

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Diseño del sistema de control automático para biodigestor termofilico a base de comida para el comedor institucional del TEC

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Ulises Umana Palma

Cartago, Junio de 2013

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



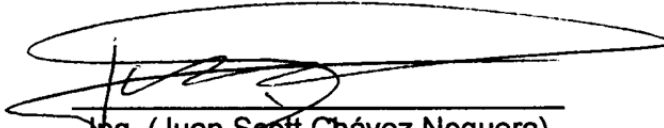
Ing. (Néstor Hernández Hostaller)

Profesor lector



Ing. (Marvin Hernández Cisneros)

Profesor lector



Ing. (Juan Scott Chávez Noguera)
Profesor Asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago Junio 2013

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, junio 2013



Firma del autor

Ulises Umana Palma

Céd: 6 0324 0877

Resumen

El actual proyecto se elabora para el Instituto Tecnológico de Costa Rica, este es parte de una investigación para la reutilización de los desechos orgánicos, provenientes de la soda del instituto tecnológico para generar energía limpia para el mismo abastecimiento de la soda, actualmente se consumen grandes cantidades de gas licuado por año en la preparación de los alimentos, para funcionarios y estudiantes, el proyecto consta del diseño para control automático de todo el sistema con esto, colaborar en la reducción del 70% de consumo de energía y además la reducción del gasto económico asociado.

Se plantea una solución de bajo costo, utilizando sensores de tipo industrial y un micro controlador de código abierto tanto en hardware como en software, todo enlazado a internet y una solución web que funciona como interfaz y control del sistema de control automático.

Palabras Clave: Biodigestor Termofilico, Micro controlador, Control Automático, Sensores, Temperatura, Presión de gas, PH, Amoniaco, sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono, electrónica de potencia.

Abstract

The ongoing project will be deployed for Instituto Tecnológico de Costa Rica, and it is part of an investigation, to reuse organic waste, from the institution restaurant, and will be used to generate natural gas methane, to be used by the same restaurant, nowadays the big amount of energy LPG gas represents cost and pollution to environment, it is a pretention to reduce up to 70% of energy LPG.

The proposed solution is a low cost, using industrial equipment, and a microcontroller as main unit, it will be deployed with open source software and hardware, also a web site will be deployed to monitor the entire system.

Keywords: Biodigestor Termofilico, Micro controller, Automatic Control, Sensor, Temperature, Pressure of gas, PH, Ammoniac, hydrogen sulfur, dioxide carbon, power electronic.

INDICE GENERAL

Resumen.....	3
Abstract.....	5
Capítulo 1: Introducción	11
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	11
1.2 Solución seleccionada	13
Capítulo 2: Meta y objetivos	15
2.1 Meta.....	15
2.2 Objetivo General.	15
2.3 Objetivos Específicos.....	15
2.3.1 Objetivos de hardware.	15
2.3.2 Objetivos de software.....	15
2.3.3 Objetivos de documentación.	15
2.3.4 Objetivos de implementación.	16
Capítulo 3: Marco teórico	17
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar.	17
3.1.1 Descripción del proceso:.....	17
3.1.2 Descripción de las partes del sistema.	18
3.2 Antecedentes Bibliográficos.	19
3.3 Descripción de los principales principios físicos, químicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.	21
3.3.1 Proceso de generación de metano.....	21
3.3.2 Manejo del gas metano.....	22
3.3.3 Temperaturas.....	23
3.3.4 Teoría de los gases.....	25
3.3.5 pH.....	28
3.3.6 Respuesta en frecuencia y filtrado de señales.	29
3.3.7 Tiristores	31
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico.	33
4.1 Reconocimiento y definición del problema.	33
4.2 Obtención y análisis de información.	34
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	35
4.4 Implementación de la solución.	37
4.5 Revaluación y rediseño.	38
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución (Explicación del diseño).	39
5.1 Análisis de soluciones y selección final	39

5.1.1	Etapa de adquisición de información.....	40
5.1.2	Etapa de control y procesamiento de información.....	48
5.1.3	Etapa de salidas y actuadores.	49
5.2	Descripción del Hardware.	52
5.2.1	Promediador de señal analógico.	53
5.2.2	Filtro para altas frecuencias	56
5.2.3	Modulo de salidas para actuadores y electroválvulas.....	58
5.2.4	Modulo de salidas para motores trifásicos.	62
5.3	Descripción del software	65
5.3.1	Rutinas para el micro controlador.....	65
5.3.2	Pagina web	71
Capitulo 6:	Análisis de resultados.....	74
Capitulo7:	Conclusiones y recomendaciones	79
7.1	Conclusiones	79
7.2	Recomendaciones:	79
Bibliografía	82
Apéndices y Anexos	84
Apéndices	84
Apéndice A.1	Guía de instalación.....	84
Apéndice A.2	Diagrama de la Planta.....	89
Apéndice A.3	Pagina WEB.....	90
Anexos	91
Anexo B.1	sobre el Metano	91
Anexo B.2	Sobre los sensores	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Biodigestor Termofilico concepto.....	12
Figura 1.2.1 Diagrama de Bloques para la Solución Proyectada	13
Figura 3.1.1 Biodigestor termofilico diseño conceptual aportado por la empresa	18
Figura 3.3.1 Normativa Biogas tomado de http://www.scribd.com/doc/33937035/Normativa-de-Seguridad-Para-Metano	22
Figura 3.3.2 Presión ejercida sobre la superficie terrestre [13]	26
Figura 3.3.3 Respuesta del Gas a variaciones de presión y volumen [13].....	26
Figura 3.3.4 Variación del Volumen de un gas con respecto a la temperatura [13]	27
Figura 3.3.5 Sensor de Presión gas honeywell modelo FP200.....	28
Figura 3.3.6 Escala de pH para algunas sustancias.[13]	29
Figura 3.3.7 Función de transferencia de un sistema lineal [15]	29
Figura 3.3.8 Circuito RC con alimentación alterna [15].....	30
Figura 3.3.9 Respuesta en frecuencia de un filtro RC pasivo	30
Figura 3.3.10 Símbolo del Triac con sus 3 patillas anodo1 anodo2 y compuerta.....	31
Figura 3.3.11 Característica tensión – corriente del Triac [17].....	31
Figura 4.4.1 Simulador de rutinas para Arduino	37
Figura 5.1.1 etapas del Proceso.....	39
Figura 5.1.2 sensor de presión modelo SEN-09376 de la empresa spark fun	41
Figura 5.1.3 Celda de carga honeywell modelo 41	41
Figura 5.1.4 Sensor de temperatura DS18B20	42
Figura 5.1.5 Sensor de Temperatura honeywell serie R300	42
Figura 5.1.6 Sensor de Presión modelo FP200	43
Figura 5.1.7 Ciclo de trabajo sensor Hanwey MQ-9 Tomado de hwsensor.com	44
Figura 5.1.8 Sensor MQ-9 Gas Metano.....	44
Figura 5.1.9 Sensor MQ-9 montado en placa lectora	45
Figura 5.1.10 Exosímetro comercial Portátil	45
Figura 5.1.11 Sensor de H ₂ S de la empresa General Monitors.....	46
Figura 5.1.12 Sensor de Amoníaco MQ-137	47
Figura 5.1.13 Sensor de pH Atlas Scientific.	47
Figura 5.1.14 Micro controlador Pic16F877A	48
Figura 5.1.15 Arduino MEGA 2560.....	49
Figura 5.1.16 Válvula para fluidos líquidos [16]	50
Figura 5.1.17 Electrovalvula para gas natural [16].....	51

Figura 5.2.1 Diagrama final en bloques del sistema de control.....	52
Figura 5.2.2 Promediador de señal analógico.	53
Figura 5.2.3 Placa PCB para circuito promediador	54
Figura 5.2.4 pista de cobre para el circuito promediador de temperatura	55
Figura 5.2.5 Circuito promediador PCB Completo	55
Figura 5.2.6 Circuito filtro RC paso Bajos	56
Figura 5.2.7 sistema de filtrado de señales.	57
Figura 5.2.8 Circuito de filtrado RC completo PCB	58
Figura 5.2.9 modulo de Salidas para actuadores y válvulas.	59
Figura 5.2.10 Etapa de salida actuadores	60
Figura 5.2.11 placa de circuito para modulo de salidas y actuadores.....	61
Figura 5.2.12 Placa PCB completa circuito salidas actudores	61
Figura 5.2.13 Triac opto acoplado de 40A KYOTO	62
Figura 5.2.14 Circuito de control para motores trifásicos	63
Figura 5.2.15 Circuito de control para motores PCB.....	64
Figura 5.2.16 Circuito de control par motores trifásicos PCB completo	64
Figura 5.3.1 Diagrama de flujo para lectura de sensores analógicos.....	67
Figura 5.3.2 Diagrama de flujo para inicio de operación del Biodigestor.....	69
Figura 5.3.3 Diagrama de flujo para el control de temperatura	70
Figura 5.3.4 Página web	72
Figura 5.3.1 Resultado simulación filtro de la sección 5.2.2	74
Figura 5.3.2 Medición de circuito promediador de temperatura de la sección 5.2.1	75
Figura 5.3.3 Sistema de control de potencia	76
Figura 5.3.4 Simulación del código de control para el microcontrolador Arduino Mega 2560	77
Figura 5.3.5 Estadísticas del sitio web	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.1 Componentes del sistema Biodigestor.....	19
Tabla 3.2.1 Ejemplos de plantas generadoras de biogás	20
Tabla 3.3.1 Constantes de Van der Waals [13]	27
Tabla 4.2.1 Estimación del costo de Diseño.....	35
Tabla 4.3.1 Criterios para seleccionar la solución adecuada.....	36
Tabla 5.1.1 lista de sensores necesarios para el sistema y su código en variable.....	40
Tabla 5.1.2 Rangos de operación del sensor modelo FP200	43
Tabla 5.3.1 Variables del sistema.....	65
Tabla 5.3.2 Valores de inicialización del sistema.....	66

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se mostrará el panorama en el cual se va a desarrollar el proyecto, se describirá el tipo de proyecto, sus implicaciones, y beneficios para la empresa.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

El actual proyecto se elabora para el Instituto Tecnológico de Costa Rica, este es parte de una investigación para la reutilización de los desechos orgánicos provenientes de la soda del instituto tecnológico para generar energía limpia para el mismo abastecimiento de la soda, actualmente se consumen grandes cantidades de gas licuado por año aproximadamente 5600 litros/año en la preparación de los alimentos, para funcionarios y estudiantes, con el actual proyecto se pretende una reducción del 78% de consumo de energía y además del gasto económico asociado.

El proyecto consta ya de una investigación previa y un diseño físico de la planta para el procesamiento de los desechos, pero se encuentran en la etapa de definir los sensores más adecuados, las bombas para líquidos, sólidos y gases que mejor se adapten al diseño específico en la investigación, a su vez también un sistema autónomo de control para la planta que se pueda monitorear de forma remota, este proyecto es un esfuerzo más por un cambio en la forma de utilizar energías limpias en el país contribuyendo a un futuro carbono neutral, y con muchos beneficios económicos a futuro.

El actual consumo de gas LPG por parte de la institución genera un gasto económico aproximado a ₡1.646,400 tomando como referencia el valor medio del gas para el año 2012 el cual se ubica en ₡294/litro, tomando en cuenta el 78% de la reducción esperada por año la institución tendría un ahorro de ₡1.284,192, además del ahorro económico se percibiría una reducción en la emisión de CO₂, tomando en cuenta el consumo actual de gas 5600 litros de LPG se estima que las emisiones hacia la atmósfera, tomando el factor de emisión del instituto meteorológico nacional de 1.61 kg CO₂/l, sería de 9016 kg CO₂, a esto se le suma el gas generado por los desperdicios no utilizados del comedor institucional calculados en 3036 kg de metano (CH₄), que a su vez tiene mayor efecto invernadero 20 veces mayor que las emisiones de CO₂, con la implementación del sistema biodigestor se pretende reducir la emisión de gases alrededor de un 14%.

