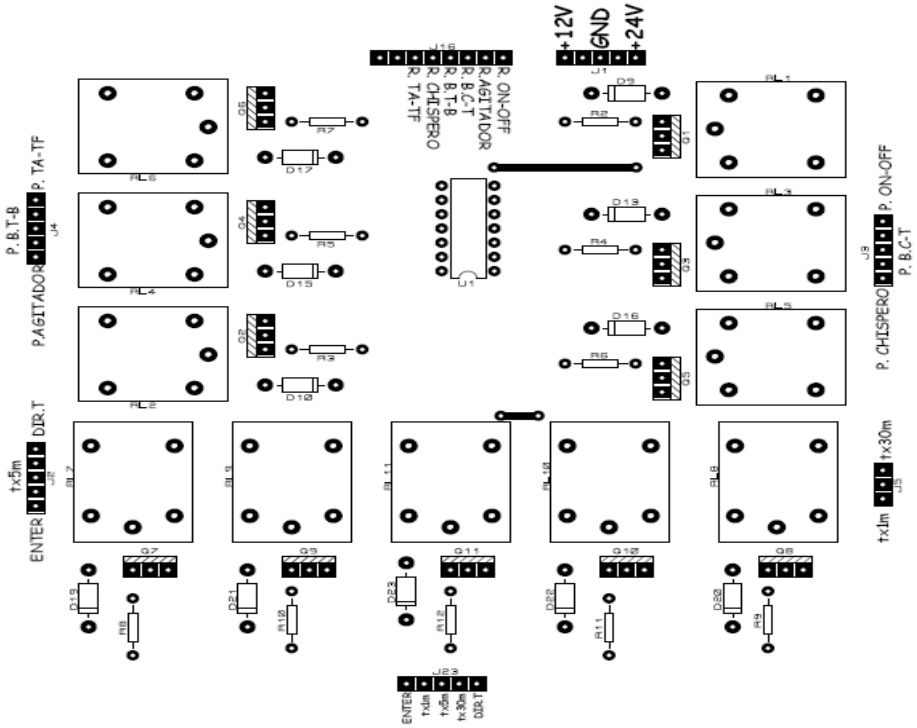


Figura 2.26 Placa Relé de pulsos

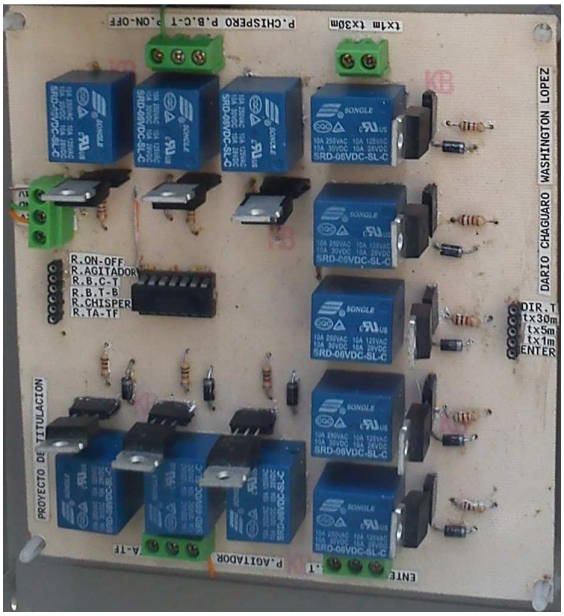


Figura 2.27 Placa Relé de pulsos terminada

En la figura 2.28 se muestra la imagen del interior del tablero con las placas instaladas.

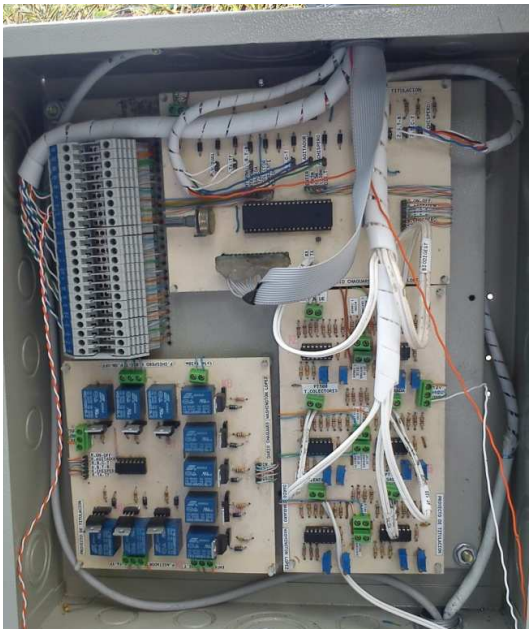


Figura 2.28 Placas Instaladas

2.12 PANEL DE CONTROL

El tablero de control está diseñado para que el operador pueda manipular todos los equipos localmente y está compuesto por: 6 luces indicadoras, 1 LCD y 7 pulsadores.

Las luces indicadoras nos muestran:

- Funcionamiento manual
- Funcionamiento automático
- Bomba C-T encendida
- Bomba T-B encendida
- Agitador encendido
- Chispero encendido

En el LCD podemos ver los valores de las temperaturas y la presión, además que visualiza los cambios que se realizan remotamente desde el HMI.

Y, los pulsadores cumplen las funciones de accionar los 4 equipos.

1. ON/OFF
2. Chispero ON

3. Agitador ON
4. Bomba C-T ON
5. Bomba T-B ON
6. Tiempo automático/tiempo fijo
7. Visualización de estado de elementos.

En la figura 2.29 se muestra la imagen del tablero de control.

Figura 2.29 Tablero de control

En la figura 2.30 se muestra la imagen del interior del tablero de control.

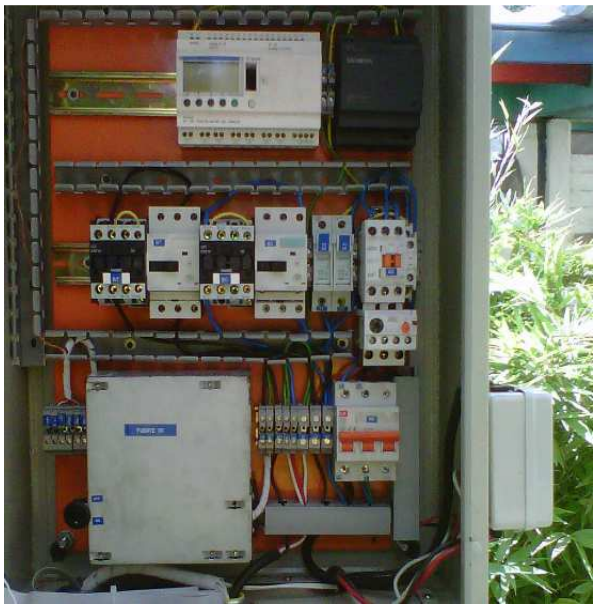


Figura 2.30 Tablero de control

CAPÍTULO 3
DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

El software desarrollado comprende la programación y configuración de:

- El microcontrolador.
- El PLC (Zelio).
- La interface Hombre-Máquina HMI (LabView).

3.1 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Como se explicó en el capítulo 2, el microcontrolador usado es el ATMEGA164P, este controlador es el encargado de enviar y recibir los datos inalámbricamente con el computador usando tecnología bluetooth mediante comunicación serial. Al microcontrolador entran las señales del sensor temperatura directamente acondicionada de 0 a 5V, y también a través de un divisor de voltaje que proviene del acondicionamiento de 0 a 10V, las cinco señales de los sensores restantes.

En el LCD se pueden ver los valores de temperaturas, presión y los estados de las salidas del PLC, es decir, si las bombas se encuentran apagadas o prendidas y también el modo de funcionamiento de las mismas.

Además, el ATMEG164P envía la información al PLC que es el que controla la operación de las bombas, el agitador y el chispero.

El microcontrolador envía los datos al HMI de todos los controles del panel, es decir, en caso que se active las bombas, el agitador o el chispero de modo local, la interfaz muestra al operador remoto el estado de los equipos en ese momento.

Las principales funciones que realiza el programa del microcontrolador son:

- Habilitar al LCD para visualizar el estado de funcionamiento del sistema.
- Escalamiento de las señales analógicas provenientes de los pt100 y del sensor de presión.
- Envío datos de temperatura y presión hacia el HMI vía Bluetooth.
- Recepción de datos desde la HMI vía Bluetooth.
- Verificación del funcionamiento local a través de los pulsadores locales.
- Transmitir información al PLC a través de pulsos.

- Visualización de las variables de temperaturas y presión en el LCD.

3.1.1 BASCOM AVR

BASCOM AVR es un software desarrollado por la empresa MCS para programar los microcontroladores AVR de la marca ATMEL. Se utilizó la versión 1.11.9.1, que permite la creación del programa de control del microcontrolador en lenguaje Basic.

En la figura 3.1 se presenta la imagen de presentación del programa.

Figura 3.1 Bascom

3.1.2 PROGISP

Este software se utilizó para programar el microcontrolador en base al diseño que se realizó en el Bascom.

En la figura 3.2 se presenta la pantalla principal de este software.

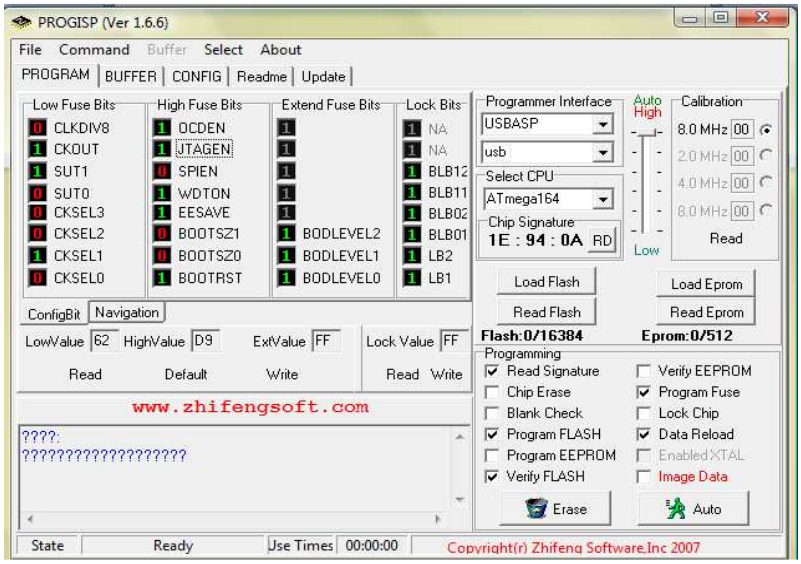
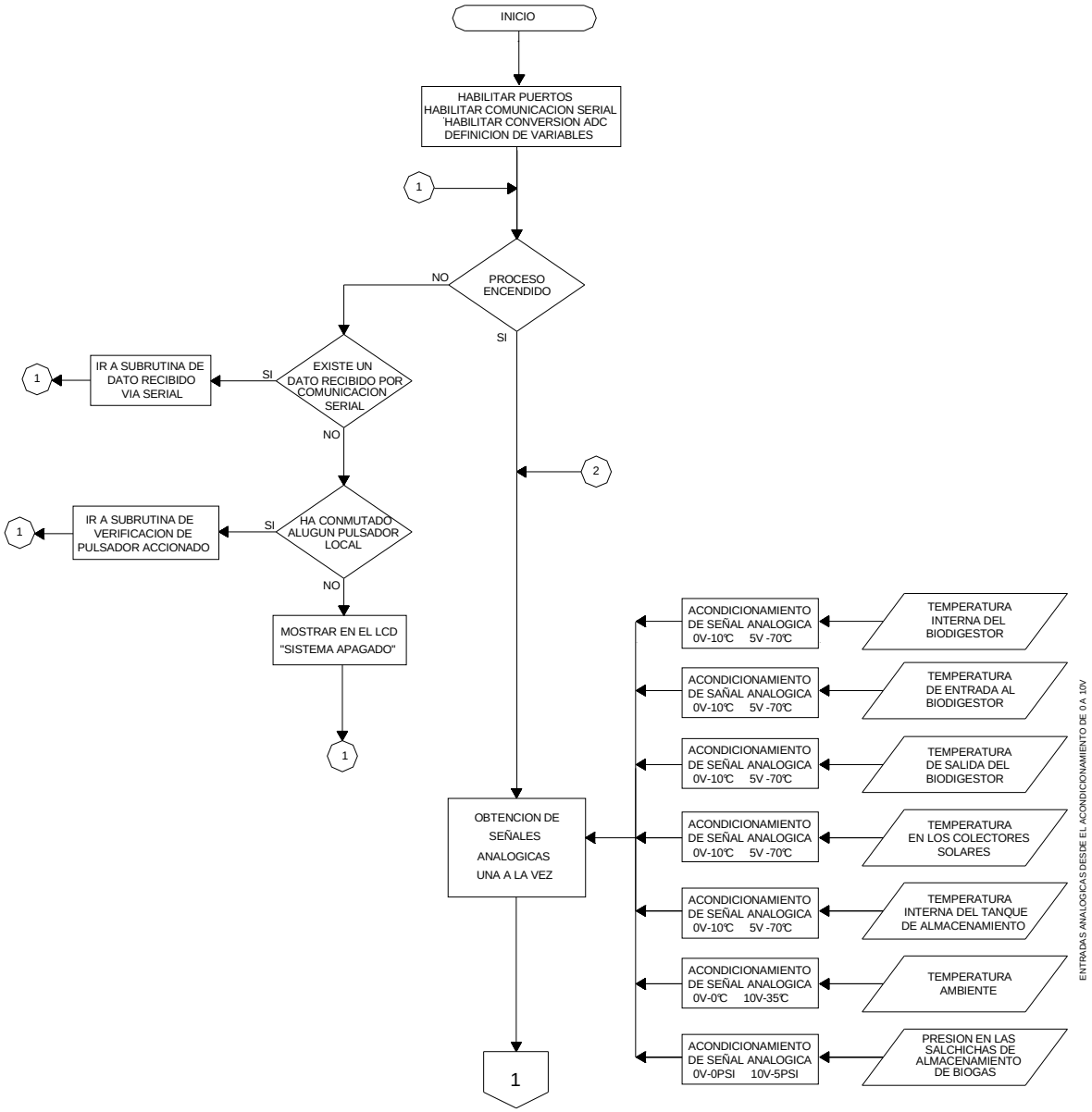


Figura 3.2 Pantalla principal del software Progisp

3.1.3 DIAGRAMAS DE FLUJO

Para una mayor facilidad de desarrollo del programa del microcontrolador, éste fue dividido en varias subrutinas que se presentan a continuación:

- Subrutina 1: Es el programa principal, se encarga de la inicialización del microcontrolador, escalamiento de señales analógicas, verificación de mandos locales o remotos, y el envío de señales vía bluetooth. En la figura 3.3 se presenta el diagrama de flujo.
- Subrutina 2: Se encarga de recibir datos desde la HMI y la conmutación de pines de salida del microcontrolador según la orden indicada. En la figura 3.4 se presenta el diagrama de flujo.
- Subrutina 3: Verifica la orden recibida desde el pulsador local. En la figura 3.5 se presenta el diagrama de flujo.
- Subrutina 4: Realiza la lógica para conmutar las salidas del microcontrolador y enviarlas al PLC de acuerdo al modo de operación seleccionado para los elementos de la planta. En la figura 3.6 se presenta el diagrama de flujo.
- Subrutina 5: Sirve para la visualización del funcionamiento en el LCD según las órdenes recibidas. En la figura 3.7 se presenta el diagrama de flujo.
- Subrutina 6: Subrutina que se encarga de recibir los datos de tiempos requeridos por el operador remotamente y ejecutar la lógica necesaria para transmitirlos al PLC por medio de pulsos. En la figura 3.8 se presenta el diagrama de flujo.