En el mercado actual existen algunos productos desarrollados para este tipo de energías limpias, pero dado que el diseño de la planta difiere de las plantas convencionales en la forma en que extraen y producen el gas, no se puede encontrar en el mercado local alguna solución exacta para este diseño por lo que se requiere un diseño específico adaptado a los requerimientos, particulares del biodigestor, y con un costo mínimo de inversión.

Con el sistema de control automático que se diseñara, se pretende maximizar el rendimiento del biodigestor, así como reducir el tiempo de mantenimiento y operación por parte del personal a cargo de la planta, el sistema de control estará a cargo de la supervisión y monitoreo de todos los parámetros de la planta, como lo son temperaturas, presiones, concentraciones de gases, filtrado, almacenaje del gas y disposición de los residuos del biodigestor, y toma de decisiones en caso de emergencia o fuga.

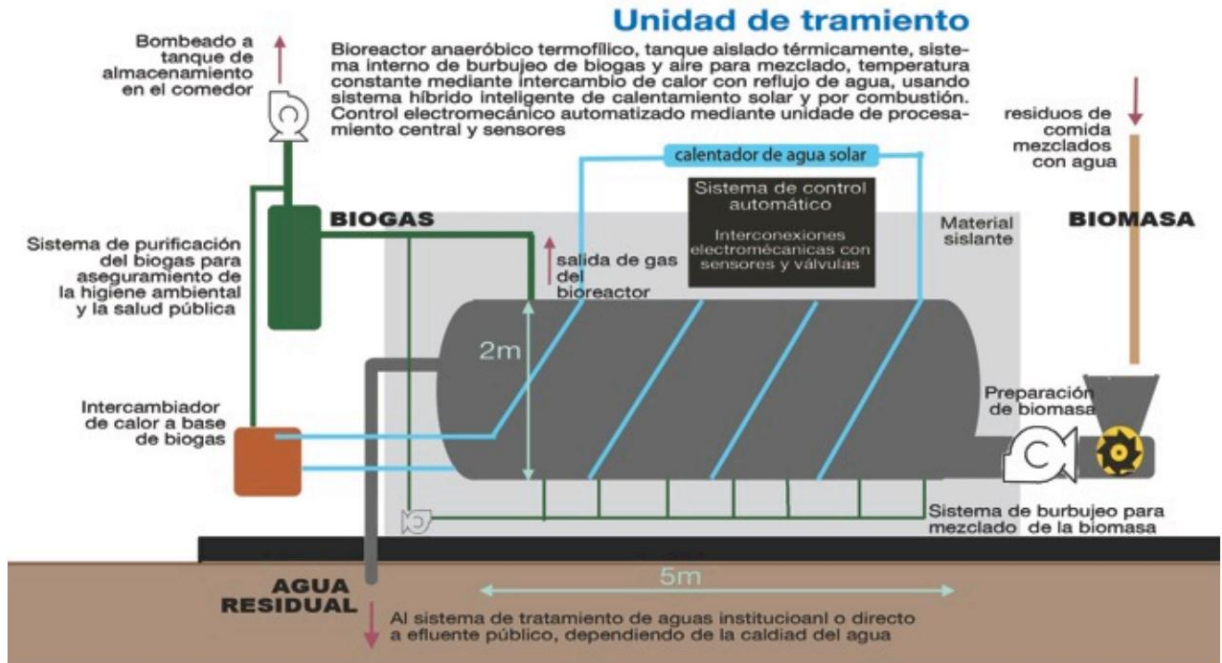


Figura 1.1.1 Biodigestor Termofílico concepto

La planta que se instalara en el TEC contara con sistemas muy variados como lo son , válvulas, motores, sensores, quemadores de gas, filtros para gas.

1.2 Solución seleccionada

La empresa requiere que el costo de la implementación del sistema se lo mas bajo posible para así maximizar los recursos disponibles, debido a este requerimiento, la solución se abordara, con sistemas de software libre, se programara y ejecutara la totalidad del proyecto en un ambiente libre de licencias, con herramientas open source, esto a su vez disminuye costos y da pie para poder modificar las herramientas preexistentes para adaptarlas a los requerimientos de la empresa, con respecto al hardware necesario la necesidad de un equipo especifico no es opcional pues es necesario para centralizar las herramientas de monitoreo en un único lugar así facilitar el acceso por parte del personal de soporte técnico y mantenimiento, este equipo será un sistema embebido programable capaz de soportar entrada y salida de datos analógicos y digitales, dado que el sistema genera y almacena gases la necesidad de acceso remoto es indispensable, por lo que se implementaran algunos métodos de comunicación que facilitarían el control y acceso a la planta, se pretende el uso del internet.

Se desarrollaran tarjetas para la adquisición, envío de datos y mediciones, en tiempo casi real, logrando así que el operario tenga datos durante todo el día, para que puedan realizar el análisis de los parámetros deseados a través del tiempo.

La solución seleccionada para el control automático de la planta estará basada en micro controladores, de código abierto en este caso especifico se utilizara una plataforma arduino, a esta plataforma se le adicionaran todos los sistemas de muestreo y actuadores, como lo son las válvulas para gas, agua, o materia orgánica, así como salidas para el control de motores trifásicos para las bombas de materia orgánica y los trituradores el sistema contara además con una conexión a internet por medio de la cual se tendrá acceso a toda la información de la planta.

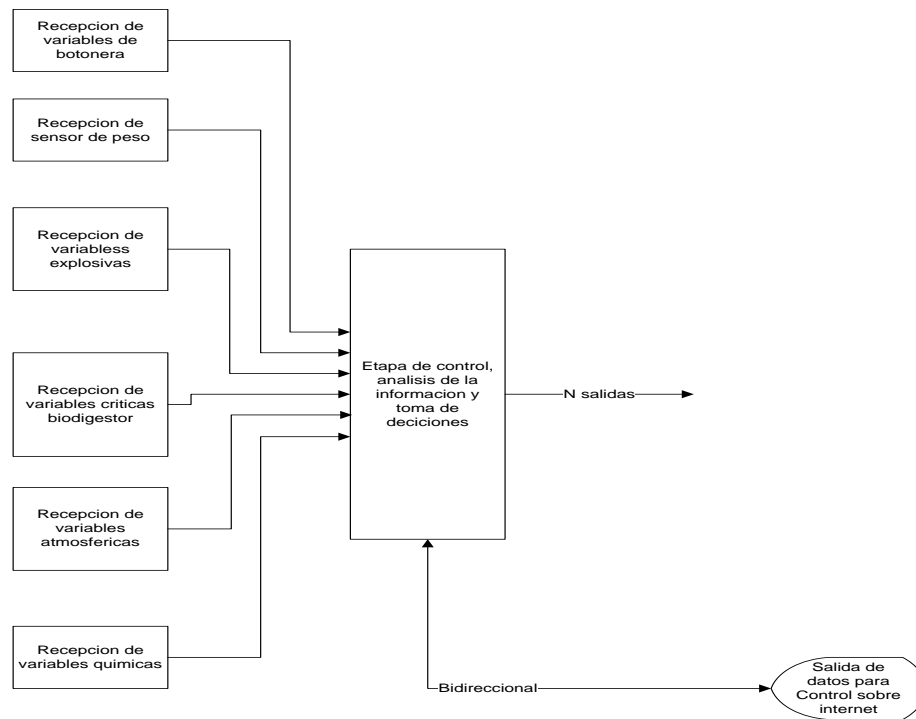


Figura 1.2.1 Diagrama de Bloques para la Solución Proyectada

La planta contara con una gran cantidad de componentes electrónicos y electromecánicos, que requieren de diferentes protocolos y configuraciones diferentes para su uso correcto, además toda la información relevante a estado de funcionamiento de la planta será almacenada en una base de datos en un servidor accesible vía internet, a través de cualquier dispositivo con capacidad de acceder a la WEB, serán capaces de monitorear el sistema desde cualquier parte del mundo.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta.

Diseñar un sistema de control automático con todas sus partes bombas, válvulas, motores, calefacción y equipo de alerta contra explosiones, para un biodigestor Termofilico, que se capaz de proveer autonomía a la planta y monitoreo remoto por internet de la actividad del biodigestor, brindando una herramienta más para avanzar hacia un TEC mas ecológico y con reducción en los gastos de operación.

2.2 Objetivo General.

Diseñar un sistema centralizado para supervisión y control del 100% de la Planta de producción de gases (biodigestor) que será ubicado detrás de la biblioteca de la institución.

2.3 Objetivos Específicos.

2.3.1 Objetivos de hardware.

- Diseñar una unidad de control que permita manipular los periféricos y rutinas de programadas.
- Diseñar tarjetas de circuito de enlace entre sensores y actuadores.
- Diseñar filtros paso bajos para limpiar la señal de sensores.
- Diseñar los dispositivos de control trifásico para los motores y bombas.
- Diseñar los dispositivos de control monofásico para válvulas y quemadores.

2.3.2 Objetivos de software.

- Implementar una pagina web que permita, visualizar de forma grafica, todas las características de los equipos, temperatura, presión, porcentaje de uso, estado de las valvulas on/off, concentración de gases, y estado general de la planta, estas dependerán del dispositivo a supervisar.
- Diseñar rutinas de software para la unidad de control, que permita la manipulación de sensores, motores, valvulas, quemadores.
- Diseñar la rutinas de control automático para temperatura, presión, emergencia.
- Diseñar rutinas de software para la unidad de control que permita realizar la conexión con internet, el servidor web y la base de datos.

2.3.3 Objetivos de documentación.

- Elaborar un manual de usuario para la implementación del prototipo, y la descripción de todas sus partes funcionales que explique el funcionamiento del sistema y los requerimientos técnicos de conexión, tanto de operación como de mantenimiento.
- Elaborar los diagramas necesarios, para la instalación del sistema o futuras modificaciones.
- Elaborar una guía rápida con todas las variables utilizadas en el sistema de control y la pagina web.

2.3.4 Objetivos de implementación.

Este proyecto se basa únicamente en la etapa de diseño por lo que la etapa de implementación, será para un proyecto posterior, no se cuenta con ningún objetivo de implementación durante este proyecto, con la excepción de la pagina web que si se deberá implementar para mostrar el funcionamiento del sistema de monitoreo diseñado.

Capítulo 3: Marco teórico

En este capítulo se tratarán los temas relacionados al funcionamiento de un sistema biodigestor termofílico, sus principios químicos y físicos, además de los principios básicos de construcción de una planta de este tipo, se abordarán temas relacionados a las principales variables físicas necesarias para el monitoreo y control de la planta, se describirá además algunas de las soluciones similares de que existen en la actualidad.

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar.

El sistema biodigestor aportado por la empresa se muestra en la siguiente figura, la planta se encuentra actualmente en proceso de diseño por parte de los encargados, pero el concepto al cual se apegan es mostrado en la figura.

3.1.1 Descripción del proceso:

El proceso de producción de gas metano, en forma sencilla se basa en la deposición de residuos orgánicos de animales, en depósitos plásticos sellados y a una temperatura ambiente, lo que produce una descomposición del material y la producción del gas, pero en este caso se utilizará una técnica de producción distinta se le conoce como biodigestor termofílico, y es un proceso que necesita bacterias a una temperatura constante de 55°C, y un P-H constante este proceso favorece la producción del gas.