INICIO
HABILITAR PUERTOS
HABILITAR COMUNICACION SERIAL
HABILITAR CONVERSION ADC
DEFINICION DE VARIABLES
1
PROCESO ENCENDIDO
NO
SI
EXISTE UN DATO RECIBIDO POR COMUNICACION SERIAL
SI
IR A SUBRUTINA DE DATO RECIBIDO VIA SERIAL
1
NO
HA CONMUTADO ALUGUN PULSADOR LOCAL
SI
IR A SUBRUTINA DE VERIFICACION DE PULSADOR ACCIONADO
1
NO
MOSTRAR EN EL LCD "SISTEMA APAGADO"
1
2
OBTENCION DE SEÑALES ANALOGICAS UNA A LA VEZ
1
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALOGICA 0V-10℃ 5V -70℃
TEMPERATURA INTERNA DEL BIODIGESTOR
ACONDICIONAMIENTO DE SAÑAL ANALOGICA 0V-10℃ 5V -70℃
TEMPERATURA DE ENTRADA AL BIODIGESTOR
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALOGICA 0V-10℃ 5V -70℃
TEMPERATURA DE SALIDA DEL BIODIGESTOR
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALOGICA 0V-10℃ 5V -70℃
TEMPERATURA EN LOS COLECTORES SOLARES
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALOGICA 0V-10℃ 5V -70℃
TEMPERATURA INTERNA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALOGICA 0V-0℃ 10V-35℃
TEMPERATURA AMBIENTE
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALOGICA 0V-0PSI 10V-5PSI
PRESION EN LAS SALCHICHAS DE ALMACENAMIENTO DE BIOGAS
ENTRADAS ANALOGICAS DESDE EL ACONDICIONAMIENTO DE 0 A 10V

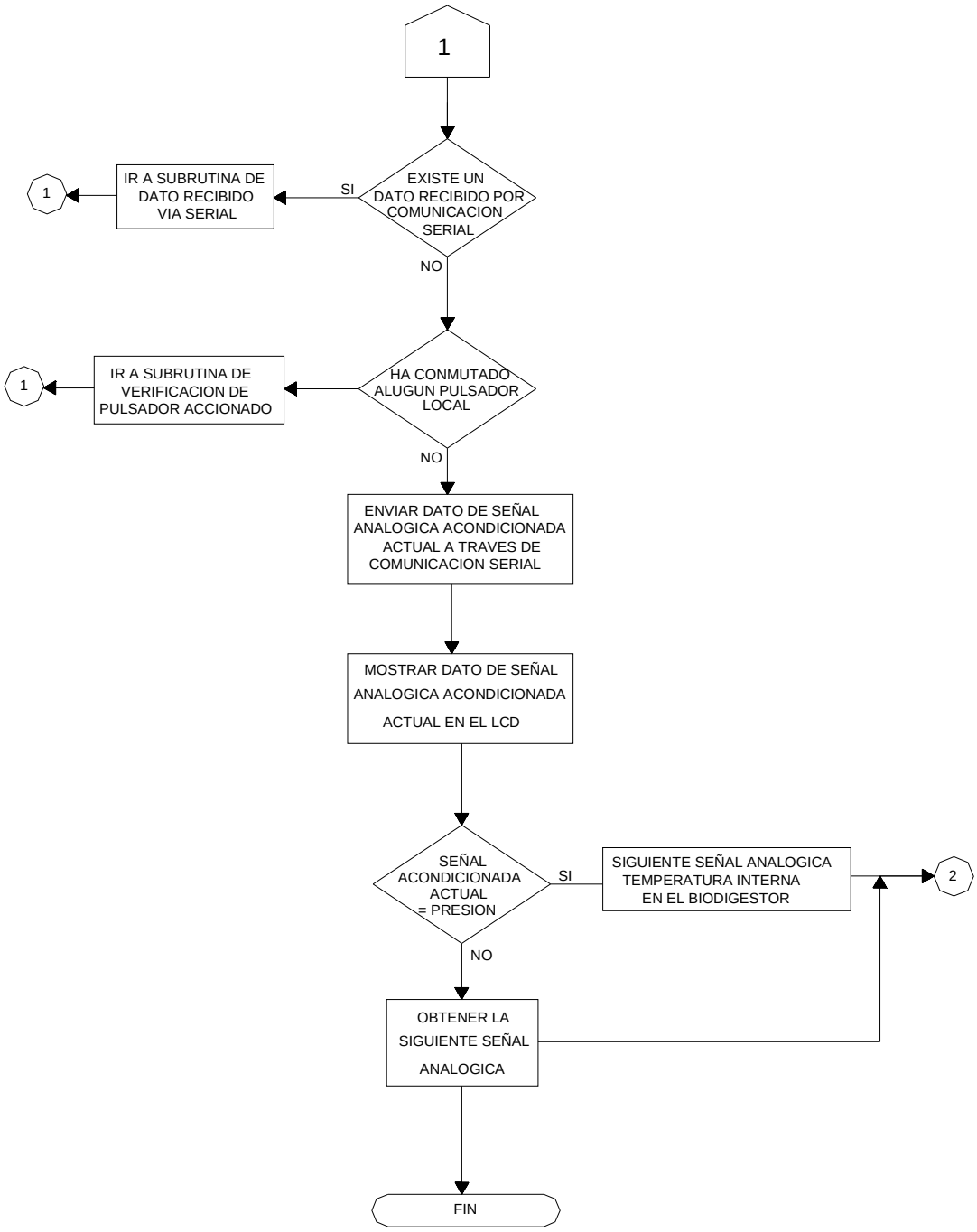
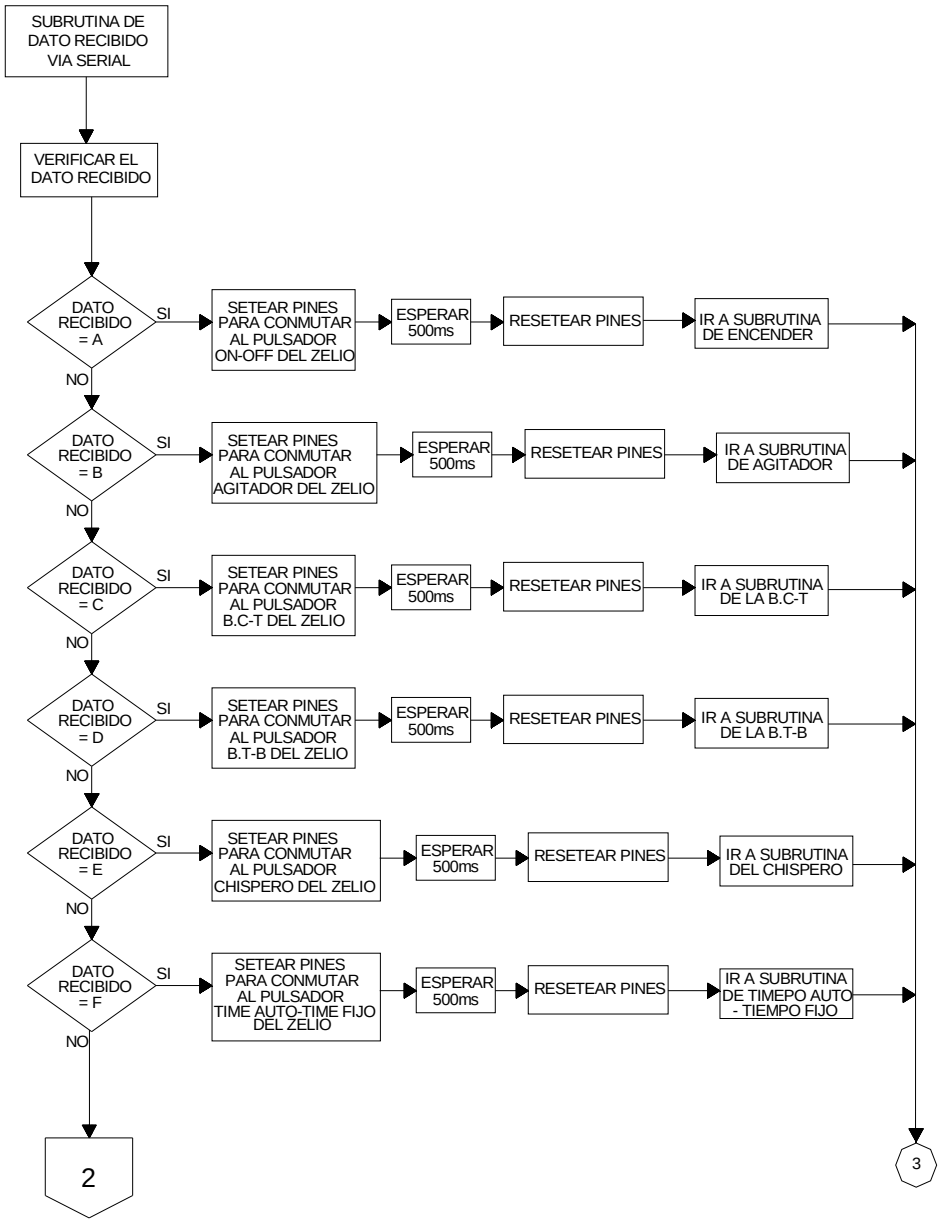


Figura 3.3 Subrutina 1


SUBRUTINA DE DATO RECIBIDO VIA SERIAL
VERIFICAR EL DATO RECIBIDO
DATO RECIBIDO = A
SI
SETEAR PINES PARA CONMUTAR AL PULSADOR ON-OFF DEL ZELIO
ESPERAR 500ms
RESETEAR PINES
IR A SUBRUTINA DE ENCENDER
NO
DATO RECIBIDO = B
SI
SETEAR PINES PARA CONMUTAR AL PULSADOR AGITADOR DEL ZELIO
ESPERAR 500ms
RESETEAR PINES
IR A SUBRUTINA DE AGITADOR
NO
DATO RECIBIDO = C
SI
SETEAR PINES PARA CONMUTAR AL PULSADOR B.C-T DEL ZELIO
ESPERAR 500ms
RESETEAR PINES
IR A SUBRUTINA DE LA B.C-T
NO
DATO RECIBIDO = D
SI
SETEAR PINES PARA CONMUTAR AL PULSADOR B.T-B DEL ZELIO
ESPERAR 500ms
RESETEAR PINES
IR A SUBRUTINA DE LA B.T-B
NO
DATO RECIBIDO = E
SI
SETEAR PINES PARA CONMUTAR AL PULSADOR CHISPERO DEL ZELIO
ESPERAR 500ms
RESETEAR PINES
IR A SUBRUTINA DEL CHISPERO
NO
DATO RECIBIDO = F
SI
SETEAR PINES PARA CONMUTAR AL PULSADOR TIME AUTO-TIME FIJO DEL ZELIO
ESPERAR 500ms
RESETEAR PINES
IR A SUBRUTINA DE TIMEPO AUTO - TIEMPO FIJO
NO
2
3