El requerimiento de temperatura constante, y bombeo de materia, gases y líquidos, es la razón del diseño de un control automático para la planta. Los desechos producidos por el comedor institucional serán depositados en un contenedor ver figura 3.1 y seguirán el siguiente proceso:

1. Descarte de residuos de comida provenientes del comedor
2. Molienda de residuos a un máximo de 1cm de diámetro por partícula.
3. Adición de agua en una proporción de 2:1, variable según criterio técnico.
4. Bombeo de la biomasa liquificada al bioreactor.
5. Tiempo de retención de la biomasa en el bioreactor será de 2 semanas (durante el cual la temperatura debe permanecer constante)
6. Bombeo de burbujas de metano para aumentar la homogeneidad de la mezcla y distribución de la temperatura.
7. Control de temperatura interna a 55°C medio ideal para las bacterias.
8. Purificación del Biogás, se eliminan antes del almacenaje.
9. Almacenaje del gas en un tanque ubicado en el comedor.
10. En caso de exceso de gas se quema al aire libre.
11. Salida de efluente (materia después de dos semanas) hacia planta de tratamiento.

Este biodigestor tendrá las siguientes características técnicas:

- Capacidad para procesar 150 KG/semana.
- Tasa de crecimiento de producción 15%.
- Capacidad de procesar 50 litros de aceite utilizado.
- Estimación de producción de biogás de 0.7m³ por cada kilo de biomasa seca.
- Temperatura interna de 55°C
- Temperatura ambiental 17-30°C
- Sistema de calentamiento solar y a base de gas metano

- Material aislante: deberá recubrir el tanque para evitar la pérdida de calor y aumentar la eficiencia.

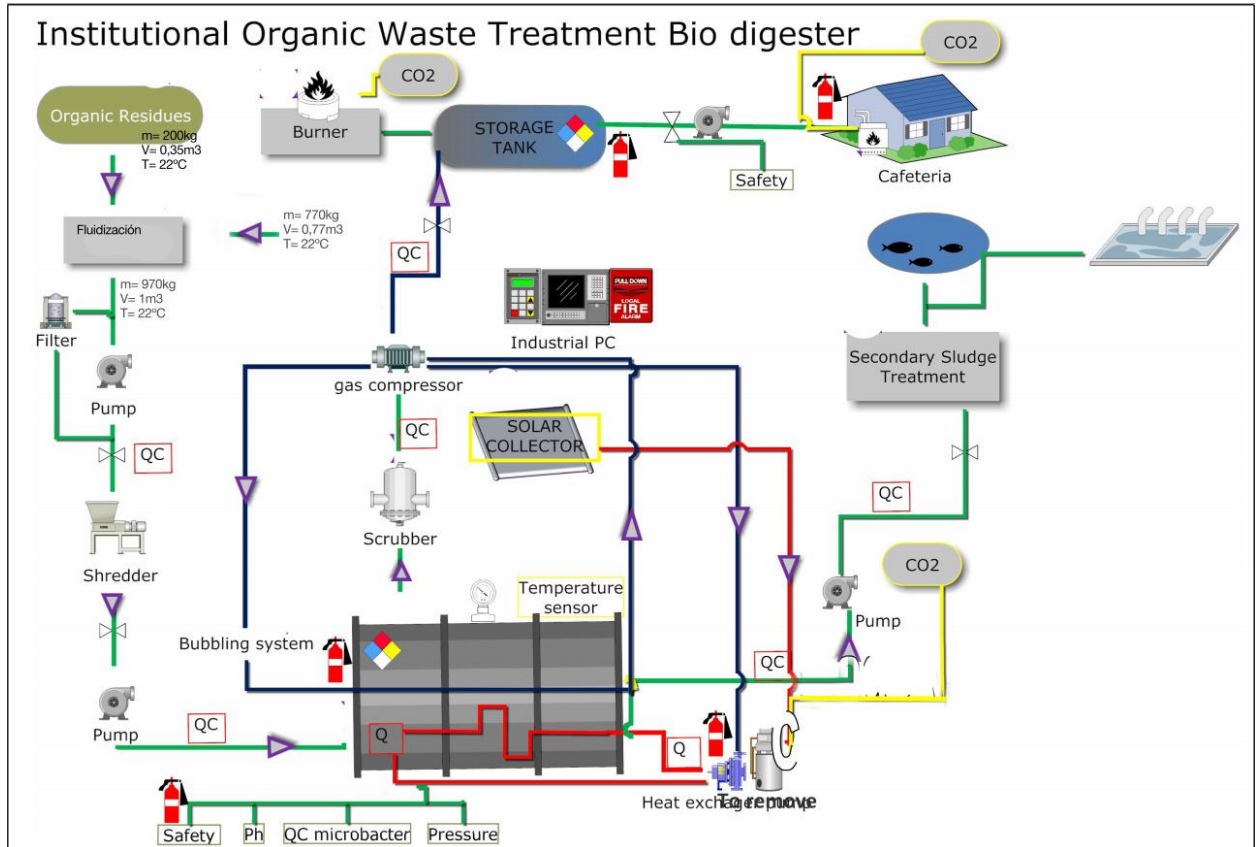


Figura 3.1.1 Biodigester termofílico diseño conceptual aportado por la empresa

Durante la operación de la planta se tomarán en cuenta las variables físicas como presión de gas en los tanques, temperatura en el tanque principal, temperatura del agua del colector solar y a gas, se medirán además concentraciones de gases que no son parte del proceso o no se desea almacenar, como sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de carbono, y amoníaco (NH_3), será medido y controlado además el nivel de P-H en el interior del tanque principal, para evitar así las pérdidas de las bacterias productoras del gas metano.

3.1.2 Descripción de las partes del sistema.

El sistema se compone de muchas partes electrónicas, eléctricas y electromecánicas que deben ser consideradas durante el diseño del sistema de control automático, en la tabla 3.1 se numeran los componentes generales del sistema y una breve explicación de su funcionamiento, más adelante se profundizará en cada uno de los aspectos involucrados.

Tabla 3.1.1 Componentes del sistema Biodigestor

Componentes	Descripción
11 Electroválvulas	Utilizadas para el control del flujo de gases y agua
3 Bombas	Motores trifásicos con la capacidad de mover la materia hacia el tanque y fuera de el.
2 Compresores de gas	Encargados de mover el Gas entre los tanques
1 Scrubber	Es el filtro del sistema de gases permite purificar el metano antes de su almacenamiento.
1 Triturador	Utilizado para triturar la materia hasta 1cm de diámetro
3 Quemadores	Encargados de eliminar los excesos de gas y calentar el sistema
16 Sensores	Sensado de presiones temperaturas, concentraciones, P-H, peso,

3.2 Antecedentes Bibliográficos.

En la industria actualmente existen muchas soluciones distintas para la generación de plantas de biogás y bajo distintas técnicas, unos utilizan materia seca otros utilizan materia húmeda, existe también los que utilizan desechos del ganado, cerdos o gallinas, en la mayoría de estas estaciones de generación se elaboran a una escala industrial, lo que no se acopla al proyecto actual, algunas de estas en presas que se dedican a la generación del metano lo hacen con fines de producción eléctrica, por lo que sus soluciones contemplan generadores eléctricos a base de gas, esto a su vez aumenta los costos del sistema, por otro lado ninguna de las soluciones vistas proveen un nivel de sensores instalados como los requeridos por este proyecto, tampoco proveen un sistema de control ni monitoreo a través de internet, que es otro de los requisitos fundamentales del proyecto, algunas de estas empresas ubicadas en:

Empresas dedicadas al desarrollo de plantas generadoras de gas metano en la región europea y américa, la mayoría de estas compañías se dedican a niveles industriales y cantidades de materia medidas en toneladas de biomasa algunas de estas compañías son:

Europa

Ecoprogram <http://www.ecoprogram.com>.

Zorg <http://zorg-biogas.com>

Bioprocess control <http://www.bioprocesscontrol.com>

oekobit-biogas <http://www.oekobit-biogas.com/en/>




América:

Bio Combustibles MG S.A. <http://www.mging.com.ar>

BACKHUS EcoEngineers

Lindner-Recyclingtech GmbH

Tabla 3.2.1 Ejemplos de plantas generadoras de biogás

Ejemplos de Biodigestores industriales	Compañía
	<p>Zorg Biogas's plant</p>
	<p>ecoprogram</p>
	<p>oekobit-biogas</p>

Vistas las opciones del mercado y teniendo en cuenta los requerimientos del sistema técnicos y económicos no se logra encontrar alguna aplicación existente en el mercado que cumpla con los requisitos solicitados por la empresa, por lo el desarrollo personalizado es la opción.

3.3 Descripción de los principales principios físicos, químicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.

Para el desarrollo del sistema se emplearan muchas variables físicas y Químicas asociadas al proceso, reglamentaciones para el manejo de gases y equipo electrónico, a continuación se describen los procesos físicos, químicos y electrónicos involucrados en el proceso.

3.3.1 Proceso de generación de metano.

La técnica anaeróbica utilizada en el procesamiento de los desechos agrícolas, industriales y urbanos orgánicos, es una forma muy económica y efectiva, para el tratamiento de estos desechos y a su vez utilizarlos como energías alternativas. Para diseñar, construir y operar plantas de biogas (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano.[12]

Este proceso anaeróbico involucra la actividad de cuatro diferentes comunidades bacterianas. Así, el biogás se obtiene al descomponerse la materia orgánica debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de oxígeno, llamada fermentación anaeróbica.

Los tipos de bacterias presentes en el proceso son las siguientes:

- a) Las hidrolíticas, que producen ácido acético, de compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados.
- b) Las acetogénicas, productoras de hidrógeno.
- c) Las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético.
- d) Las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70 % de metano (CH₄), de 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO₂). [12]

El sustrato o afluente es el material de partida en la producción de biogas. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo, sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción sencillas, excremento y orina de vacas, cerdos y posiblemente aves de corral son algunos ejemplos, a veces también pueden usarse los desperdicios de las plantas de producción de alimentos. [12]

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. La materia que abandona el biodigestor llamada efluente constituye un gran abono orgánico. [12]

3.3.2 Manejo del gas metano.

Al trabajar con gas metano o cualquier otro gas es riesgoso por esto las normativas internacionales, son esenciales para este tipo de proyectos como lo son las normativas de la NFPA y la osha, aplicando la normativa NFPA el Biogás se cataloga como sigue:

Salud = 3 Color Azul:

- Lesión grave que requiere atención inmediata.
- Muy irritante o con efectos irreversibles en piel o córnea (opacidad).
- Inhalación: CL50 mayor que 0.2 hasta 2 mg/l o mayor que 20 hasta 200 ppm.
- Causan daños serios o permanentes bajo condiciones de emergencia.
- Sustancias corrosivas para ojos, piel y aparato respiratorio

Inflamabilidad = 4 Color Rojo:

- Sustancias que vaporizan rápida o completamente a presión atmosférica y a temperatura ambiente normal, o que se dispersan con facilidad en el aire y que arden fácilmente.
- Gases inflamables
- Sustancias criogénicas inflamables.
- Punto de ignición < 22.8°C
- Punto de ebullición < 37.8°C
- Sustancias que arden espontáneamente o cuando se exponen al aire.

Reactividad = 0 Color Amarillo.

- Sustancias que son estables normalmente, aún bajo condiciones de fuego.
- Sustancias que no reaccionan con el agua.
- Sustancias que no exhiben una reacción exotérmica a temperaturas menores o iguales a 500°C cuando son probadas por calorimetría diferencial.
- Sustancias que son estables normalmente, pero que pueden convertirse en inestables a ciertas temperaturas y presiones.
- Sustancias que reaccionan vigorosamente con el agua, pero no violentamente.
- Sustancias que cambian o se descomponen al exponerse al aire, la luz o la humedad

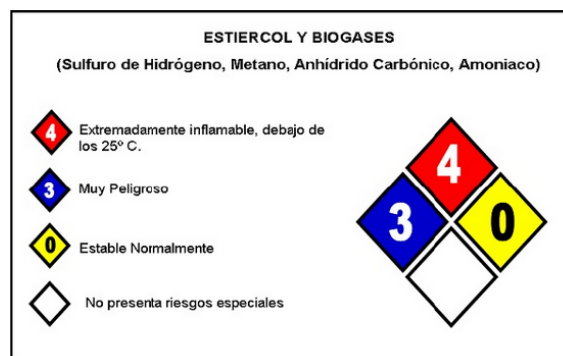


Figura 3.3.1 Normativa Biogas tomado de <http://www.scribd.com/doc/33937035/Normativa-de-Seguridad-Para-Metano>

3.3.3 Temperaturas.

El proceso de medición de temperatura se realiza por medio de sensores instalados dentro de la planta, en el mercado existen muchos tipos de sensores de temperatura, algunos tiene coeficientes de temperatura negativos y otros positivos, esto se refiere a la forma en que reaccionan con la temperatura, para el caso negativo la resistencia decrece con el aumento de la temperatura, y el positivo la resistencia aumenta con el aumento de temperatura, otros tipos de sensores son activos y otros pasivos en referencia a si provén una señal analógica, o solo un cambio de resistencia, existen también distintos métodos para la medición de temperatura uno de los métodos mas básicos, es utilizar un puente de "wien" ver Figura 3.3.1 que es básicamente un arreglo de cuatro resistencias balanceadas con el sensor en los extremos de ella, en la figura seria el caso de R3, cuando se presenta un cambio en la resistencia interna del sensor la configuración pierde el balance y genera mas tensión o menos tensión según el cambio en la resistencia del dispositivo la tensión seria la medida en la resistencia R5.

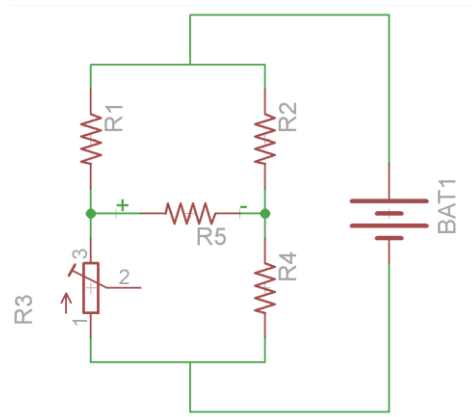


Figura 3.3.1 Punto de wien

Hoy en día las técnicas de fabricación son muy variadas existen las termocuplas que son básicamente la unión de dos metales distintos que producen una diferencia de potencial en sus extremos al ser calentados, están los termistores que varían su resistencia al calentarse y por otro lado están los hechos de silicio en un encapsulado plástico, cuyas respuestas a las temperaturas pueden ser lineales o no lineales.

A nivel industrial encontramos otra gama totalmente diferente de sensores, algunos de ellos inclusive envían los datos de forma digital, por protocolos seriales como el RS232, RS485, inclusive algunos vía protocolos ethernet.

Algunos ejemplos de sensores en el mercado actual se muestran en la Tabla es una pequeña muestra de las ofertas del mercado y para cada aplicación específica existen un sensor adecuado, de ahí la importancia de tener en cuenta todas las opciones disponibles.

Tabla 3.3.1 Ejemplos de algunos sensores de temperatura disponibles en el mercado actual

Ejemplo de sensor	Descripción
<p style="text-align: center;">Honeywell</p> 	<p>Este sensor provisto por la empresa honeywell poses características robustas como por ejemplo la cobertura para ambientes industriales agresivos resistente a la corrosión y un amplio rango de temperaturas que van des los -40°C hasta los 275°C una característica muy importante es su salida que es lineal con respecto a la temperatura.</p>
	<p>Sensores adecuados para medición de temperatura en gases, son sensores del tipo NTC o de coeficiente negativo de temperatura, este tipo de sensores se ofrecen con coberturas metálicas, plásticas, o epoxicas según el requerimiento del diseño, con rangos de operación de -40 hasta 300°C.</p>
	<p>Este tipo de sensor este elaborado con silicio y cubierto con una carcasa plástica, es ideal para sensar temperaturas ambiente y puede ser instalado directamente en un placa de circuito con rangos de temperatura que van desde los -55 hasta los 150°C</p>
	<p>Este tipo de sensor este elaborado con silicio y cubierto con una carcasa plástica, es ideal para sensar temperaturas ambiente y puede ser instalado directamente en un placa de circuito con rangos de temperatura que van desde los -70 hasta los 300°C</p>

3.3.4 Teoría de los gases.

Los gases son sustancias químicas con características particulares, como por ejemplo que siempre están en un distribución espacial que depende del recipiente contenedor, tienen variaciones de volumen con respecto a la temperatura, son muy compresibles, y se expanden muy rápidamente, además tienen comportamientos distintos en presencia de otros gases, y partículas.

Al considerar el gas mas común en la tierra, el que respiramos, se conoce que esta formado por distintos gases como lo son: N₂ (78%), O₂(21%), y otros elementos como H₂, F₂, Cl₂. Una característica particular de los gases es que no poseen compuestos metálicos.

Tabla 3.3.1 Algunos compuestos gaseosos a temperatura ambiente [13]

Fórmula	Nombre	Características
HCN	Cianuro de hidrógeno	Muy tóxico, tenue olor a almendras amargas
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno	Muy tóxico, olor de huevos podridos
CO	Monóxido de carbono	Tóxico, incoloro, inodoro
CO ₂	Dióxido de carbono	Incoloro, inodoro
CH ₄	Metano	Incoloro, inodoro, inflamable
C ₂ H ₄	Etileno	Incoloro; madura la fruta
C ₃ H ₈	Propano	Incoloro; gas embotellado
N ₂ O	Óxido nitroso	Incoloro, olor dulce, gas de la risa
NO ₂	Dióxido de nitrógeno	Tóxico, pardo rojizo, olor irritante
NH ₃	Amoniaco	Incoloro, olor penetrante
SO ₂	Dióxido de azufre	Incoloro, olor irritante

Dentro de las características mas comunes y mas simples que se pueden medir a un gas son su temperatura, presión y volumen, el volumen es sencillo de calcular y esta basado en el recipiente que contiene el gas la presión se define como la fuerza que ejerce el gas sobre un área de contacto especifica definido por la ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde "P" es la presión del gas dado en pascuales (pa) 1Pa = 1 N/m² en unidades del SI, "F" es la fuerza ejercida sobre un área en N en newtons , y "A" es el área, un ejemplo de como funciona esta ecuación lo observamos en la **Error! Reference source not found.3.3.2**, que describe con el aire contenido en las capas inferiores de la atmosfera ejerce un presión sobre la corteza terrestre.

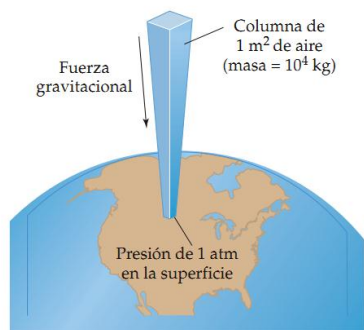


Figura 3.3.2 Presión ejercida sobre la superficie terrestre [13]

La ley de **Boyle** Robert Boyle (1627-1691) sobre los gases nos indica que “volumen de una cantidad fija de gas mantenida a temperatura constante es inversamente proporcional a la presión”[13].

$$PV = \text{Constante}$$

Donde P es la presión y V es el volumen del recipiente que encierra el gas el valor de la constante dependerá de la cantidad de gas el volumen y la temperatura a la que se realiza la prueba.

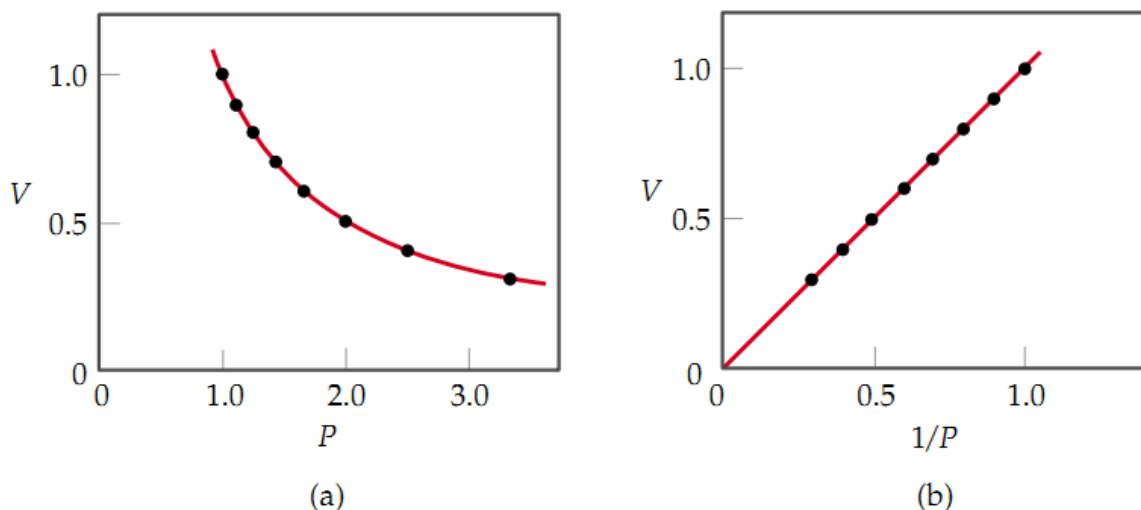


Figura 3.3.3 Respuesta del Gas a variaciones de presión y volumen [13]

La ley de **Charles**, descubierta por francés Jacques Charles (1746-1823), relaciona la variación del volumen del gas con respecto a la variación de la temperatura “el volumen de una cantidad fija de gas mantenida a presión constante es directamente proporcional a su temperatura absoluta.”

$$\frac{V}{T} = \text{Constante}$$

Donde V es el volumen del gas y T es la temperatura en grados Kelvin, la variación de presión y volumen para un gas, se puede apreciar en la Figura 3.3.4 .

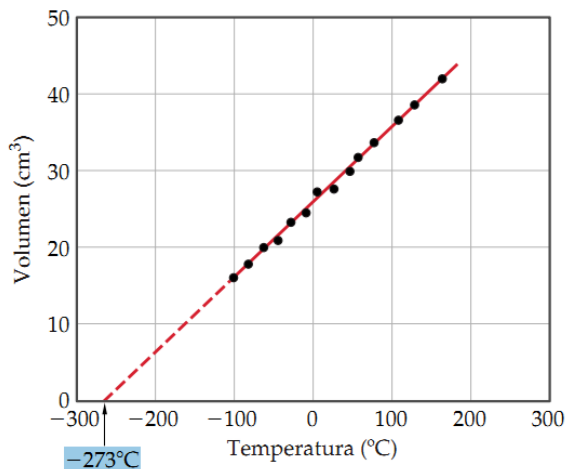


Figura 3.3.4 Variación del Volumen de un gas con respecto a la temperatura [13]

La línea punteada de la grafica indica el cambio del estado del gas a líquido, para predecir el comportamiento de un gas bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y volumen, se debe recurrir a ecuaciones que modelan el comportamiento del gas, estudios en este campo fueron realizados por el científico holandés Johannes van der Waals (1837-1923), quien basándose en la ecuación de los gases ideales, desarrollo una ecuación para el comportamiento real de un gas a esta ecuación se le conoce como ecuación de van der waals.

$$\left(P + \frac{n^2 A}{v^2}\right)(V - nb) = nRT \quad \text{Ecuación de van der waals}$$

Esta ecuación toma en consideración el volumen ocupado por las moléculas y la interacción de las fuerzas atómicas, la temperatura el volumen y la cantidad de moléculas presentes.