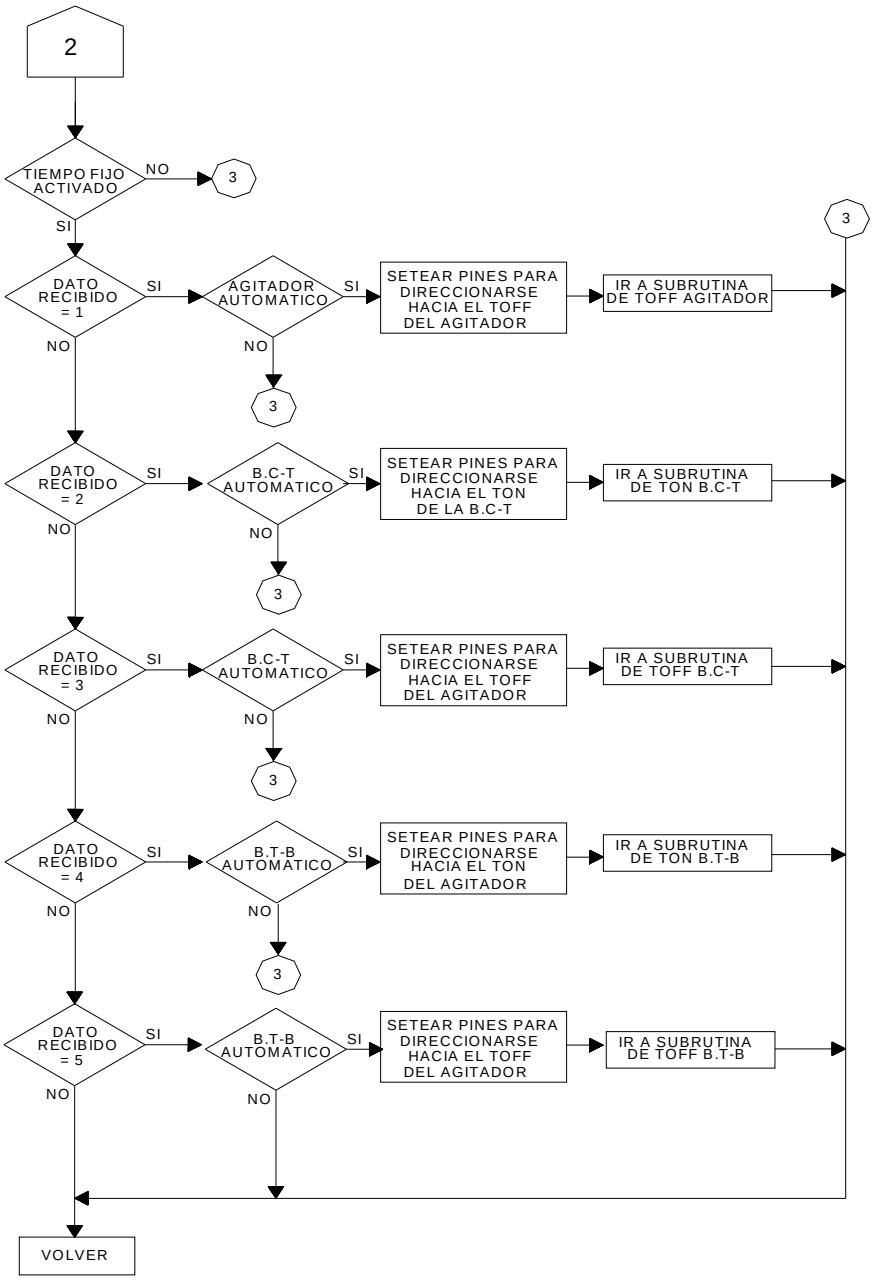


Figura 3.4 Subrutina 2

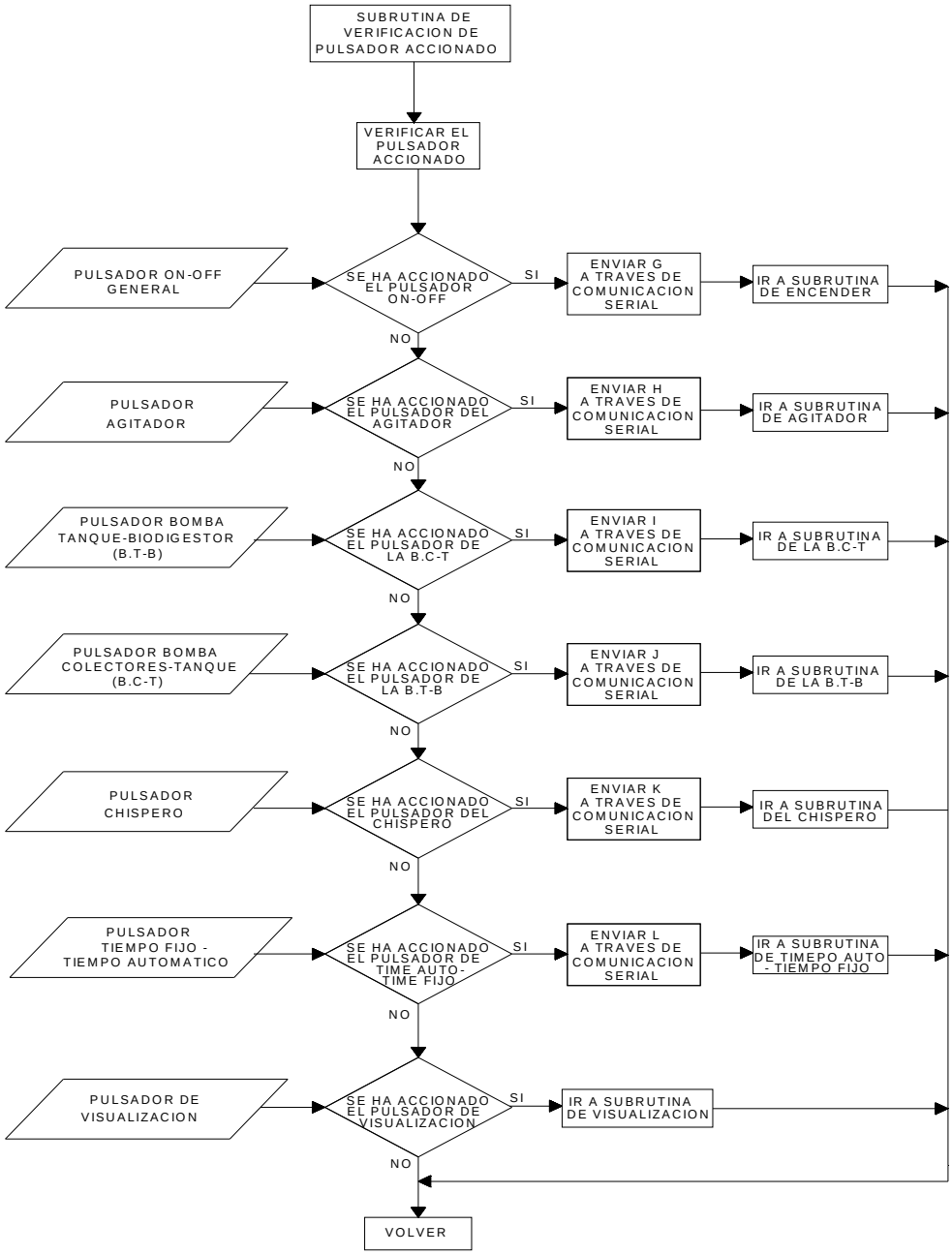
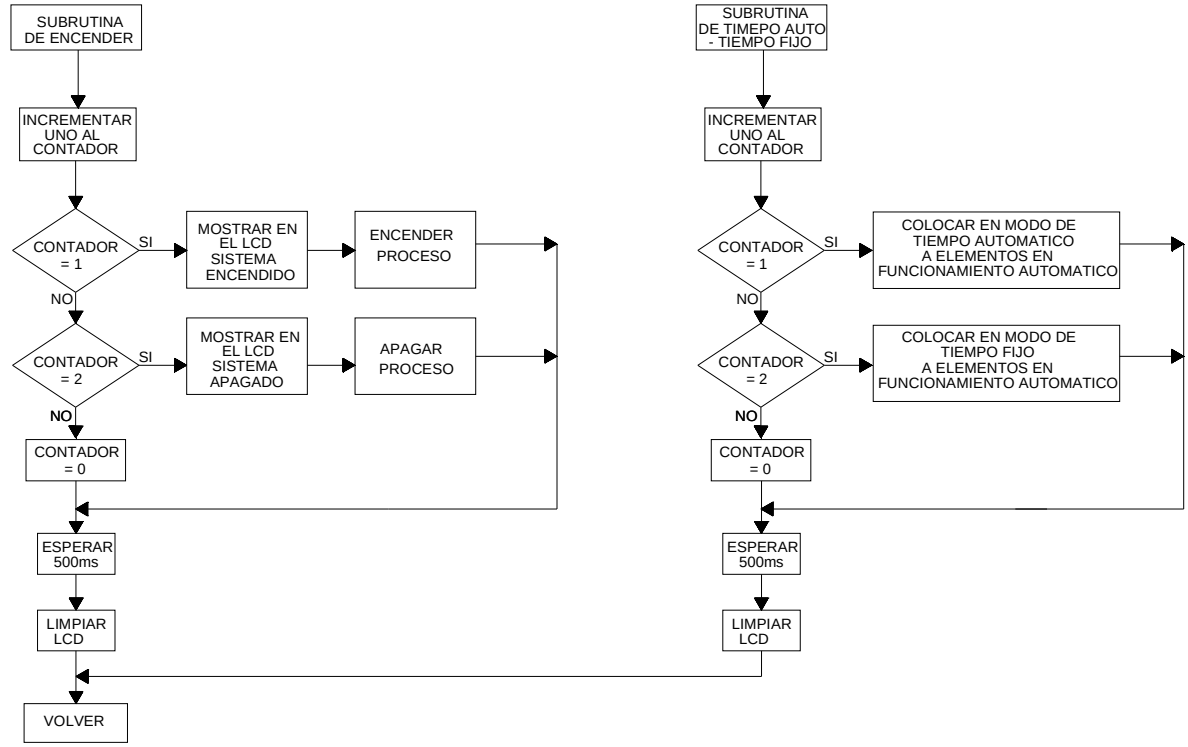
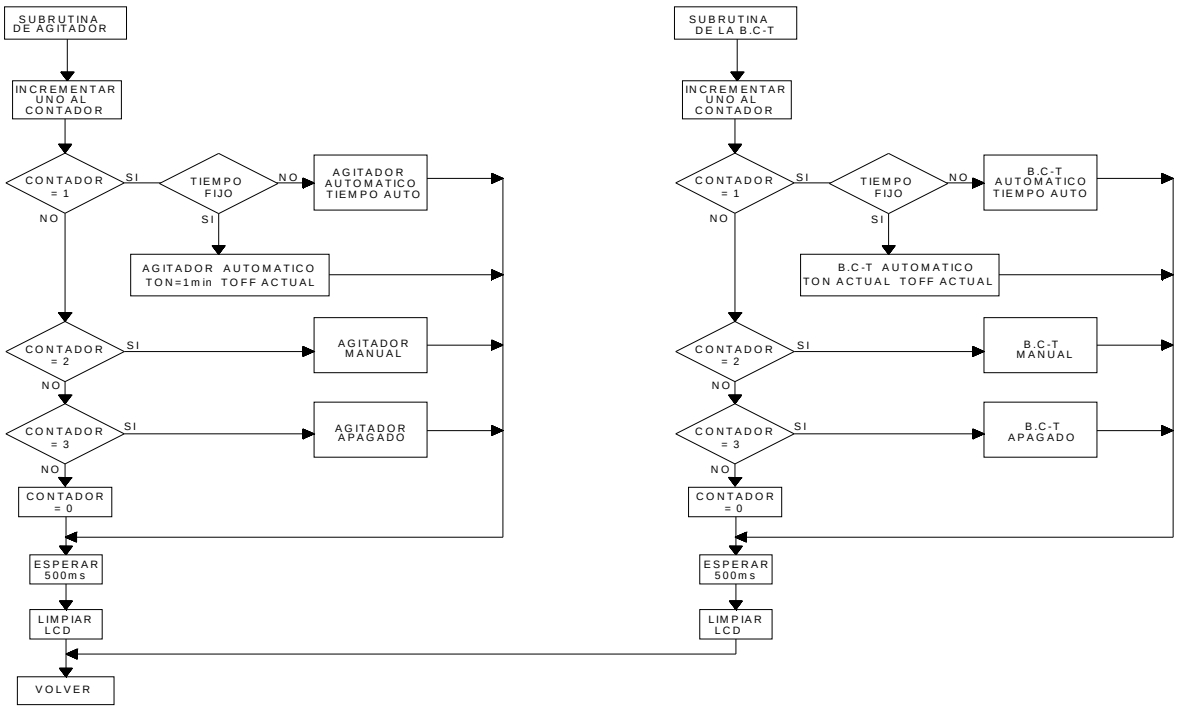


Figura 3.5 Subrutina 3


SUBRUTINA DE ENCENDER
INCREMENTAR UNO AL CONTADOR
CONTADOR = 1
SI
MOSTRAR EN EL LCD SISTEMA ENCENDIDO
ENCENDER PROCESO
NO
CONTADOR = 2
SI
MOSTRAR EN EL LCD SISTEMA APAGADO
APAGAR PROCESO
NO
CONTADOR = 0
ESPERAR 500ms
LIMPIAR LCD
VOLVER
SUBRUTINA DE TIMEPO AUTO - TIEMPO FIJO
INCREMENTAR UNO AL CONTADOR
CONTADOR = 1
SI
COLOCAR EN MODO DE TIEMPO AUTOMATICO A ELEMENTOS EN FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO
NO
CONTADOR = 2
SI
COLOCAR EN MODO DE TIEMPO FIJO A ELEMENTOS EN FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO
NO
CONTADOR = 0
ESPERAR 500ms
LIMPIAR LCD


SUBRUTINA DE AGITADOR
INCREMENTAR UNO AL CONTADOR
CONTADOR = 1
SI
TIEMPO FIJO
NO
AGITADOR AUTOMATICO TIEMPO AUTO
SI
AGITADOR AUTOMATICO TON=1min TOFF ACTUAL
NO
CONTADOR = 2
SI
AGITADOR MANUAL
NO
CONTADOR = 3
SI
AGITADOR APAGADO
NO
CONTADOR = 0
ESPERAR 500ms
LIMPIAR LCD
VOLVER
SUBRUTINA DE LA B.C-T
INCREMENTAR UNO AL CONTADOR
CONTADOR = 1
SI
TIEMPO FIJO
NO
B.C-T AUTOMATICO TIEMPO AUTO
SI
B.C-T AUTOMATICO TON ACTUAL TOFF ACTUAL
NO
CONTADOR = 2
SI
B.C-T MANUAL
NO
CONTADOR = 3
SI
B.C-T APAGADO
NO
CONTADOR = 0
ESPERAR 500ms
LIMPIAR LCD

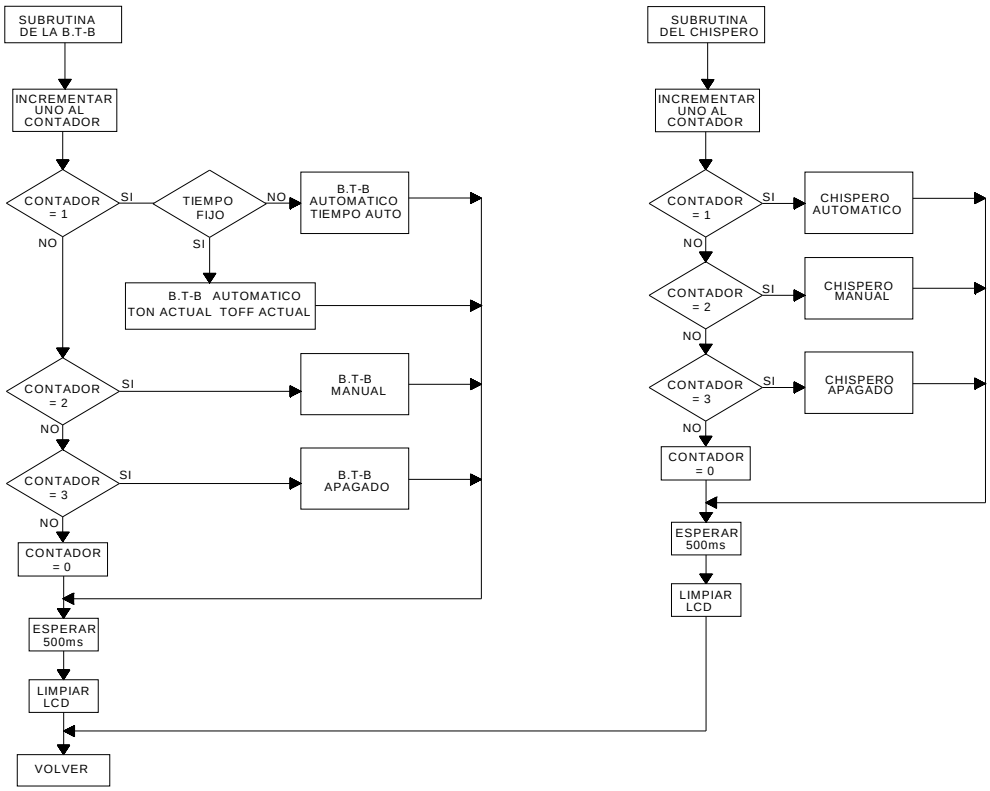


Figura 3.6 Subrutina 4

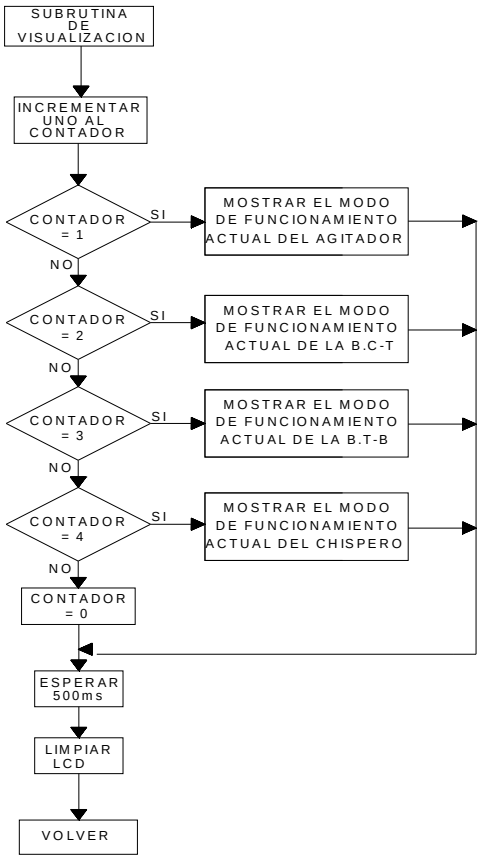


Figura 3.7 Subrutina 5

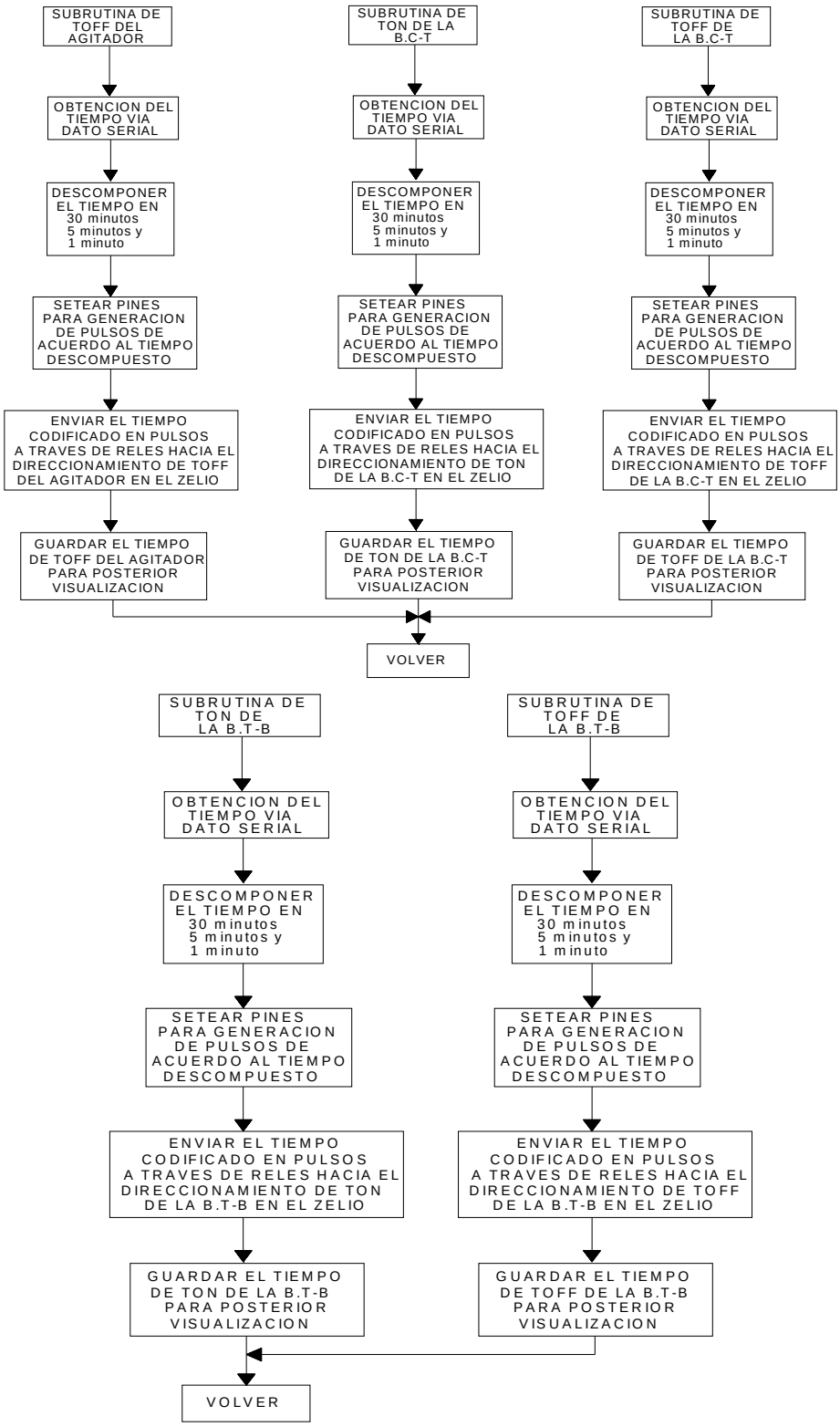


Figura 3.8 Subrutina 6

3.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC ZELIO

El programa desarrollado y cargado en la memoria del PLC, lo habilita a éste para cumplir, entre otras, las siguientes funciones:

- Controlar la operación del agitador, de las bombas Colectores-Tanque y Tanque-Biodigestor, y chispero en modo manual y automático
- Resolver los algoritmos de control para mantener la temperatura dentro del biodigestor en el valor más alto posible, siempre dependiendo del valor de la temperatura ambiente, y conservar la presión por debajo del valor máximo.
- Escalar las señales de los sensores de temperatura y presión a unidades de ingeniería.
- Desplegar los valores de temperatura de los cuatro sensores que ingresan al PLC, en el display que éste tiene incorporado.
- Enviar los datos al microcontrolador del estado de funcionamiento de los equipos a través del estado de sus salidas tipo relé.
- Configurar el tiempo de funcionamiento de los equipos según los pulsos enviados desde el microcontrolador.