Tabla 3.3.1 Constantes de Van der Waals [13]

Sustancia	a (L ² -atm/mol ²)	b (L/mol)
He	0.0341	0.02370
Ne	0.211	0.0171
Ar	1.34	0.0322
Kr	2.32	0.0398
Xe	4.19	0.0510
H ₂	0.244	0.0266
N ₂	1.39	0.0391
O ₂	1.36	0.0318
Cl ₂	6.49	0.0562
H ₂ O	5.46	0.0305
CH ₄	2.25	0.0428
CO ₂	3.59	0.0427
CCl ₄	20.4	0.1383

3.3.4.1 Medición de la presión en gases:

El proceso de medición de gases se realiza con lo que se llama un transductor de presión a tensión, un transductor es un dispositivo que convierte una variable física en este caso la presión de gas, a una variable eléctrica, tensión o corriente, en la antigüedad se utilizaban resortes y dispositivos mecánicos para controlar presiones de gas o vapor como por ejemplo los ferrocarriles a vapor, o válvulas de seguridad en equipos de cocina industriales, los métodos para la medición de gases son variados, según la aplicación, existen los capaces de medir presiones muy altas alrededor de 2000 psi o mas también están los sensores para bajas presiones desde 0,1 hasta 100 psi.



Figura 3.3.5 Sensor de Presión gas honeywell modelo FP200

La Figura 3.3.5 muestra un sensor de presión con salida ajustable de 0 a 10v o salida con corriente de 0 a 4mA, esto es una muestra pequeña de las muchas opciones disponibles en el mercado de sensores de presión.

3.3.5 pH

La concentración del ion $H^+(ac)$ define la acides de una sustancia, pero normalmente la concentración de este ion es muy pequeña por lo general del orden de 10^{-7} como consecuencia de esto se define que el PH como el logaritmo en base 10 de la concentración del ion $H^+(ac)$.

$$pH = -\log[H^+]$$

El pH de una disolución neutra corresponde a 7 en una escala de 0 a 14 a $25^\circ C$ Con estas condiciones para una disolución neutra a $25^\circ C$ la concentración del ion $H^+(ac)$ sería de $1 \times 10^{-7} M$ esta escala de pH esta definida con dos regiones para valores inferiores a 7 la sustancia en cuestión será acida, para valores mayores a 7 la solución será acida y para sustancias cercanas a 7 serán neutras en la se muestra una lista de algunas sustancias y su valor asociado de pH.

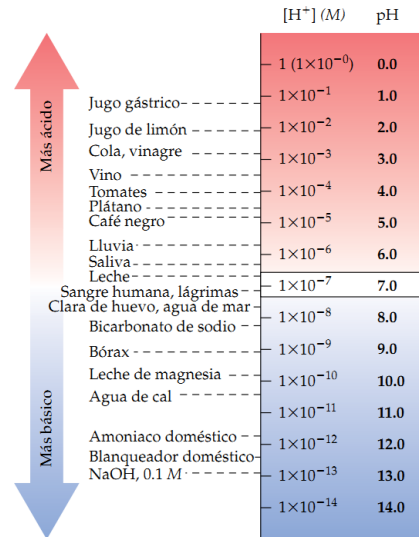


Figura 3.3.6 Escala de pH para algunas sustancias.[13]

3.3.6 Respuesta en frecuencia y filtrado de señales.

Dado que durante el diseño del proyecto se utilizarán muchos sensores, y normalmente algunos de estos sensores le agregan ruido eléctrico a las señales de interés, es por esto que se vuelve necesaria la aplicación de filtros en el diseño.

La respuesta en frecuencia es el cambio en la magnitud de salida con base en la frecuencia y esta es la base de los filtros tanto activos como pasivos, la forma de aplicar esta teoría de respuesta en frecuencia es mediante la función de transferencia del sistema, lo cual básicamente es la función de salida del sistema dividido entre la función de entrada del sistema, como se observa en la Figura 3.3.7.

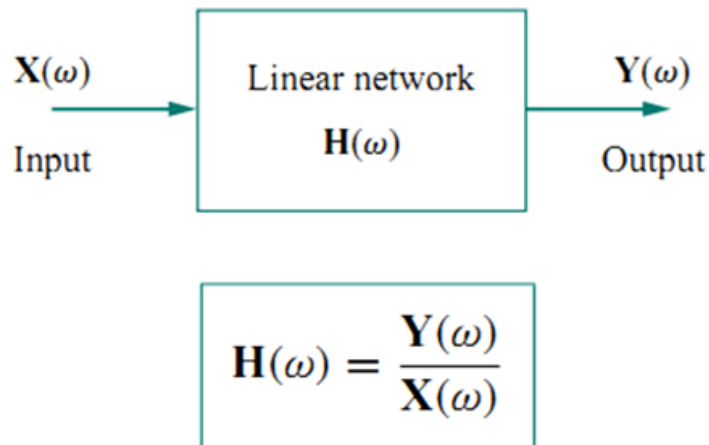


Figura 3.3.7 Función de transferencia de un sistema lineal [15]

Un filtro paso bajos es aquel que permite el paso únicamente de señales en baja frecuencia, puesto que los sistemas y sensores que se utilizaran durante el proyecto tiene una característica de respuesta lenta estos se catalogan en la escala de bajas frecuencias, por lo tanto se abordara el tema de filtros paso bajo únicamente.

Filtro paso bajos:

El sistema de la Figura 3.3.8 representa un red de circuito, en donde la salida es tomada de V_o para este caso la función de transferencia del sistema es:

$$\mathbf{H}(\omega) = \frac{\mathbf{V}_o}{\mathbf{V}_s} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

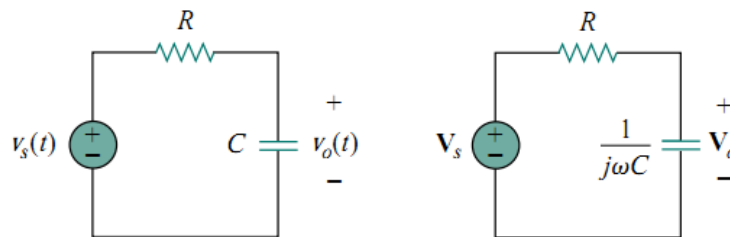


Figura 3.3.8 Circuito RC con alimentación alterna [15]

Como se puede observar en la función de transferencia del sistema conforme la frecuencia ω crece el termino $\mathbf{H}(\omega)$ tiende a ser cero y conforme la frecuencia tiende a un valor de 0 rad/s el termino $\mathbf{H}(\omega)$ tiende a un valor de 1 bajo este principio se dice que el sistema es un filtro RC paso bajos con una respuesta en frecuencia como se muestra en las Figura 3.3.9 el punto en la grafica igual $1/\sqrt{2}$ o 0,707 es el punto en el cual se define el ancho de banda del sistema para el caso particular de la red RC el ancho de banda esta definido por ω_0 al cual tiene un valor de $1/RC$ con este dato en particular se define el punto en el cual deseamos que la respuesta en frecuencia comience a decrecer.

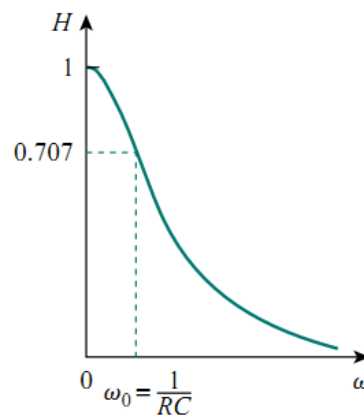


Figura 3.3.9 Respuesta en frecuencia de un filtro RC pasivo

3.3.7 Tiristores

Dado que durante el diseño del sistema se deben controlar dispositivos de potencia como compresores y motores trifásicos, es de alta importancia describir un poco la teoría detrás de esta parte de la electrónica de potencia.

El tiristor es un nombre genérico de una serie de dispositivos semiconductores de potencia, uno de ellos llamado SCR (rectificador controlado de silicio) es un semiconductor sólido de silicio formado por cuatro capas P y N alternativamente, dispuestas los dos terminales principales son el de ánodo y el de cátodo, y la circulación entre ellos de corriente directa (electrones que van del cátodo al ánodo o corriente que va de ánodo a cátodo) está controlada por un electrodo de llamado "puerta" ("gate" en inglés).

El tiristor SCR es un elemento unidireccional, una vez aplicada la señal de mando a la puerta, el dispositivo deja pasar una corriente que sólo puede tener un único sentido..

TRIAC: Es la abreviación de triodo de corriente alterna en esencia son dos SCR conectados en anti paralelo con las compuertas unidas, este dispositivo es capaz de conducir corriente en ambas direcciones.

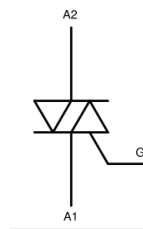


Figura 3.3.10 Símbolo del Triac con sus 3 patillas anodo1, anodo2 y compuerta.

Cuando es adecuado para el uso en sistemas de corriente alterna, es un dispositivo de fácil control que permite manipular relativamente altos voltajes y corrientes, pero dentro de la gama de dispositivos semiconductores de potencia es uno de los de baja potencia, siendo algunas de las aplicaciones más utilizadas Dimmers para control de iluminación y Control para velocidad en abanicos, motores

La curva de comportamiento de este dispositivo es la siguiente:

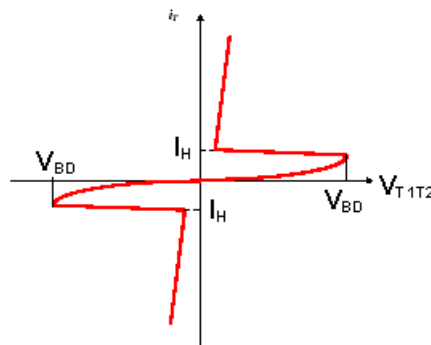


Figura 3.3.11 Característica tensión – corriente del Triac [17]

La forma de disparar para este dispositivo es variada puede dispararse por corriente tensión luz o temperatura se menciona cada uno de los métodos de disparo disponibles:

Por tensión: Cuando aumenta la tensión ánodo-cátodo del tiristor, llega un momento en que la corriente de fuga es suficiente para producir un brusco aumento de la corriente, esta forma de disparo se usa sobre todo con los diodos de 4 capas (diodos- tiristores).

Por derivada de la tensión: Ya se sabe que una unión PN presenta una cierta capacidad, si se hace crecer bruscamente la tensión ánodo-cátodo, esta capacidad se carga con una corriente y, si esta corriente es suficientemente elevada, provocará el encendido del tiristor.

La temperatura: La corriente inversa de fuga de un transistor de silicio aumenta al doble, aproximadamente, cada 14° C (al aumentar la temperatura). Cuando la corriente alcanza un valor suficiente, se produce el disparo del tiristor por los mismos fenómenos ya vistos.

El efecto transistor: Es la forma clásica de gobernar un tiristor. En la base del transistor equivalente se inyectan portadores suplementarios que provocan el fenómeno de disparo (la base es la puerta del tiristor).

El efecto fotoeléctrico: La luz, otra de las formas de energía, puede también provocar el encendido del tiristor al crear pares electrón-hueco, en este caso se emplea un fototiristor, que es un tiristor con una "ventana" (esto es una lente transparente que deja pasar los rayos luminosos) en la región de puerta.

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico.

4.1 Reconocimiento y definición del problema.

Inicialmente los encargados del proyecto, no contaban con los requerimientos técnicos o especificaciones de las partes de control automático, por lo que la primer etapa se baso en definir que tipos de dispositivos de control eran más convenientes, entre estos:

- Sensores para metano CH₄ , CO₂
- Sensores para temperatura en ambientes agresivos.
- Sensores de presión, ambiente agresivo.
- Motores para Triturador, bombeo de materia.
- Electroválvulas adecuadas para manejo de gases.

Además de la búsqueda de bombas para fluidos y para la materia orgánica, durante esta etapa de definición de componente se realizaron búsquedas sobre internet y bibliográfica de las compañías fabricantes para determinar cuales cumplen con los requisitos especificaciones de las normas para trabajo con gas metano como NFPA 54 que regula las instalaciones de tuberías con gas en edificaciones.

Dadas las características del proyecto y debido a que se va a trabajar con gas metano el cual es inflamable se requirió contar con la asistencia de varios colaboradores del TEC, entre ellos ingenieros de construcción y seguridad laboral, con respecto a la instalación y requerimientos eléctricos de la planta, se contacto a los encargados de infraestructura del TEC, para tener en cuenta las posibilidades de conexión eléctrica, esto con el fin de conocer si era factible la colocación de motores trifásicos, en esa área en particular, además de las líneas de internet y datos necesarias para el control de los dispositivos de forma subterránea, en la reunión con los encargados de la infraestructura y proyectos nuevos del TEC se decidió que si era factible la instalación de todos los sistemas necesarios, además se dio una estimación de los costos de instalación, del equipo.

En cuanto a la parte de seguridad de todo el sistema se tuvieron conversaciones con personal de la escuela de seguridad laboral e higiene ambiental, con el fin de conocer las reglamentaciones en este campo y las restricciones de laborar en un ambiente potencialmente peligroso, de estas conversaciones surgió la necesidad de colocar detectores de gas en la parte externa cerca de los tanques de almacenamiento, con el fin de detectar cualquier fuga y dar un alerta del problema.

Se tomo muy en cuenta todos los requerimientos aportados por la persona encargada del proyecto, para desarrollar la mejor solución posible que se adapte a los presupuestos destinados y que tenga la funcionalidad requerida.

4.2 Obtención y análisis de información.

La información relevante al diseño, componentes, posibles soluciones, y soluciones previas, se baso en búsquedas a través de internet, búsqueda de empresas que laboran con gases, y otras que se dedican a la fabricación misma de biodigestores, así como la revisión de investigaciones previas del TEC en este ámbito, así como tesis y documentos ubicados la biblioteca de la UCR.

Muchas de las empresas relacionadas con la industria del gas lo hacen a nivel de gran escala como lo son Ecoprog, Zorg, y Bioprocess control mencionadas en el capítulo 3, otras lo hacen a nivel artesanal un caso particular es el caso del instituto Costarricense de electricidad (ICE) el cual esta desarrollando proyectos a nivel agropecuario en diferentes zonas del país, como Puntarenas, zona de los santos, San Ramón, paraíso de Cartago, y zarceros entre otras mas que tienen en marcha.

Dado que el actual proyecto no es artesanal, pero tampoco en a gran escala, este proyecto cae mas bien en una escala de investigación, para la producción del gas en forma autónoma, las soluciones que pudieran acoplarse al proyecto son muy limitadas, desde un inicio se enfoco la solución al diseño completo de las partes de control por parte estudiantes de electrónica del TEC, con el fin que el proyecto sea cien por ciento elaborado en Costa Rica, uno de los aspectos mas relevantes del proyecto son los costos, un ejemplo de ello es una cotización realizada por la empresa ZORG al TEC, esta cotización sobrepasa los €75,000 y la planta no cuenta con monitoreo por internet, tampoco con prevención de fugas, ni la cantidad de sensores necesarios para el proyecto.

Las decisiones con respecto al diseño del proyecto se basaron en dos puntos básicos, presupuestos, y funcionalidad la premisa que este sea un proyecto de investigación convierte la solución a cada problema como una solución única y exclusiva para este diseño, que en un futuro pueda ser mejorada y tal vez comercializada por el TEC, como una solución a las necesidades de energías alternativas, y amigables con el ambiente.

Basado en las dos premisas de costo-funcionalidad, se muestran el costo estimado para el diseño del control automático por parte del TEC Tabla 4.2.1 y el costo estimado por la empresa ZORG para el diseño del tanque de almacenamiento el ronda los €75000, pero debido a que esta empresa se encuentra ubicado en Europa la frecuencia de línea es de 50Hz, y ellos al cotizar el cambio a 60 Hz le suman al costo total €4000, pues en su diseño contemplan el triturador y compresores de gas siendo así un costo total de €79,000 al que tiene que sumarse el costo del diseño de control automático.

Tabla 4.2.1 Estimación del costo de Diseño.

Cuadro de Presupuesto de la propuesta Propyme (colones)										
Los montos se ofrecen en colones Costarricenses										
Rubro	Unidad de Medida	Costo por unidad de medida	Cantidad	Remuneraciones	Servicios	Materiales y suministros	Bienes duraderos	Transferencias corrientes	Total	Aporte en especie por la empresa o solicitado
Responsable del proyecto	Semanas	€ 40,000.00	16	€ 640,000.00					€ 640,000.00	solicitado
Servicios Básicos (Agua, energía, internet, teléfono)	Semanas	€ 7,500.00	16		€ 120,000.00				€ 120,000.00	Empresa
Materiales de oficina (Papel, lapiceros, Impresiones , etc)	Semanas	€ 5,000.00	16			€ 80,000.00			€ 80,000.00	Empresa
Transporte	Semanas	€ 10,000.00	16		€ 160,000.00				€ 160,000.00	solicitado
Alquiler de local	Semanas	€ 37,500.00	16		€ 600,000.00				€ 600,000.00	Empresa
Unidades de Computo y licencias	Semanas	€ 500,000.00	16				€ 500,000.00		€ 500,000.00	Especie
Módulos USB,RED, placas de montaje, pantalla LCD, Placas de monitoreo	Semanas	€ 200,000.00	16			€ 200,000.00			€ 200,000.00	Empresa
Equipo Electrónico para programación de hardware y licencias, servidores	Semanas	€ 1,000,000.00	16			€ 1,000,000.00			€ 1,000,000.00	Empresa
Equipos Electrónicos para prueba y mediciones	Semanas	€ 200,000.00	16		€ 200,000.00				€ 200,000.00	Empresa
Total				€ 640,000.00	€ 1,080,000.00	€ 1,280,000.00	€ 500,000.00	€ -	€ 3,500,000.00	

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.

Evaluando todas las opciones del mercado, y valorando los requisitos solicitados, en el mercado actual no se logró encontrar alguna solución similar, una solución particular encontrada fue la elaborada en un proyecto de investigación del Instituto Tecnológico, “Sistema electrónico de control y protección utilizando comunicación inalámbrica para la compresión y almacenamiento de biogás proveniente de un biodigestor” llevado a cabo por los ingenieros:

Ing. Néstor Hernández Hostaller, responsable
 Ing. Marvin Hernández Cisneros
 Ing. Olga Rivas Solano
 Ing. Alfonso Navarro Garro

El sistema se encargaba de la compresión y almacenamiento solamente, por lo es útil únicamente en una etapa del actual proyecto. Tomando en cuenta cada uno de los

aspectos aportados por las soluciones diseñadas por diferentes agrupaciones e instituciones, se decide partir desde cero con el diseño, pues en las soluciones a gran escala, los sistemas de control automático son muy costosos pues utilizan equipos de control como PLC o computadoras industriales, que elevan el costo, además están diseñados para instalaciones de gran tamaño y capacidad de almacenamiento, y las soluciones artesanales no fueron consideradas por su sencillez y poco o ningún sistema electrónico de control automático.

Los criterios tomados en cuenta para la selección de la solución se listan a continuación:

Tabla 4.3.1 Criterios para seleccionar la solución adecuada

Criterio / Especificación de diseño	solución	Decisión de diseño
Capacidad de control y supervisión vía internet	Ninguna empresa lo provee	Se decide diseñar esta etapa
Capacidad de sensar hasta 16 variables distintas: Ph, presión, temperatura, concentración de gases, peso de la materia entrante y otras mas.	Algunas empresas proveen solución parcial a solo algunos de los sensores como por ejemplo la temperatura o presión.	Se decide diseñar esta etapa
Capacidad de control de hasta 11 Electro-válvulas	Ninguna empresa lo provee	Se decide diseñar esta etapa
Control de 3 motores trifásicos de forma digital	Ninguna empresa provee el control digital de motores trifásicos para biodigestores	Se decide diseñar esta etapa
Control automático para quemadores de exceso de gas.	Pocas empresas lo proveen algunas utilizan diafragmas de presión mecánicos.	Se decide diseñar esta etapa
Control automático del Ph del sistema	No se encontró alguna empresa que lo realice con gas metano	Se decide diseñar esta etapa
Costo del diseño del sistema	La mayoría de empresas que trabajan con Biocombustibles se localizan en el exterior y los gastos de diseño importación y manejo son muy superiores a cualquier diseño local con las mismas características.	Se Decide abordar la totalidad del diseño del sistema de control

4.4 Implementación de la solución.

Dado que el proyecto se concibe como un proyecto de diseño, la etapa de implementación final no será realizada quedando esta etapa para un proyecto posterior, debido a costos y procesos burocráticos, en lo referente al sistema de almacenaje del gas y el sistema contenedor, además todos los sistemas de control necesarios, no fueron adquiridos por la empresa en este caso el TEC, esto obliga a dejar la etapa de implementación para un proyecto y estudiante posteriores.

Sin embargo durante el diseño del sistema y sus componentes se realizaron pruebas de funcionamiento de los módulos de programación del micro controlador mediante la simulación ver Figura 4.4.1, se simularon las rutinas de adquisición de datos, protocolo de internet y rutinas de salida, además se desarrollo una pagina web dedicada para este proyecto www.biodigestortec.tk la cual consta de una base de datos un archivo en código PHP que enlaza la base de datos con el sistema Arduino y por ultimo consta también de una interfaz de usuario que permite la interacción entre el sistema y el operador esta pagina se implemento en su totalidad utilizando un servidor gratuito y un gestor de bases de datos gratuito también, las pruebas realizadas en la pagina web fueron exitosas, actualmente, la pagina muestra datos temporales como prueba de su funcionamiento.

Los medios de difusión para la solución desarrollada estarán disponibles mediante la página web y mediante el manual de usuario que será elaborado como guía de implementación y uso del sistema.

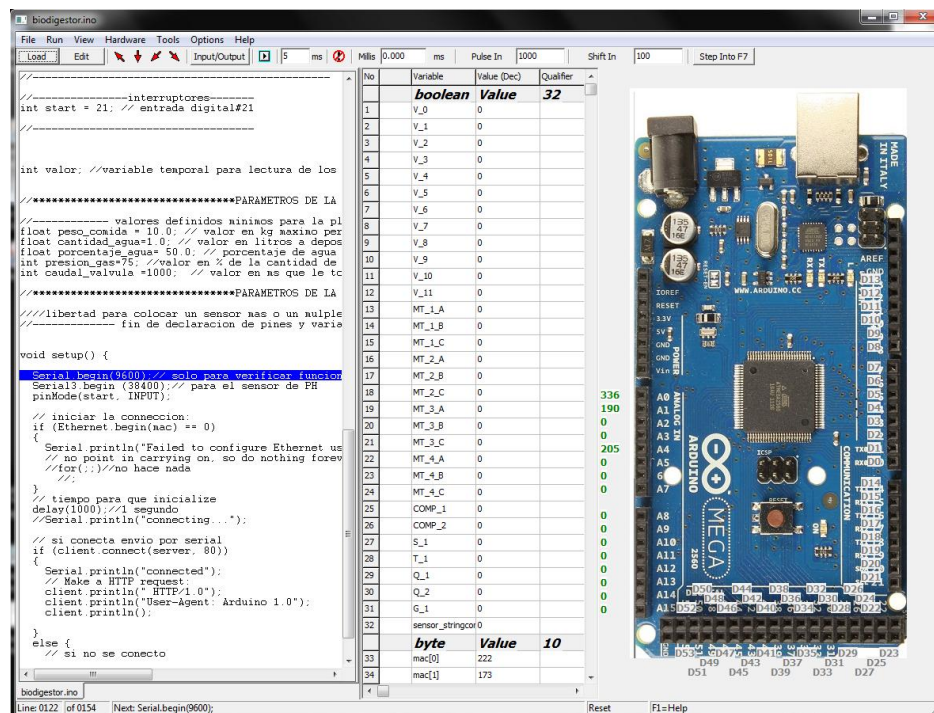


Figura 4.4.1 Simulador de rutinas para Arduino

4.5 Revaluación y rediseño.

El diseño del control automático fue diseñado pensando en la siguiente etapa de manera que sea de fácil modificación, y adaptación de cualquier parte del diseño, es un sistema modular por lo que cada parte se puede modificar sin afectar al resto, la pagina web es de código abierto por lo que también puede ser modificada, en caso de que se necesite la modificación de alguna parte del diseño se proveerán todos los archivos y datos necesarios en un CD que estará a cargo de la encargada del sistema, dentro se encontraran todos los diagramas eléctricos hojas de datos, y códigos de programación necesarios para cualquier modificación.