3.2.1. ZELIO SOFT

Zelio Soft es un software propietario utilizado para la edición y carga del programa en el PLC Zelio.

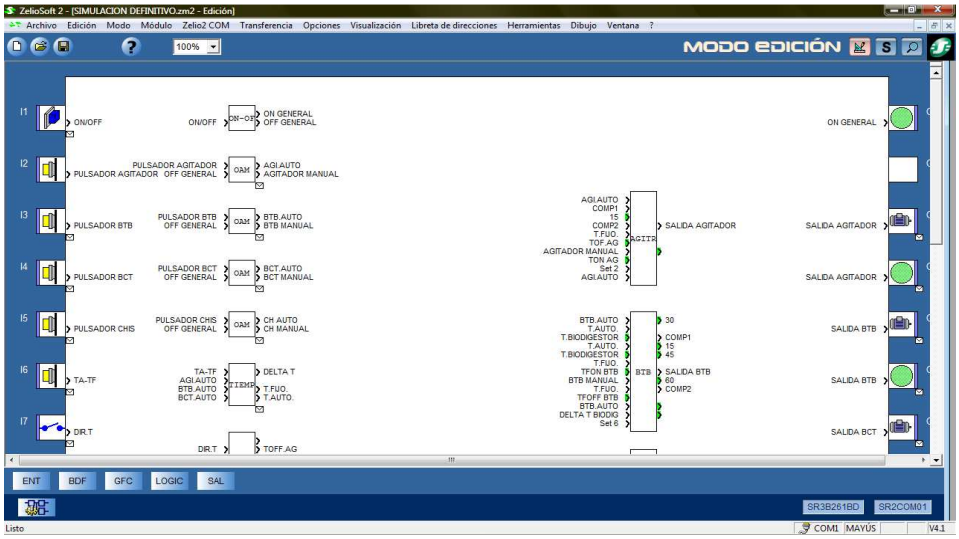


Figura 3.9 Pantalla de edición de Zelio Soft

En la figura 3.9 se muestra una pantalla de la edición del programa. El lenguaje de programación del PLC Zelio es FBD.

3.2.2 DIAGRAMAS DE FLUJO

De igual manera que con el microcontrolador, el programa del PLC se ha dividido en varias secciones de programa para su mayor compresión.
Las secciones de programa (subrutinas) son las siguientes:

- PLC 1: Se encarga de la inicialización del PLC y la comprobación de las entradas digitales y análogas del mismo. En la figura 3.10 se muestra el diagrama de flujo.
- PLC 2: Determina los modos de operación del chispero de acuerdo al pulsador local o de la HMI luego de validar la señal de entrada recibida del sensor de presión. En la figura 3.11 se muestra el diagrama de flujo. Para la operación de las bombas se realizó el mismo algoritmo.
- PLC 3: Selecciona si se trabaja con tiempos fijos o automáticos y permite ingresar los tiempos mediante los pulsos recibidos del microcontrolador. En la figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo.
- PLC 4: Realiza el funcionamiento en modo automático. En la figura 3.13 se muestra el diagrama de flujo.
- PLC 5: Maneja las entradas digitales, que son los pulsos del microcontrolador. En la figura 3.14 se muestra el diagrama de flujo.
- PLC 6: Habilitar los timer de los equipos. En la figura 3.15 se muestra el diagrama de flujo.