Durante la etapa de implementación será necesario ajustar las variables que gobiernan el sistema explicadas mas adelante, sin embargo todas y cada una de las variables utilizada tanto en el código del micro controlador están documentadas y son compatibles entre los sistemas de manera que la variable "X" en el código del micro controlador se llamara también "X" en la pagina web así facilitar la comprensión del funcionamiento del sistema para otro ingeniero.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución (Explicación del diseño).

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Al tomar en cuenta los requerimientos del sistema, son muy específicas cada parte del diseño debe tratarse como una sección independiente, por lo que se decidió separar el diseño en varias etapas como lo son:

- Etapa de adquisición de información.
 - Consta de sensores que envían la información a un control central.
- Etapa de procesamiento y toma de decisiones.
 - Controlador que recibe la información de la etapa anterior y procesa los datos.
- Etapa de salida.
 - Consta de los sistemas de acople y de potencia para activar válvulas y motores.
 - Además de un sistema Ethernet para el monitoreo por medio de internet.

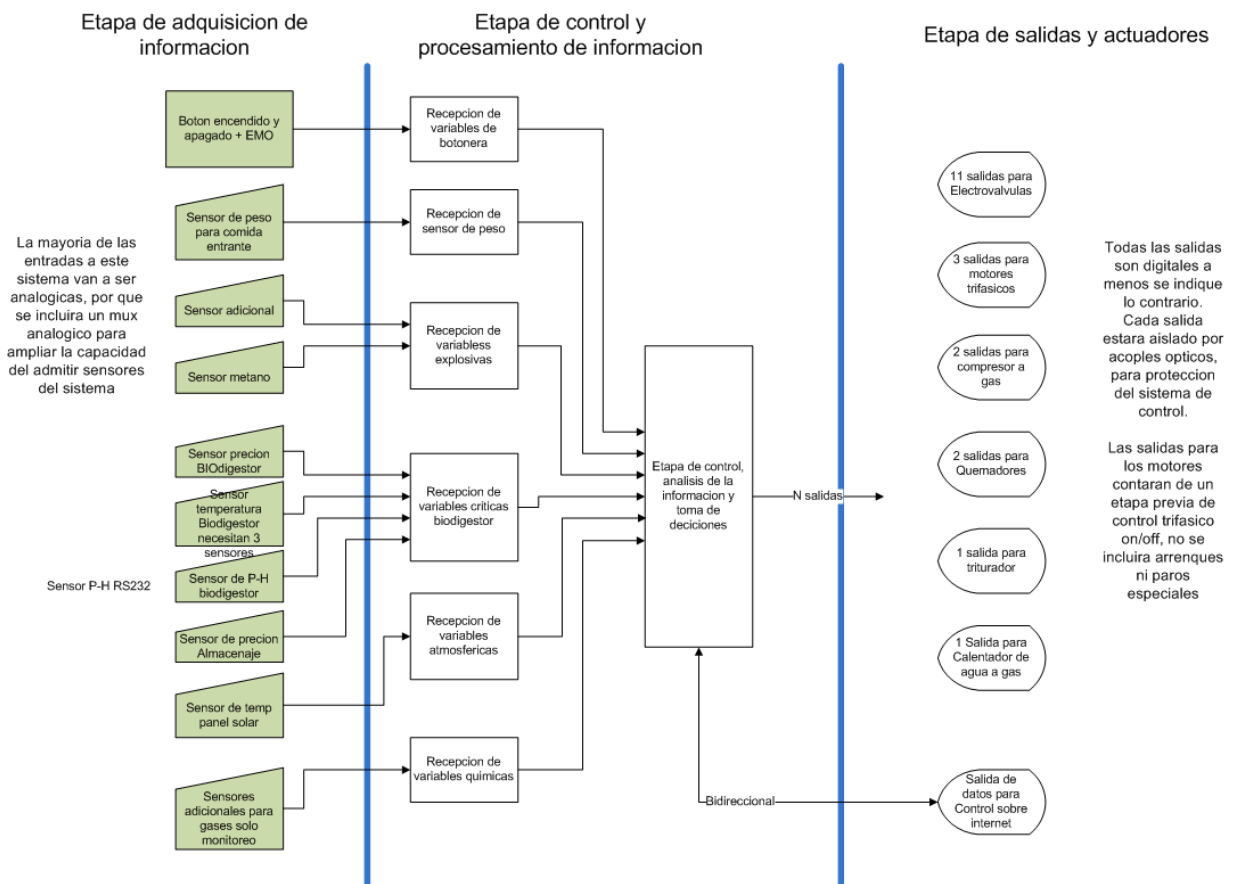


Figura 5.1.1 etapas del Proceso

Cada una de las etapas del sistema será explicada en detalle y se justificará la selección de cada componente para cada una de las etapas correspondiente.

5.1.1 Etapa de adquisición de información.

Esta etapa consta de una serie de sensores que, en su mayoría son analógicos esto quiere decir envían el valor medido en forma de una tensión que puede variar de 0 a 5v, otros por el contrario envían una señal serial con protocolo RS232, como lo es el caso del sensor de PH, que será descrito más adelante, en la Tabla 5.1.1 se muestra la totalidad de los sensores necesarios del sistema y su código (único a este sistema) los cuales serán descritos y se mostrará la mejor opción.

Tabla 5.1.1 lista de sensores necesarios para el sistema y su código en variable

SENSORES	DESCRIPCION
M_1	Peso de comida Kg
TEMP_1	Temperatura del biodigestor
TEMP_2	Temperatura del calentador solar
TEMP_3	Temperatura Calentador a gas
TEMP_4	Temperatura adicional
P_1	presión de gas del biodigestor
P_2	presión de gas del biodigestor
CH4_1	Concentración de metano
H2S_1	Concentración de sulfuro de hidrogeno
CO2_1	Concentración de dióxido de carbono
NH3_1	Concentración de amoniaco
CH4_2	Concentración de metano
H2S_2	Concentración de sulfuro de hidrogeno
CO2_2	Concentración de dióxido de carbono
NH3_2	Concentración de amoniaco
P_H	P-H de la muestra dentro del bio digestor

5.1.1.1 Sensor de peso M_1

Este sensor será el encargado de medir el peso de la materia agregada al sistema y es uno de los primeros en la etapa del proceso, uno de los requerimientos de este sensor es que pueda soportar hasta 100 KG como máximo, pues a la mezcla se le adiciona agua en una proporción variable según la cantidad de materia depositada, algunas opciones se encuentran en el mercado disponibles para medir fuerzas.

El sensor mostrado en la Figura 5.1.2 es una opción económica es de tipo resistivo lo que quiere decir que cambia su resistencia conforme se le aplica presión, pero la desventaja que tiene es que el máximo peso que soporta es de 10Kg además no posee una estructura rígida que le provea protección contra el medio, y las condiciones a las que será sometido.

La siguiente opción y siguiendo una de las sugerencias de la empresa, de utilizar en lo posible sensores de la misma casa fabricante para mejorar la compatibilidad, y disponibilidad en el futuro, el sensor de peso de la marca honeywell mostrado en la Figura 5.1.3

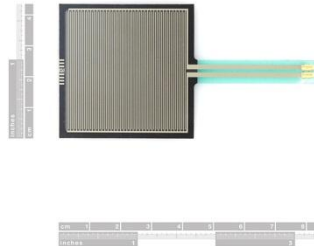


Figura 5.1.2 sensor de presión modelo SEN-09376 de la empresa spark fun

El sensor de honeywell es una mejor opción pues cumple con las características de robustez, y capacidad de carga este modelo ofrece un rango que va desde las 5 lb hasta las 500,000 lb existe una serie de sub modelos en los que varia únicamente el rango máximo de carga de cada celda para este caso especifico se selecciono la serie "CN" el cual tiene un limite de carga de 250 lbs aproximadamente 114 Kg con esto cumple el requerimiento de carga, además puede trabajar en temperaturas desde los -54°C hasta los 125°C , con un porcentaje de error del $\pm 0.1\%$ y esta echo de acero inoxidable, otro punto favor es que la salida es analógica de 0 a 5v, por lo que se acopla perfectamente al diseño.



Figura 5.1.3 Celda de carga honeywell modelo 41

5.1.1.2 Sensor de Temperatura TEMP_1, TEMP_2, TEMP_3, TEMP_4

En esta etapa se escogerá los sensores de temperatura que serán colocados dentro del biodigestor, el sistema de calefacción solar y el sistema de calefacción a gas, por estandarizar el sistema se utilizara el mismo tipo de sensor, los requerimientos mínimos para este sensor son los siguientes:

- Capacidad de medir hasta 0 a 100°C .
- Capacidad de soportar un ambiente que contenga Metano, Amónico, sulfuro de Hidrogeno, y algunos otros compuestos orgánicos que pudieran provocar oxidación o degradación del dispositivo.
- Tener un costo relativamente bajo.
- De fácil instalación.

En la Figura 5.1.4 se muestra una las opciones disponibles en el mercado, el sensor de temperatura modelo DS18B20 a prueba de agua y ofrecido por la empresa sparkfun tiene unas características de trabajo que le permiten operar desde los -55°C hasta los 125°C ,

además una salida analógica con un error del $\pm 0.5^\circ$, cumpliendo con los requisitos de temperatura, pero no cumple con los requisitos de facilidad de instalación y robustez ante un ambiente químicamente hostil.



Figura 5.1.4 Sensor de temperatura DS18b20

La siguiente opción proviene de la empresa honeywell, este sensor de la serie R300 esta diseñado para trabajar en inmersión con un rango de operación de -40°C hasta los 275°C , esta fabricado de acero inoxidable, posee una rosca de forma que puede ser fácilmente instalado y es resistente a la corrosión, cumpliendo ampliamente con los requisitos solicitados para los sensores de temperatura.



Figura 5.1.5 Sensor de Temperatura honeywell serie R300

5.1.1.3 Sensor de presión de gas P_1, P_2.

El sensor de presión es una de las partes más importantes del sistema pues controlara la apertura de válvulas de seguridad y quemadores de exceso de gas, así pues los requerimientos para este sensor deben ser estrictos y son muy similares a los requerimientos para el sensor de temperatura, en cuanto a que debe soportar un ambiente químicamente hostil y temperaturas de hasta 100°C, en este caso se opto directamente por utilizar sensores de marca honeywell para ambientes industriales, en la Figura 5.1.6 se muestra el sensor de presión modelo FP2000, el cual tiene un rango de operación de temperatura entre los -40°C y los 116°C, una salida análoga configurable hasta los 10v y una rosca para la fácil instalación, además posee un margen de error del $\pm 0.5\%$ además con un rango de operación de hasta 70000 Kpa en la Tabla 5.1.2 se muestra una lista con los códigos y las opciones disponibles para este sensor.