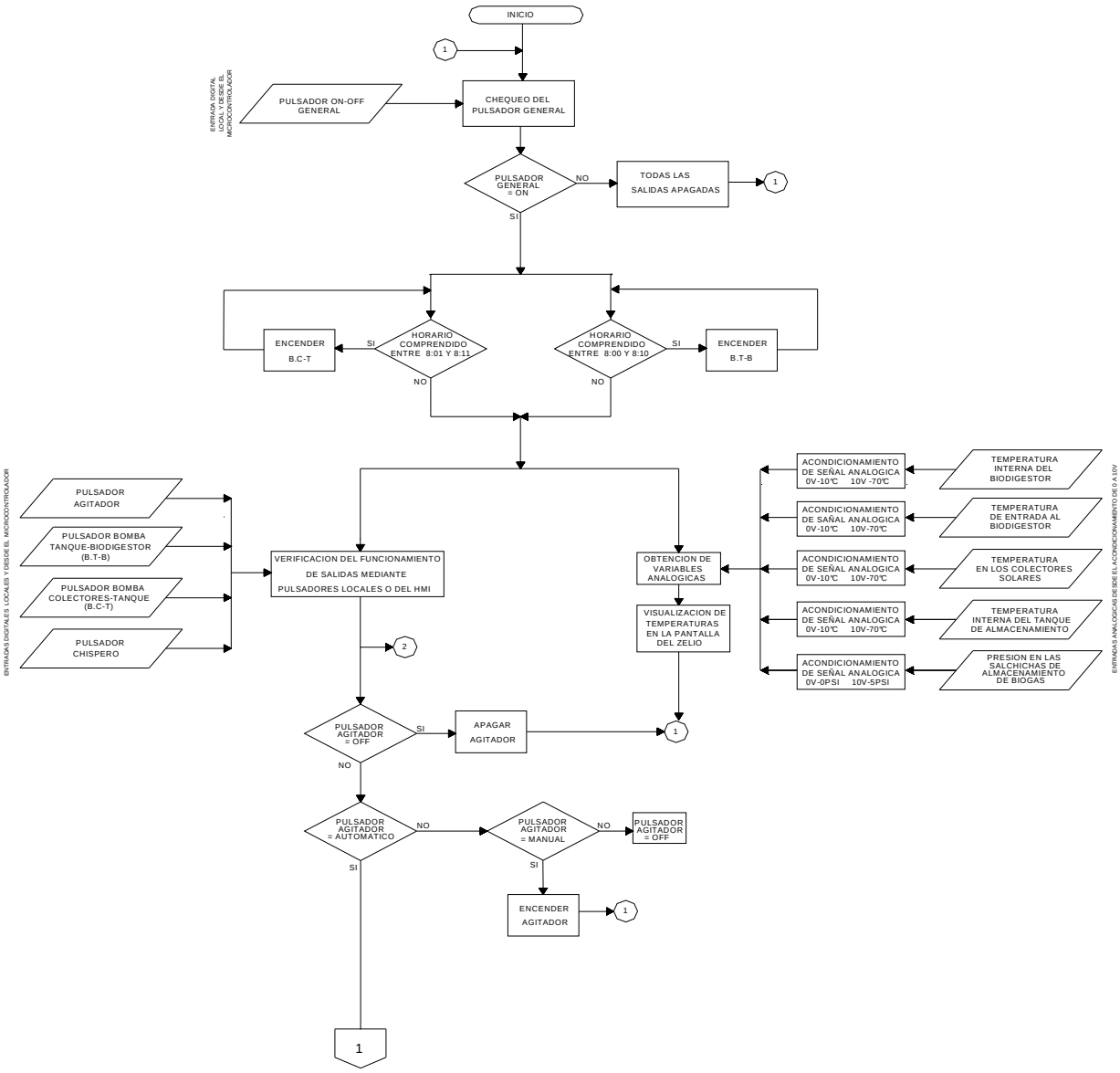


Figura 3.10 Diagrama de flujo PLC 1

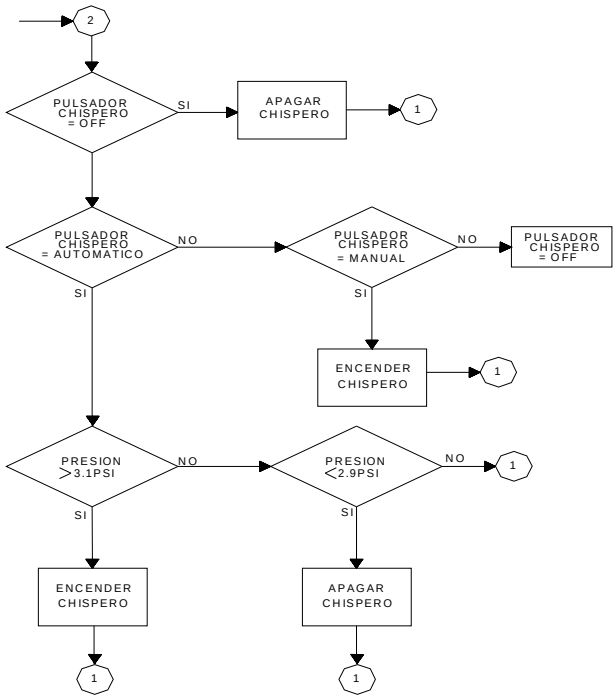


Figura 3.11 Diagrama de flujo PLC 2

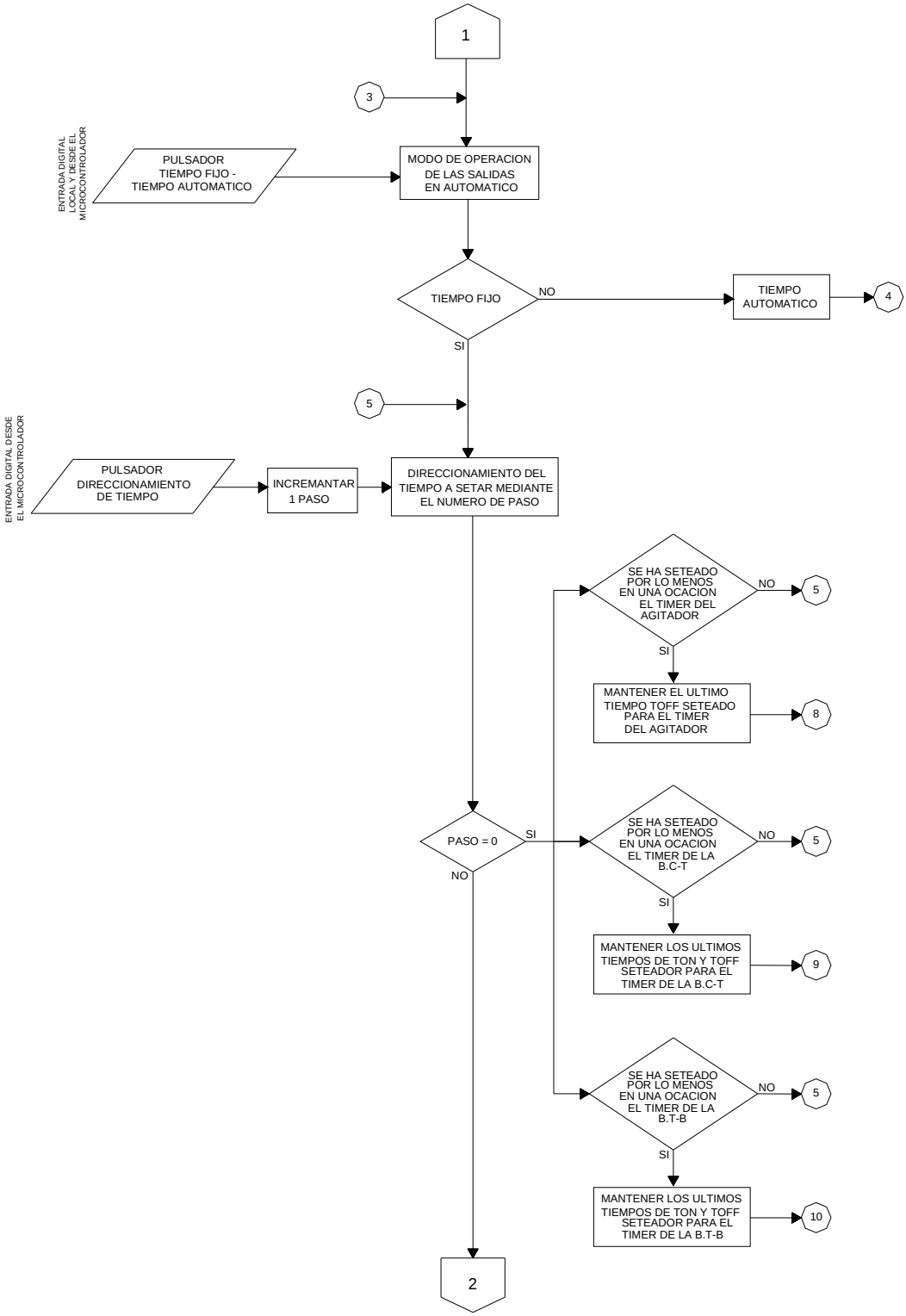


Figura 3.12 Diagrama de flujo PLC 3

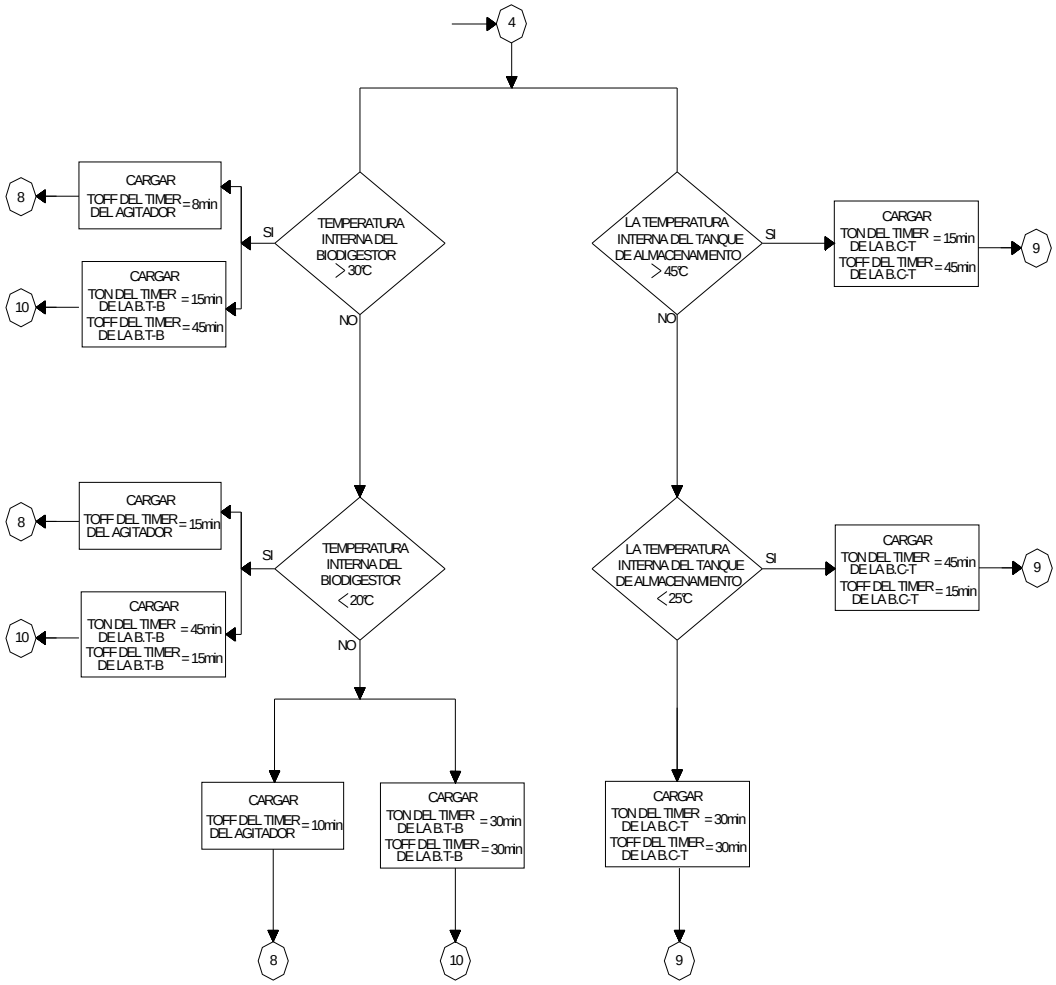


Figura 3.13 Diagrama de flujo PLC 4

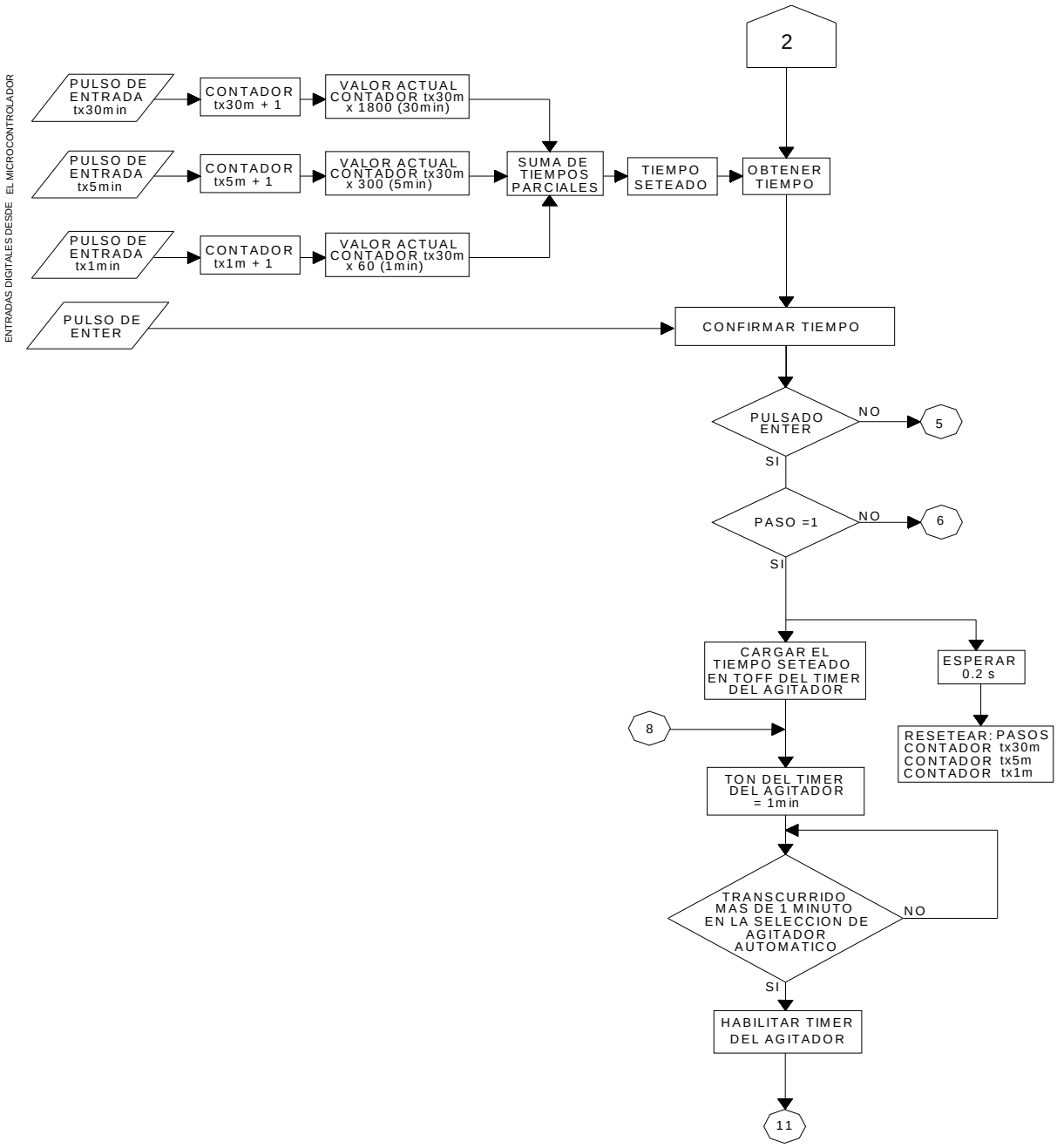
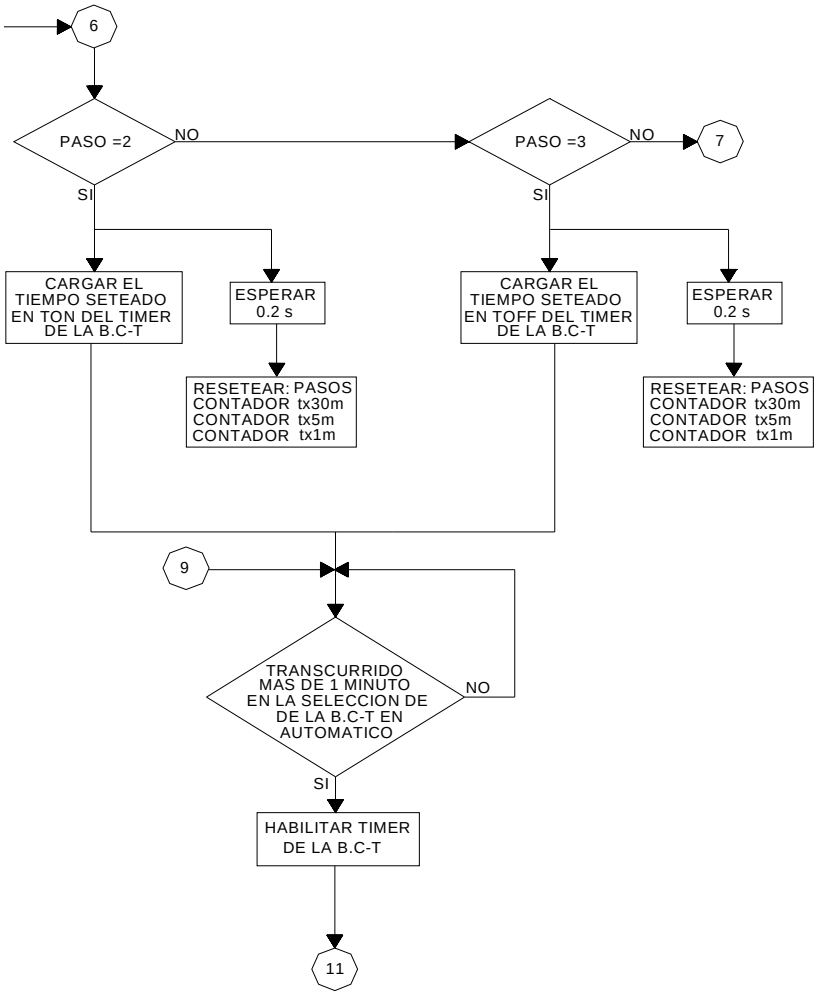


Figura 3.14 Diagrama de flujo PLC 5


6
PASO =2
NO
PASO =3
NO
7
SI
SI
CARGAR EL TIEMPO SETEADO EN TON DEL TIMER DE LA B.C-T
ESPERAR 0.2 s
RESETEAR: PASOS CONTADOR tx30m CONTADOR tx5m CONTADOR tx1m
CARGAR EL TIEMPO SETEADO EN TOFF DEL TIMER DE LA B.C-T
ESPERAR 0.2 s
RESETEAR: PASOS CONTADOR tx30m CONTADOR tx5m CONTADOR tx1m
9
TRANSCURRIDO MAS DE 1 MINUTO EN LA SELECCION DE DE LA B.C-T EN AUTOMATICO
NO
SI
HABILITAR TIMER DE LA B.C-T
11

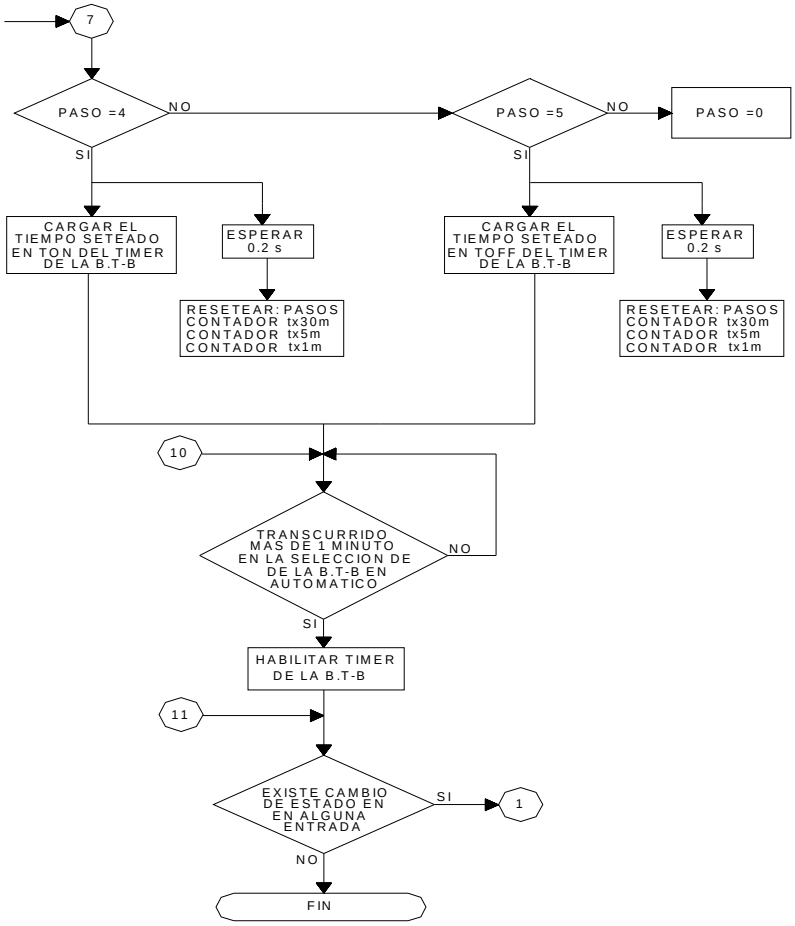


Figura 3.15 Diagrama de flujo PLC 6

3.3 LA INTERFACE HOMBRE- MÁQUINA (HMI)

La funcionalidad que tiene la HMI dentro del sistema de control y automatización de la planta de biogás, es la siguiente:

- Registro de las variables del proceso: Las temperaturas en los puntos de la planta y la presión serán constantemente monitoreadas y registradas.
- La interfaz del operador cuenta con las siguientes pantallas de visualización:
    - Mandos remotos para el encendido/apagado de los equipos.
    - Cambio de tiempos de funcionamiento.
    - Monitoreo de temperaturas y presión.

- Desde la HMI el operador podrá:
    - Seleccionar el modo de operación: tiempo fijo, tiempo automático, encendido o apagado, y control manual de los elementos desde el panel de control.
    - Arrancar o parar los motores controlados.
    - Observar gráficos en tiempo real para visualizar el comportamiento de las variables.
    - Modificar tiempos de operación de las bombas y del agitador.

3.3.1 LABVIEW

Para la configuración de la HMI se utilizó como plataforma de software LabView, ya que cuenta con una interfaz grafica muy amigable y de fácil desarrollo, incluye funciones para la comunicación serial con microcontroladores; y además, porque ya se la había utilizado anteriormente.

LabView es un software producido por National Instruments, que brinda un importante entorno gráfico desarrollado especialmente para aplicaciones con adquisiciones de datos, análisis de medidas y presentación de datos, ofreciendo una gran facilidad de programación en un lenguaje gráfico. Se utilizó la versión 8.6, cuya pantalla de presentación se presenta en la figura 3.16.

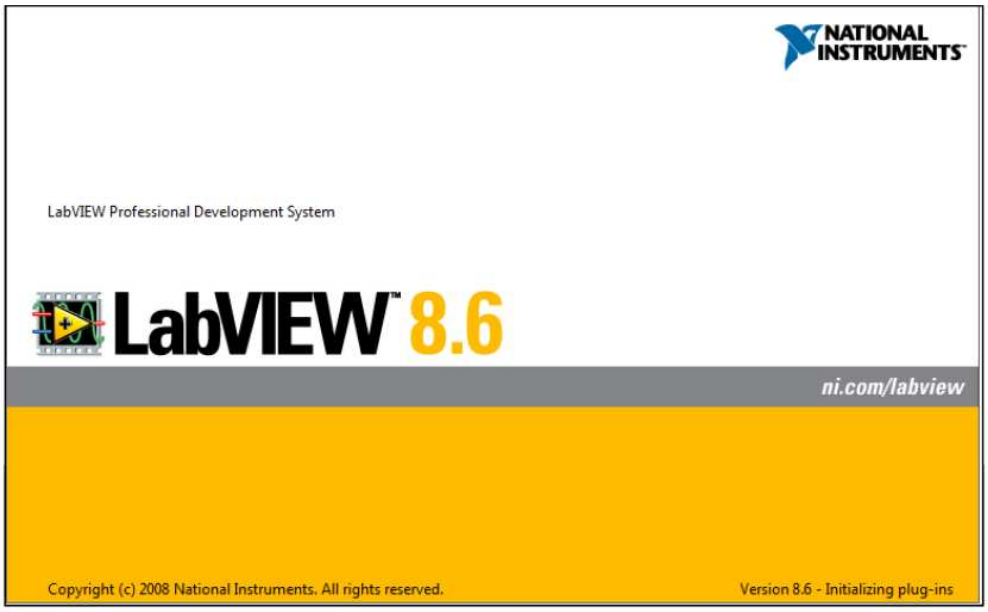


Figura 3.16 LabView 8.6

3.3.2 FUNCIONAMIENTO

En la figura 3.17 se puede observar la pantalla de presentación del sistema de automatización de la planta de biogás del JBQ

Figura 3.17 Pantalla de presentación HMI

En la figura 3.18 se muestra la pantalla principal del sistema.

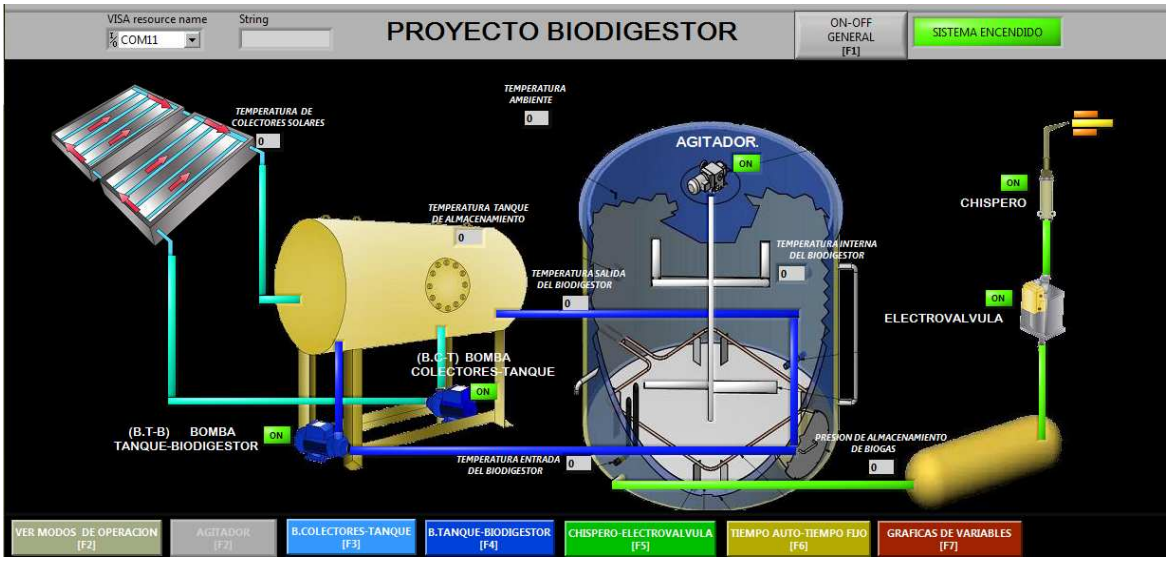


Figura 3.18 Controles de la HMI

La HMI recibe los datos enviados desde el microcontrolador, lo que permite observar el estado (ON-OFF) real de los equipos; así por ejemplo, si la bomba C-

T se encuentra prendida, se leerá el mensaje de encendida, así la bomba no haya sida prendida desde el computador.

En la figura 3.19 se muestra la pantalla en la que se puede seleccionar el equipo que deseamos controlar.

Figura 3.19 Controles de operación de la HMI

En la figura 3.20 podemos observar las pantallas que nos permiten cambiar el modo de funcionamiento, entre tiempo automático y tiempo fijo.

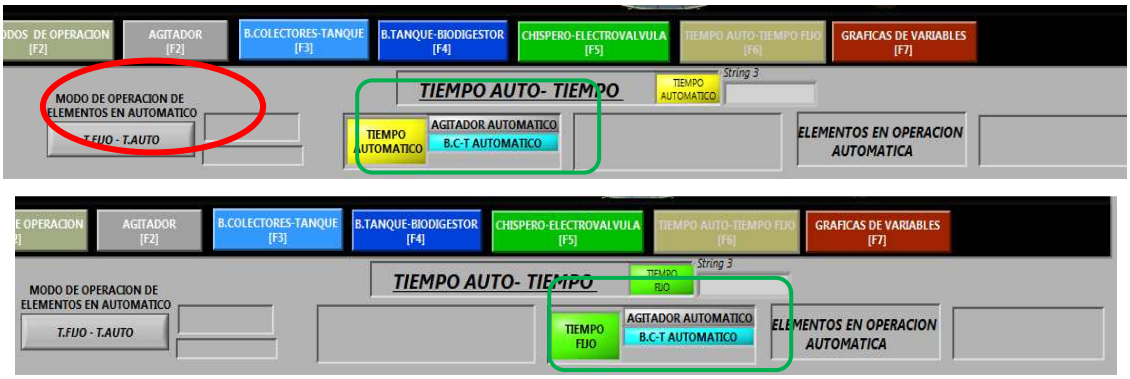


Figura 3.20 Operación Tiempo fijo/automático

En la figura 3.21 se muestra la pantalla que permite cambiar los tiempos de funcionamiento de los equipos.

Figura 3.21 Pantalla para cambiar los tiempos de funcionamiento

En la figura 3.22 se muestra la pantalla de visualización de las variables, los indicadores se encuentran en los puntos de ubicación real de los sensores.

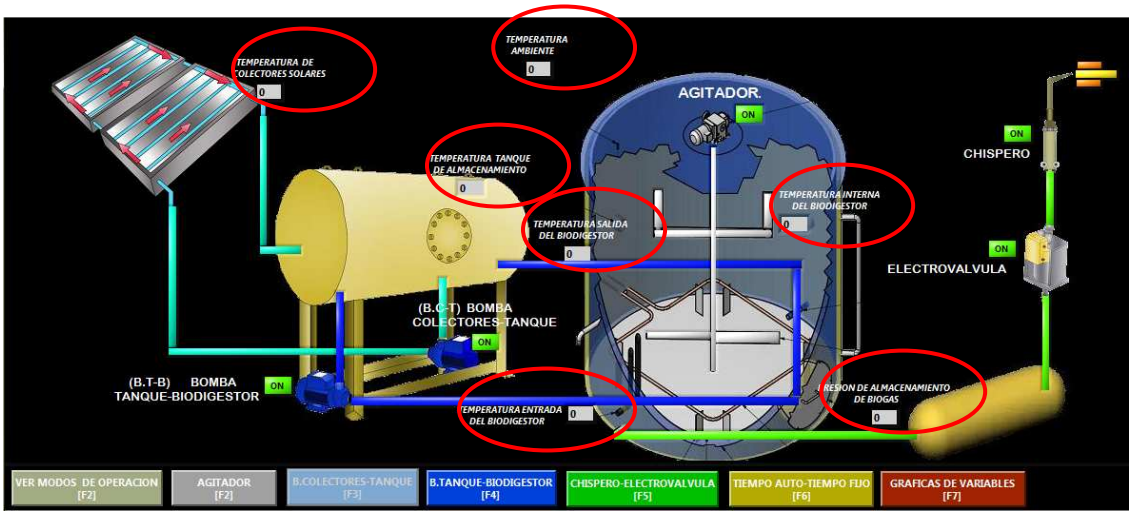


Figura 3.22 Pantalla de visualización

El sistema cuenta con la opción para desplegar gráficas del comportamiento de las variables en función del tiempo. En la figura 3.23 podemos observar la pantalla con las gráficas de tendencias en tiempo real de temperatura y de la presión.

Figura 3.23 Gráficas en tiempo real del comportamiento de las variables

Además, el sistema genera automáticamente 3 archivos en Excel, que se los dividió según la relación de las variables, así:

1. “Bomba C-T.xls” que contiene: fecha, hora, temperatura colectores, temperatura tanque y estado de la bomba colectores-tanque.

2. “Bomba T-B.xls” que contiene: fecha, hora, temperatura de entrada al biodigestor, temperatura interna del biodigestor y estado de la bomba tanque-biodigestor.
3. “presion.xls” que contiene: fecha, hora, temperatura de salida del biodigestor, temperatura del ambiente, presión, estado del chispero y estado del agitador.

En la figura 3.24 se muestra un ejemplo del archivo generado en el documento “Bomba T-B”.

6	sábado, 14 de mayo de 2011	20:24:02	Temp. Ent. Biodigestor: 0,000000	Temp. Int. Biodigestor: 0,000000	Bomba T-B: Encendida
7	sábado, 14 de mayo de 2011	20:24:03	Temp. Ent. Biodigestor: 0,000000	Temp. Int. Biodigestor: 0,000000	Bomba T-B: Encendida
8	sábado, 14 de mayo de 2011	20:24:03	Temp. Ent. Biodigestor: 0,000000	Temp. Int. Biodigestor: 0,000000	Bomba T-B: Encendida

Figura 3.24 Archivo de Excel

3.4 COMUNICACIÓN INALAMBRICA

El módulo de comunicación bluetooth del computador viene con un propio software, el cual se muestra en la figura 3.25

Figura 3.25 Pantalla de configuración del módulo bluetooth

El programa nos permite elegir la función que deseamos que realice el dispositivo que se encuentra conectado el en microcontrolador, en este caso se escoge la pestaña superior para comunicación serial. Los dispositivos automáticamente se emparejan y se empieza a transmitir los datos.

Es muy importante realizar la configuración correcta del COM en el HMI.

3.5 PROTEUS

Proteus es el software que se utilizó para la simulación de todos los circuitos. Este programa viene con un utilitario incluido para el diseño de los circuitos electrónicos y poder construir las placas de control.

Este software proporciona las herramientas necesarias y contiene una gran variedad de elementos electrónicos. En las figuras 3.26 y 3.27 se muestran las pantallas iniciales tanto del ISIS y del ARES que componen el PROTEUS.

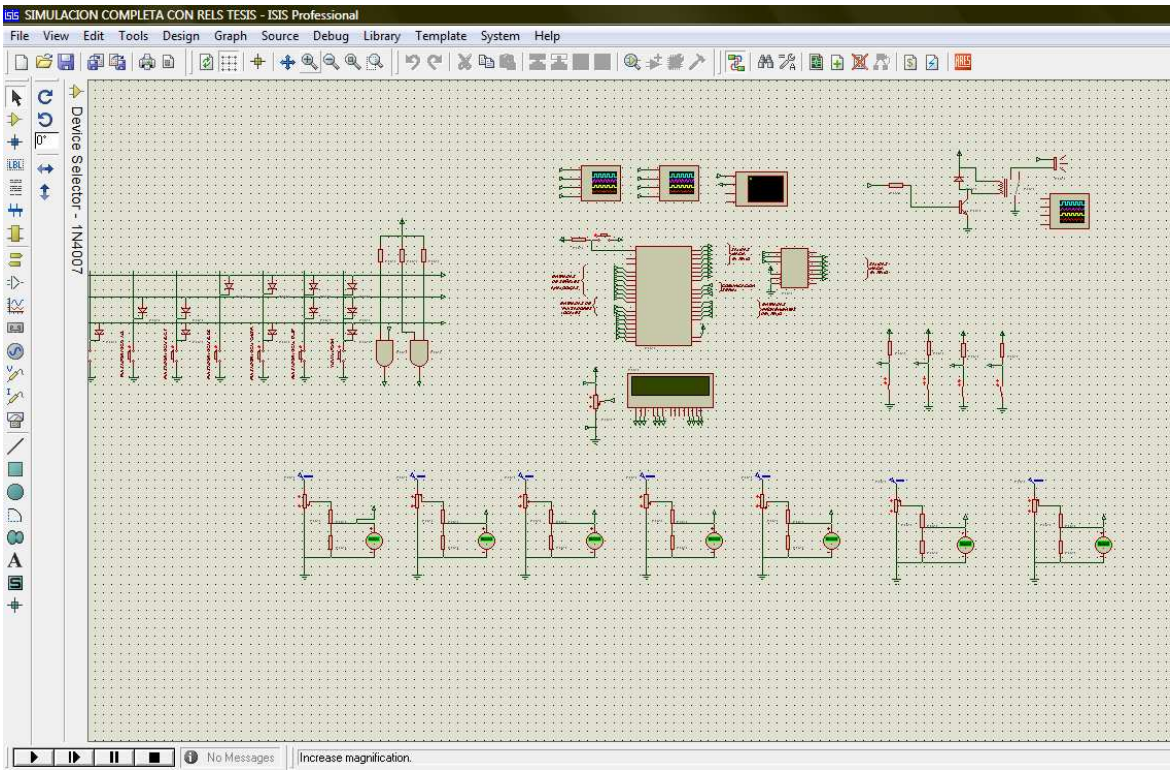


Figura 3.26 ISIS

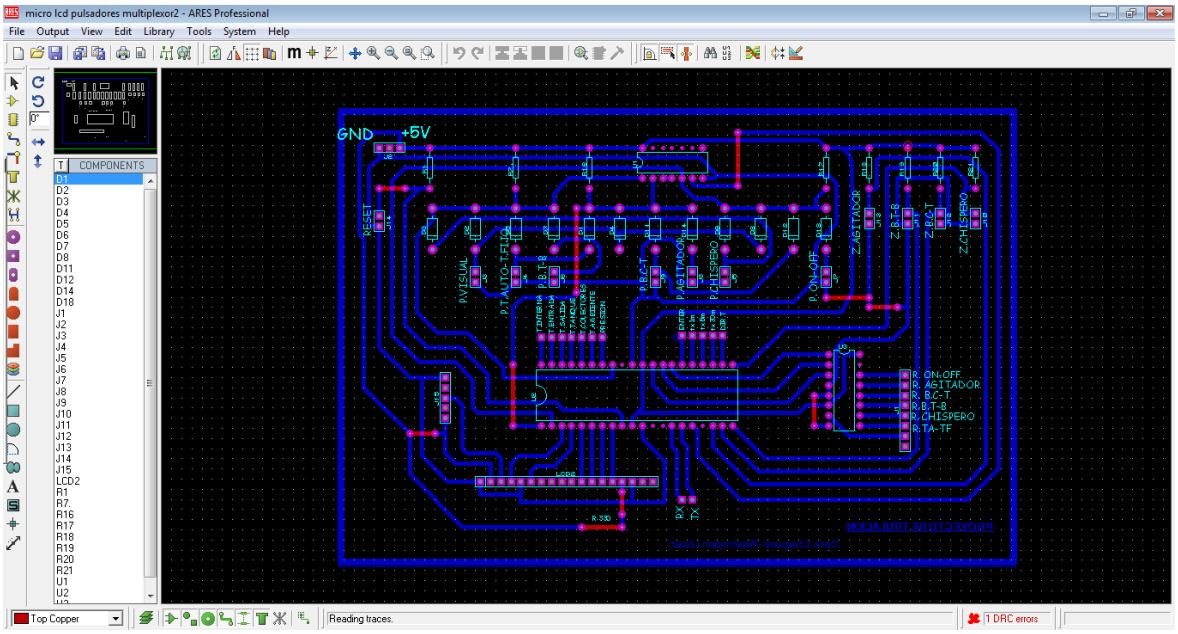


Figura 3.27 ARES

CAPÍTULO 4
PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describen las pruebas realizadas en el sistema implementado, con el objeto de verificar su correcta operación y realizar los ajustes y cambios que sean necesarios para corregir cualquier error en la funcionalidad del mismo.
Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Pruebas previas para obtener las características de los sensores de temperatura
- Pruebas de funcionamiento de los siguientes subsistemas:
  - Circuitos de acondicionamiento de señal
  - Controlador lógico programable – PLC
  - Microcontrolador – HMI - Comunicación inalámbrica
- Prueba de funcionamiento y operación de todo el sistema integrado
- Prueba de producción de la planta

4.1 PRUEBA DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

- *Objetivo:* Obtener experimentalmente la característica Resistencia Vs Temperatura y calcular el coeficiente promedio de resistividad (α) de los sensores de temperatura (PT 100), para utilizarlo como dato de diseño de los circuitos de acondicionamiento.

- *Método de prueba:* Se sometió al PT100 a una fuente de calor y se realizaron mediciones de temperatura y resistencia.

- *Equipo utilizado:* Varios PT 100, fuente de calor, medidor digital de temperatura, multímetro.

- *Valores experimentales obtenidos:* Se tabulan en la tabla 4.1.

Temperatura ºC	Rf (Ω)	α
13,7	106,6	0,00482
15,5	107,4	0,00477
18	108,1	0,0045
19	108,4	0,00442
20	108,6	0,0043
20,3	108,9	0,00438
22,6	110,6	0,00469
23,8	111	0,00462
26,4	111,5	0,00436
28	112	0,00429
29,5	112,6	0,00427
31,2	113,1	0,0042
32,1	113,6	0,00424
33	114	0,00424
34	114,3	0,00421
35	114,8	0,00423
36	115	0,00417
37	115,5	0,00419
38	115,8	0,00416
39	116,3	0,00418
40	117	0,00425
42	118,1	0,00431
43	118,5	0,0043
44,1	118,9	0,00429
45	119,2	0,00427
46	119,6	0,00426
47	120	0,00426
48	120,4	0,00425
49	120,8	0,00424
49,8	121,1	0,00424
51	121,6	0,00424
52	122	0,00423
53	122,4	0,00423
54	122,9	0,00424

55	123,4	0,00425
56,2	124	0,00427
57,1	124,4	0,00427
58	125	0,00431
59	125,4	0,00431
60	125,8	0,0043
63	127,1	0,0043
64,2	127,6	0,0043
65,3	128	0,00429
66	128,4	0,0043
67	128,9	0,00431
68,5	129,6	0,00432
70	130	0,00429

Tabla 4.1 Resistencia y Temperatura del PT100

- *Coeficiente promedio de resistividad calculado (α):* 0.00429

En la figura 4.1 se muestra la grafica de los datos.

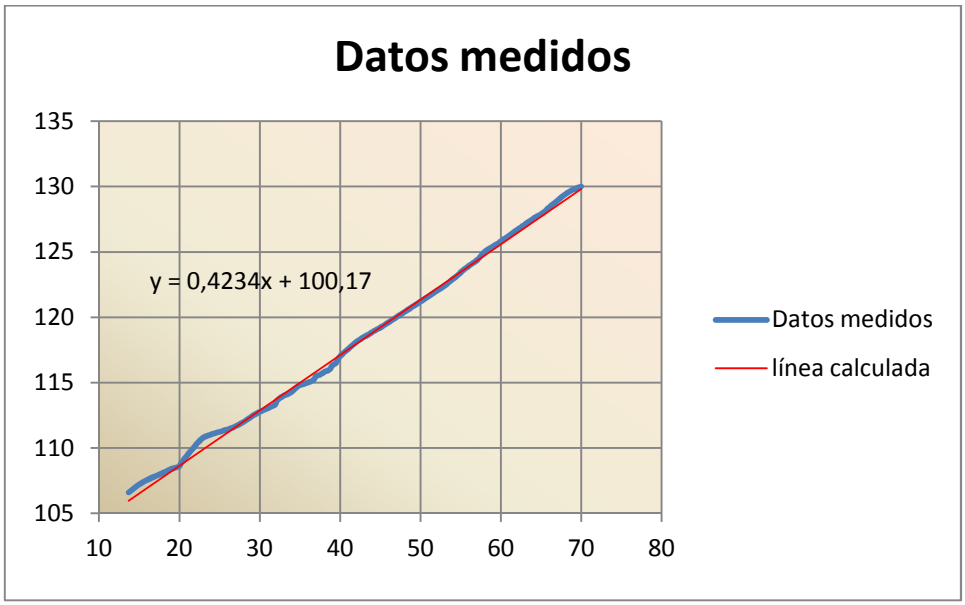


Figura 4.1 Gráfica Temperatura vs. Resistencia

4.2 PRUEBA Y CALIBRACIÓN DE LOS CIRCUITOS DE ACONDICIONAMIENTO

- *Objetivo:* Verificar que el voltaje de salida de cada circuito de acondicionamiento, corresponda, de manera proporcional, a la temperatura medida por el sensor y realizar los ajustes necesarios en la ganancia de cada amplificador.

- *Método de prueba*: Se midió el voltaje de salida de cada circuito de acondicionamiento para cada medición de temperatura.

- *Equipo utilizado:* Fuente de calor, medidor digital de temperatura, multímetro.

- *Valores experimentales obtenidos:* Se tabulan en la tabla 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7.

A continuación se presentan los datos del circuito de acondicionamiento de la temperatura ambiente (0-35 ℃).

T(℃)	V(V)
0	0
5	0,71
10	1,3
15	2,05
20	2,7
25	3,6
30	4,25
35	5,1

Tabla 4.2 Voltaje vs. Temperatura

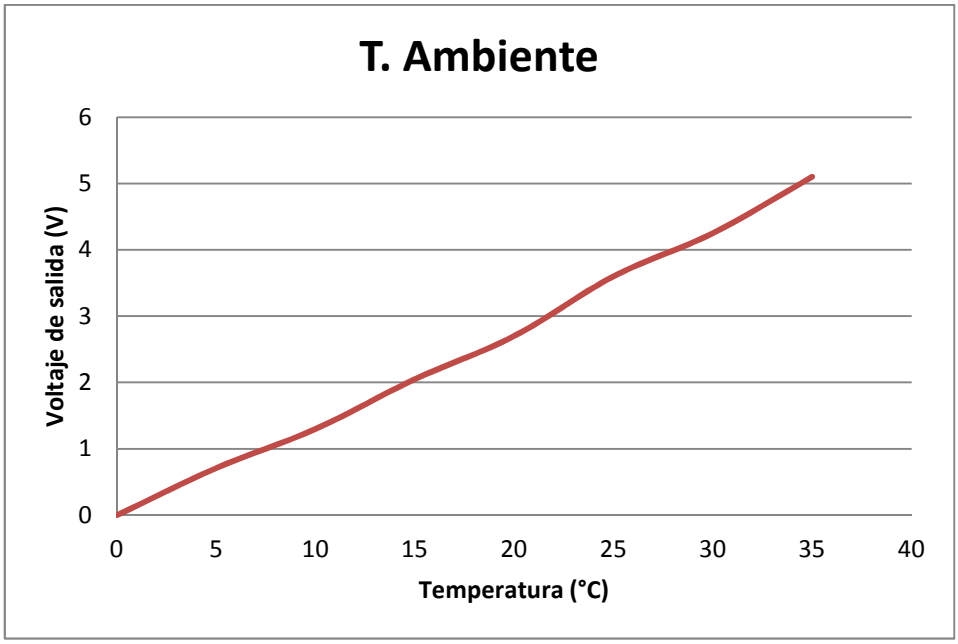


Figura 4.2 Gráfico de la tabla 4.2

A continuación se presentan los datos obtenidos en la placa de control de temperaturas comprendidas entre 10℃ - 70°C.

<u>Temperatura Interna biodigestor:</u>

T(℃)	V(V)
10	0,04
15	0,85
20	1,56
25	2,45
30	3,28
35	4,16
40	5,02
45	5,83
50	6,64
55	7,51
60	8,32
65	9,18
70	10

Tabla 4.3 Voltaje vs. Temperatura

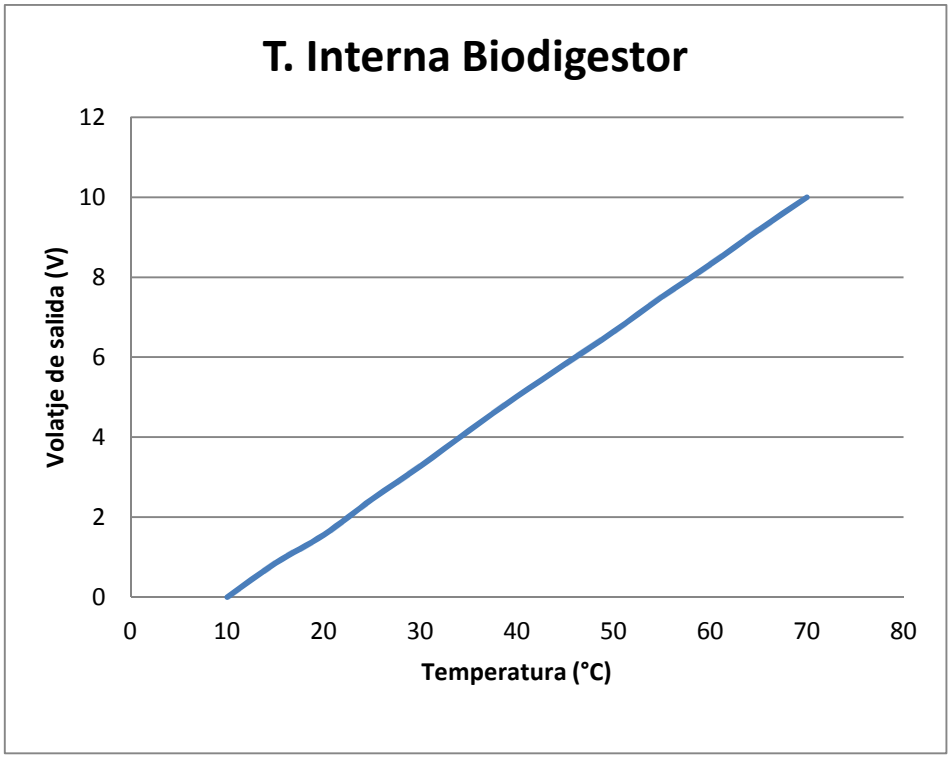


Figura 4.3 Gráfico de la tabla 4.3

<u>Temperatura Tanque de almacenamiento de agua</u>

T(℃)	V(V)
10	0
15	0,75
20	1,71
25	2,45
30	3,42
35	4,3
40	4,91
45	5,94
50	6,81
55	7,7
60	8,32
65	9,02
70	9,9

Tabla 4.4 Voltaje vs. Temperatura

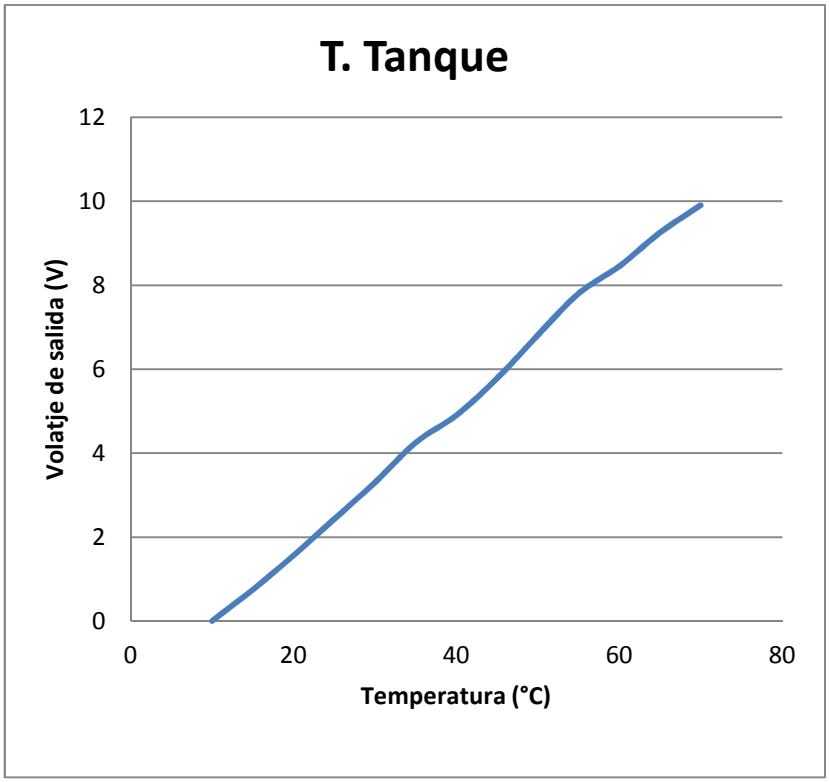


Figura 4.4 Gráfico de la tabla 4.4

<u>Temperatura Colectores solares</u>

T(℃)	V(V)
10	0,03
15	0,75
20	1,71
25	2,45
30	3,42
35	4,26
40	4,91
45	5,94
50	6,81
55	7,54
60	8,45
65	9,18
70	9,9

Tabla 4.5 Voltaje vs. Temperatura

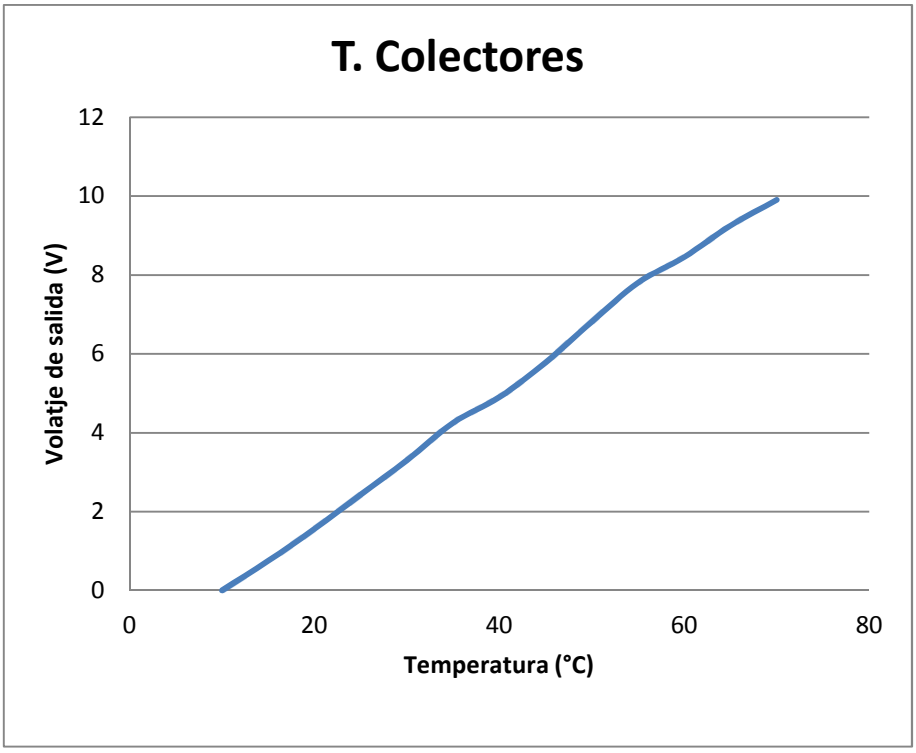


Figura 4.5 Gráfico de la tabla 4.5

<u>Temperatura Entrada Biodigestor</u>

T(℃)	V(V)
10	0
15	0,82
20	1,65
25	2,56
30	3,34
35	4,19
40	4,9
45	5,94
50	6,81
55	7,8
60	8,45
65	9,18
70	9,9

Tabla 4.6 Voltaje vs. Temperatura

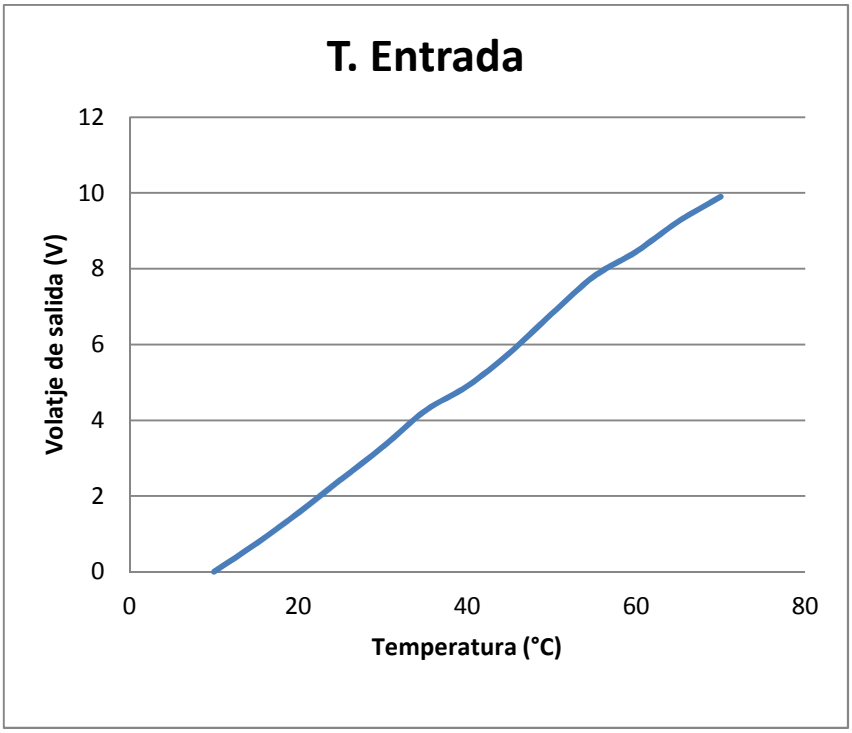


Figura 4.6 Gráfico de la tabla 4.6

Temperatura Salida Biodigestor

T(℃)	V(V)
10	0
15	0,75
20	1,56
25	2,43
30	3,3
35	4,25
40	4,9
45	5,78
50	6,81
55	7,8
60	8,45
65	9,25
70	9,9

Tabla 4.7 Voltaje vs. Temperatura

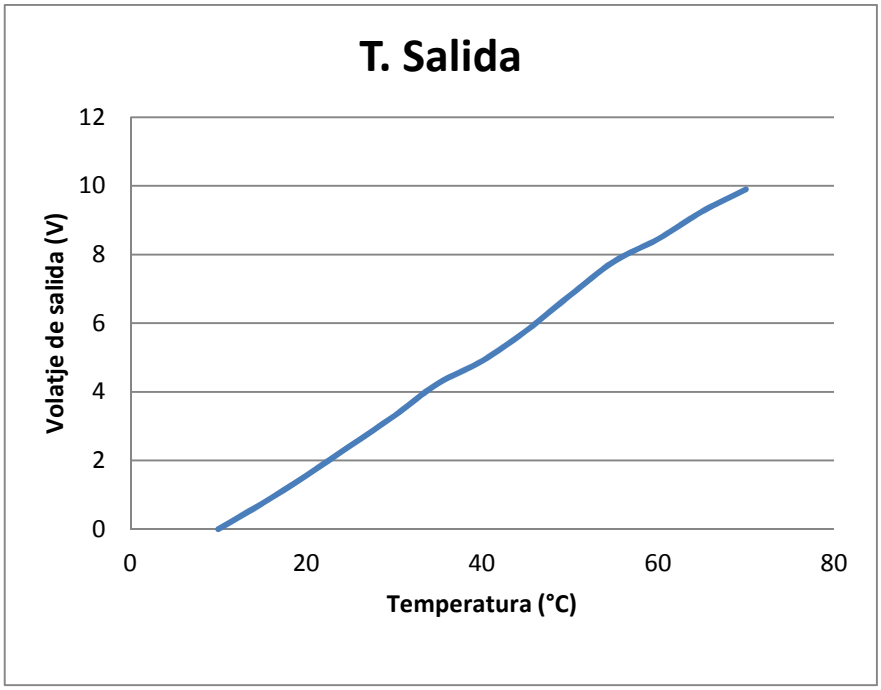


Figura 4.7 Gráfico de la tabla 4.7

- *Conclusión*: Durante la prueba fue necesario realizar ajustes en la ganancia de los amplificadores a fin de lograr el voltaje de diseño. La variación Vsalida vs Temperatura (figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7) son proporcionalmente lineales, lo que demuestra que los circuitos de acondicionamiento funcionan adecuadamente y de acuerdo a las especificaciones de diseño.

4.3 PRUEBAS EN EL PLC

- *Objetivo:* Comprobar la correcta operación del PLC y verificar que el comportamiento de las salidas del PLC esté acorde a lógica programada y al estado y valores de los dispositivos de entrada.

- *Método de prueba:* Previamente se comprobó la presencia de señal de todos los dispositivos de entrada. Mediante el software Zelio Soft se simularon cambios en el estado y valores de las entradas y se observó la respuesta de las salidas del PLC. Luego se realizaron las pruebas en las entradas y salidas del PLC Zelio obteniendo resultados iguales a la simulación.

- *Equipo y software utilizado: PLC.* Multímetro. Zelio Soft.

- *Conclusión:* Los resultados fueron totalmente satisfactorios. El programa del PLC correspondió a la lógica de control requerida para el proyecto.

4.4 PRUEBAS DEL MICROCONTROLADOR, HMI Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Las pruebas del microcontrolador y de la HMI se realizaron conjuntamente con el fin de comprobar la transferencia de datos entre ambos subsistemas por medio de la comunicación inalámbrica.

- *Objetivos:* Comprobar si el microcontrolador registra los datos enviados por la HMI, envía mensajes al LCD y genera los pulsos de salida al PLC. Verificar si la HMI cumple la funcionalidad requerida y especificada en el diseño (registro de datos, monitoreo, mando remoto). Comprobar la operatividad del enlace inalámbrico.

- *Método de prueba:* Desde la HMI se enviaron datos de tiempo y órdenes de mando al microcontrolador, se observó la respuesta de éste y el despliegue de mensajes en el LCD. También se realizaron pruebas enviando órdenes desde los pulsadores del panel de control y se registraron correctamente en el HMI.

- *Equipo y software utilizado:* Dispositivo Bluetooth, PC y LabView.

- *Conclusión:* En lo que respecta a la comunicación inalámbrica, se comprobó que la distancia de transmisión fue de apenas 10 m en campo abierto (con línea de vista) y de 4 m con obstáculos intermedios; lo cual difiere sustancialmente con las especificaciones dadas por el fabricante (90 m). Por lo demás, la información y órdenes de mando enviadas desde la HMI fueron receptadas por el microcontrolador; a su vez, se comprobó que éste generaba los pulsos programados para enviarlos al PLC.

Una muestra sobre los resultados de esta prueba se ilustra en la Fig. 4.8, cuando la orden de modo tiempo automático de la bomba T-B fue enviada desde la HMI y desplegada en el LCD controlado por el microcontrolador.

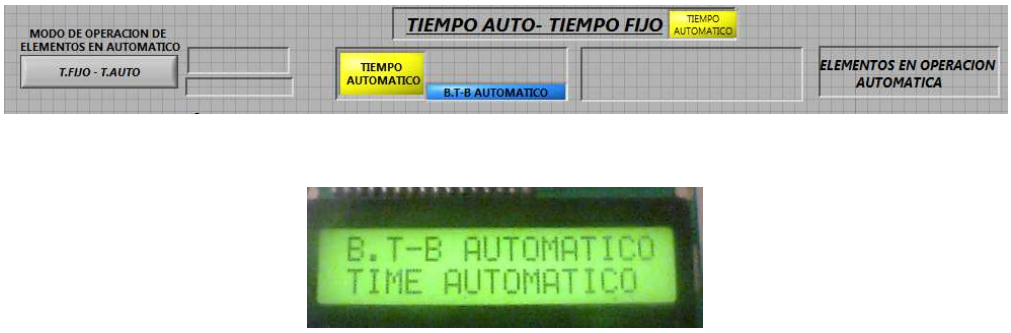


Figura 4.8 Ejemplo de prueba del microcontrolador, HMI y comunicación inalámbrica

4.5 PRUEBA GENERAL DE TODO EL SISTEMA INTEGRADO

Para esta prueba se interconectaron todos los componentes del sistema de automatización de la planta del JBQ. Se realizaron dos pruebas, una durante un día con mucho sol y otra con cielo nublado, con el fin de comprobar la operación de las bombas a diferentes temperaturas, tanto en los colectores solares, como en el tanque termosolar y el biodigestor.

- *Objetivo:* Verificar la correcta operación de todo el sistema: Operación de bombas, monitoreo y registro de variables.

- *Conclusiones:*

  - El sistema de recirculación de agua funcionó acorde a las condiciones de temperatura en días de pruebas.
  - Se registraron datos de temperatura y presión tanto en la HMI como en el LCD.

- Existió una variación de aproximadamente el 1% entre el dato real de temperatura detectada por el PT100 y los registrados en la HMI.

En las siguientes figuras se ilustran algunos datos registrados durante estas pruebas.

1	domingo, 17 de julio de 2011	15:47:00	Temp. Colectores: 16,1	Temp. Tanque: 15,4	Bomba C-T: Encendida
2	domingo, 17 de julio de 2011	15:47:01	Temp. Colectores:16,1	Temp. Tanque: 15,4	Bomba C-T: Encendida
3	domingo, 17 de julio de 2011	15:47:02	Temp. Colectores: 16,0	Temp. Tanque: 15,4	Bomba C-T: Encendida

Figura 4.9 Registro histórico de la HMI

Figura 4.10 Temperatura del biodigestor mostrada por el LCD

Figura 4.11 Presión de salida del biodigestor mostrada en el LCD

4.6 VALORES REALES DE PRODUCCIÓN

En la tabla 4.8 se indican los valores reales de cantidad de material y producción durante un día de operación de la planta.

	ELEMENTO	CANTIDAD
ALIMENTACIÓN	MAJADA DE CABALLOS	80 Kg.
	RESIDUOS VEGETALES	50 Kg.
PRODUCCIÓN	BIOGÁS	3 m^3
	GENERADOR	69 Wh
	COCINETA	2 h.

Tabla 4.8 Valores reales durante 1 día de producción de la planta

Nota: Durante la prueba el generador alimentó 3 focos ahorradores de 23 w cada uno a 110 V_{AC} , produciendo una energía aproximada durante 6 horas de 414 w.

Conclusión: La planta de biogás no alcanzó la producción esperada pero las cantidades alcanzadas cumplieron con las expectativas del proyecto.

CAPITULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante este proyecto de titulación, se realizó el estudio de una energía alternativa y ecológica que se encuentra al momento en pleno desarrollo en nuestro país, debido al beneficio medioambiental y a la solución energética que representa al convertir desechos orgánicos en biogás.

- En este proyecto se debe destacar el uso de las fuentes alternativas de energía: la solar, utilizada para dotar de energía calórica a la planta; y el biogás, para obtener el producto final, que fue el propósito de este proyecto.

- La ubicación de los sensores de temperatura es un punto muy importante en el control de este proceso, ya que el agua al calentarse sufre un desplazamiento vertical hacia arriba por la disminución de su densidad debido al aumento de la temperatura (termosifón).

- En horas de la mañana y luego de la inoperancia de la planta durante la noche, existe un tiempo de 10 minutos en el cual las bombas de recirculación de agua deben actuar continuamente a fin de equilibrar la temperatura a lo largo de las tuberías, y así no tener falsas medidas que alteren el funcionamiento de la planta.

- La comunicación inalámbrica, vía bluetooth, fue suficiente para cubrir un rango de 10 m aproximadamente sin obstáculos, pero esta tecnología no es aplicable en ambientes industriales, donde las distancias son mayores y donde existen muchas fuentes de interferencia.

- La Interfaz Hombre Máquina presenta información en tiempo real, tanto de los elementos como de las temperaturas críticas del proceso, y además permite tener un control supervisor de la planta por parte del operador.

- En base a los resultados de las pruebas realizadas, se puede concluir que el sistema implementado tiene la operatividad y funcionalidad requerida inicialmente, lo que demuestra que el diseño e implementación fueron correctamente realizados.

- Al finalizar la programación del PLC Zelio se llegó a la conclusión que está diseñado solo con funciones básicas de programación porque no posee instrucciones de programación avanzadas y tiene una memoria limitada.

- Finalmente se puede concluir, que el objetivo de diseñar e implementar el sistema de control y automatización para la planta de biogás del Jardín Botánico de Quito, fue cumplido en su totalidad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un seguimiento diario de las temperaturas alcanzadas dentro del biodigestor, para poder relacionarlas con la producción de biogás en un determinado tiempo y de esta forma valorar su producción.

- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento del sistema, con acciones preventivas por los menos cada 3 meses.

- Para evitar problemas de comunicación se recomienda no sobrepasar la distancia de transmisión segura del enlace bluetooth.

- Se debe trabajar mucho más en proyectos de información y demostración de energías alternativas, especialmente en sectores rurales que es para donde esta solución tiene mayores posibilidades de aplicación.

- En caso de requerir una ampliación en este proyecto se debe migrar a otro PLC con mayor capacidad de memoria, debido a que la capacidad del PLC Zelio está copada en su totalidad.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] WIKIPEDIA, “Biogás”, http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s

[2] BIODISOL, “Biogás”, http://www.biodisol.com/biocombustibles/biogas-que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas-energias-renovables-biocombustibles/

[3] INTA, “Biogás”, http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia

[4]TEXTOS CIENTÍFICOS, “Biogás”, www.textoscientificos.com/energia

[5] Antonio Creus, “Instrumentación Industrial”, Sexta edición

[6] National Instruments, Getting Started with LabView, 2007

[7] Arévalo Pedro, “LabView Básico”, 2009

[8] Arévalo Pedro, “LabView Intermedio”, 2009

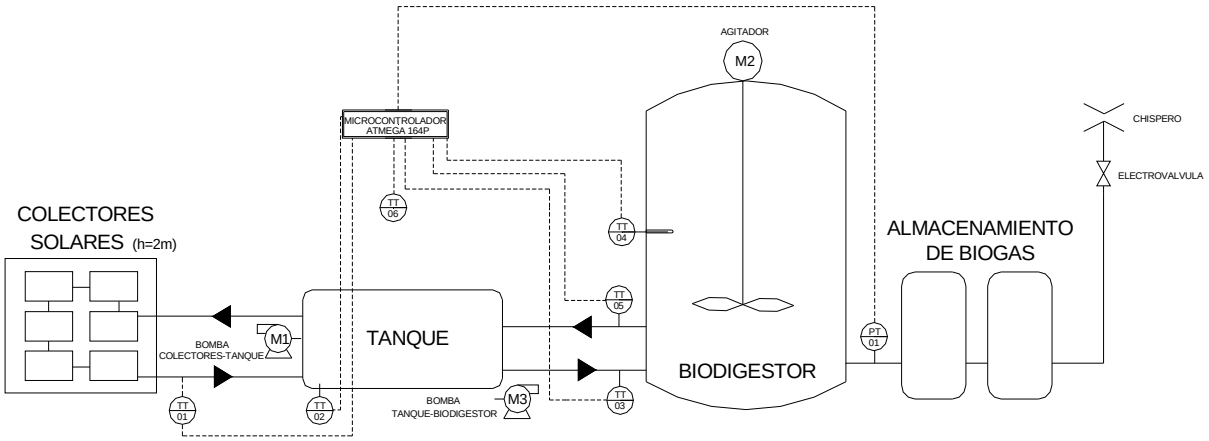
[9] Pablo Carvajal, “Diseño y construcción de la Planta de Biogás del JBQ”, 2010

[10] Luz María Contreras, “Producción de biogás con fines energéticos”, 2006

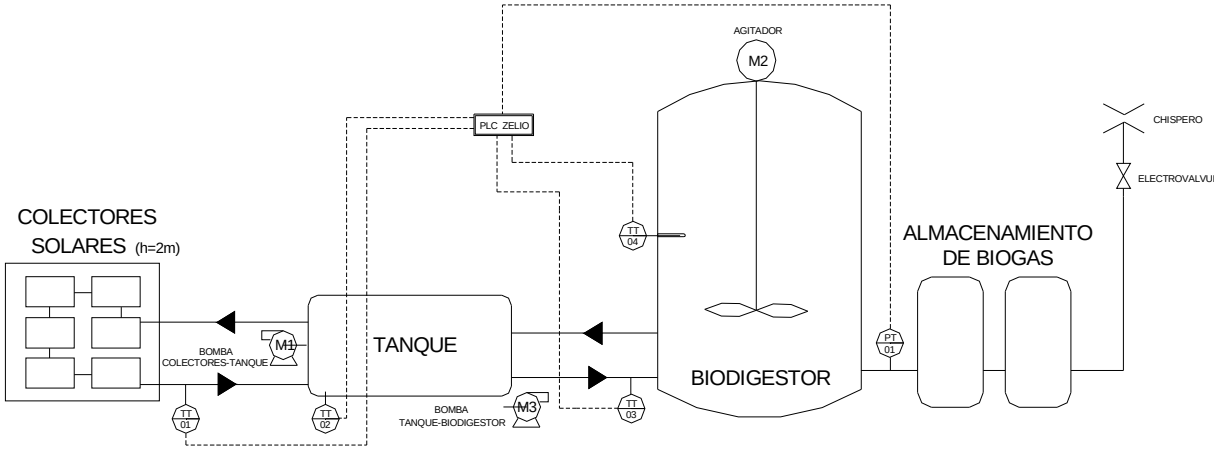
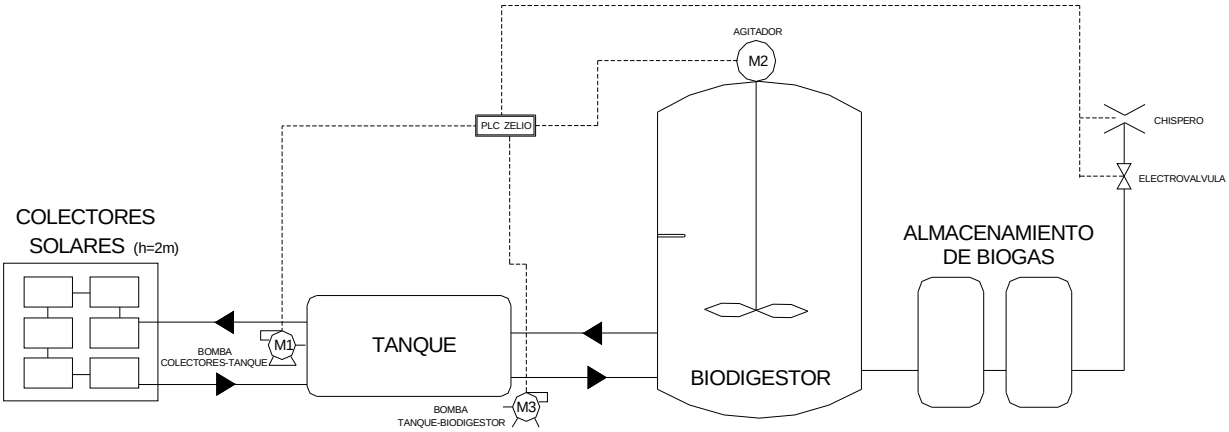
[11] Héctor Fuentes, “Tratamiento de biogás”

ANEXO 1

Señales que entran al Microcontrolador



Señales que entran al PLC Zelio



Señales que salen del PLC Zelio