Figura 5.1.6 Sensor de Presión modelo FP200

Dado que las unidades del SI indican que la presión de mide en Kpa, pero la comunidad esta mas familiarizada con las unidades en PSI el sensor será escogido bajo esta premisa por lo cual el modelo final para este sensor seria el FP200 BR, que abarca un rango de hasta 100 PSI

Tabla 5.1.2 Rangos de operación del sensor modelo FP200

PRESSURE RANGES AND RANGE CODES																
	psi	Range code	torr	Range code	mBar	Range code	kPa	Range code	Bar	Range code	in Hg	Range code	mm Hg	Range code	in H ₂ O	Range code
Gage/ Absolute	0.5*	AN	15**	HA	35**	JA	2**	KA	0.035**	MA	1**	UB	15**	VA	5**	WB
	1*	AP	50**	HB	70**	JB	7**	KB	0.1**	MB	2**	UD	50**	VB	10**	WA
	2*	AR	135**	HC	175**	JC	15**	KC	0.2	MC	5	UF	135	VC	20**	WC
	2.5*	AS	250	HD	350	JD	35	KD	0.5	MD	10	UA	250	VD	30**	WE
	5	AT	750	HE	700	JE	70	KE	1	ME	15	UC	750	VE	50**	WG
	10	AV	1500	HF	750	JF	100	KF	2	MF	20	UE	1500	VF	100	WI
	15	BJ			1000	JG	200	KG	3.5	NA	30	UG			120	WK
	25	BL			3500	JH	300	KH	5	MG	50	UI			150	WM
	30	BM			7000	JI	700	KJ	7	NB	60	UK			200	WP
	50	BN			10000	JK	1000	KL	10	MH	80	UM			300	WR
	75	BP					1500	KM	20	MI	100	UP			500	WS
	100	BR					1700	KN	30	MJ	200	UH				
	150	CJ					2000	KP	35	NC	300	UJ				
	200	CL					3000	KQ	50	MK	500	UL				
	250	CN					5000	KR	70	ND	1000	UN				
	300	CP					7000	KS	100	ML	0-32	US				
	400	CQ					10000	KT	135	NE	16-32	UQ				
	500	CR					15000	KU	350	NG	26-32	UR				
	600	CS					20000	KV	500	MM						
	750	CT					35000	KW	700	NH						
1000	CV					50000	KY									
1500	DJ					70000	KZ									
2000	DL															
2500	DM															
3000	DN															
5000	DR															
6000	DS															
7500	DT															
10000	DV															

5.1.1.4 Sensor de Metano CH₄, CH₄_1, CH₄_2

Este sensor será ubicado en los exteriores de la planta con es fin de detectar, variaciones de la concentración de metano en el ambiente, con el fin de detectar posibles fugas y peligros en la seguridad y salud de las personas cercanas a la planta, el mercado ofrece algunas opciones pero la mayoría de estas opciones se basan en la implementación de sensores del tipo MQ-x ver Figura 5.1.8 , los cuales varían según el gas a detectar existen algunos del tipo infrarrojo y otros de reacción química con SnO₂ en este caso nos referimos al sensor MQ-9 el cual detecta metano mediante el contacto del gas con el sensor de SnO₂ a una temperatura especifica y un ciclo de trabajo especifico la temperatura interna de operación del sensor es provista por un resistencia incorporada, que calienta por ciclos el gas siguiendo la secuencia de la Figura 5.1.7 , este sensor al requerir este ciclo de trabajo y lectura, se decide adquirirlo con un placa que genera el ciclo de trabajo y lectura y entrega una salida analógica ver Figura 5.1.9, posee además la opción de ajustar el sensor para compensar los cambios los parámetros de medición por medio de dos resistencia variables ubicada en la placa base,este dispositivo posee la características siguientes:

- Capacidad para detectar CO, Metano y gas LPG, metano como principal medición.
- Alta durabilidad y bajo costo.
- Diseñado para aplicaciones industriales y soluciones portables.
- Capacidad para detectar desde 100 PPM hasta 10000 PPM de gas combustible.

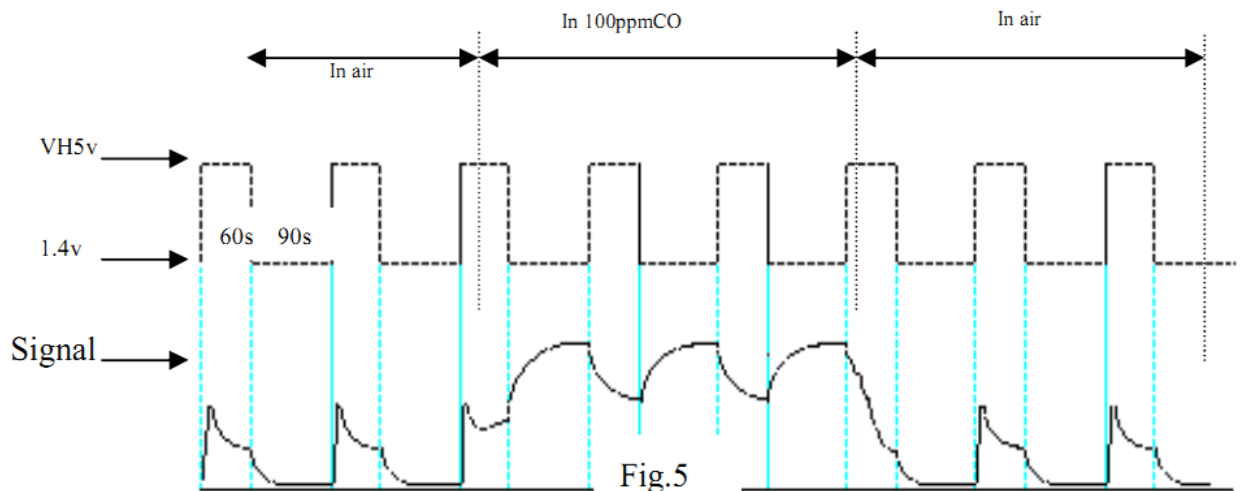


Figura 5.1.7 Ciclo de trabajo sensor Hanwey MQ-9 Tomado de hwsensor.com



Figura 5.1.8 Sensor MQ-9 Gas Metano

Tomando en consideración todos los aspectos del sensor MQ-9 se toma la decisión de utilizar este sensor en el diseño, aunque en el mercado existen dispositivos portátiles capaces de realizar mediciones de todo tipo de gases ver Figura 5.1.10, este tipo de equipos no es adecuado al tipo de solución que se le esta dando al sistema pues los equipos portátiles son sellados y no permiten la comunicación con otros equipo, mucho menos con una solución particular como la que se diseño.



Figura 5.1.9 Sensor MQ-9 montado en placa lectora



Figura 5.1.10 Exposímetro comercial Portátil

5.1.1.5 Sensor de Sulfuro de Hidrogeno H2S_1, H2S_2 :

Este sensor ver Figura 5.1.11 será ubicado a la entrada y la salida del dispositivo conocido como scrubber el cual desempeña una función de purificación del gas, eliminando los componentes no deseados, el objetivo de colocar el par de sensores es tomar muestras antes de la purificación y después de la purificación, con el objetivo de tener un control de calidad de los gases.

Este sensor tiene características industriales, este diseñado para trabajar en ambientes hostiles, cumpliendo con los características de robustez que se necesitan, además puede trabajar bajo condiciones ambientales extremas, desde los -40°C hasta los $+167^{\circ}\text{C}$ soporta un amplio rango de humedad, pues al estar conectado en las tuberías dentro de estas se genera vapor de agua que puede ser dañino para otros sensores, tiene un rango de detección que puede ir desde los 0 PPM hasta las 100 PPM esta construido de aluminio y el sensor es de tipo CMOS por lo que es muy resistente, la salida de este sensor es de tipo analógica muy conveniente además para el diseño del sistema.



Figura 5.1.11 Sensor de H2S de la empresa General Monitors.

5.1.1.6 Sensor de amoniac NH₃ NH3_1, NH3_2

Este sensor tendrá una ubicación muy similar y requerimientos de robustez muy similares al sensor de sulfuro de hidrogeno descrito en la sección anterior, por lo que las opciones en sensores se reducen a los especificados para ambientes industriales, tratando de crear una sistema estándar se utilizara un sensor de la mismo casa fabricante que el sensor de metano (CH₄) Hanway en este caso el sensor MQ-137 ver Figura 5.1.12, debido a que es la misma casa fabricante el método de lectura de este sensor funciona bajo el mismo protocolo que el sensor de metano de la sección 5.1.1.4 y además la placa base utilizada para la lectura de este sensor también es aplicable por lo que la placa base utilizada en la Figura 5.1.9.

Las características técnicas de este sensor lo hacen adecuado para la medición de amoniac, pudiendo operar en un rango de 5 hasta las 500 PPM de NH₃



Figura 5.1.12 Sensor de Amoniaco MQ-137

5.1.1.7 Sensor de PH

Este sensor tendrá una ubicación interna dentro del tanque biodigestor por lo que la robustez de este dispositivo debe ser tal que no se deteriore bajo las condiciones de temperatura y químicas dentro del tanque, muchas opciones de sensores no son aptos para mediciones permanentes o bajo condiciones industriales de temperatura y humedad, el dispositivo seleccionado deberá soportar temperaturas constantes de 55°C y presiones máximas de 100psi , aunque la presión interna del tanque no sobrepase las 25 psi por motivos de seguridad igualmente se deberá tomar en cuenta y sobredimensionar las capacidades de este sensor para prolongar su vida y evitar constantes remplazos, en la Figura 5.1.13 se muestra el sensor de PH seleccionado para el proyecto.

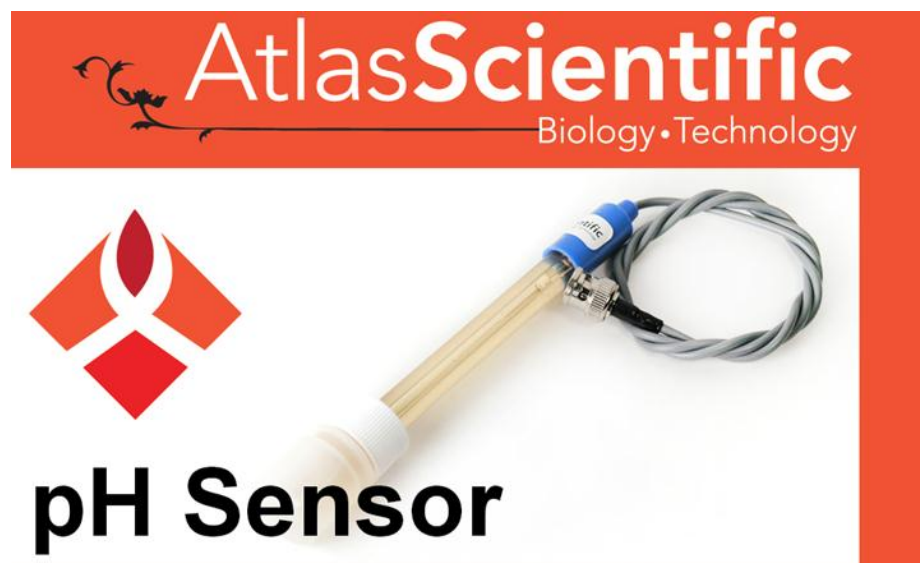


Figura 5.1.13 Sensor de pH Atlas Scientific.

Este sensor posee características que lo hacen la mejor opción para la implementación en este proyecto, el cuerpo es construido de epoxico lo que le da una robustez, y durabilidad adecuadas para la aplicación, esta orientado a procesos que involucran alimentos, tiene un rango de operación mayor a un pH de 14, puede operar hasta los 100°C , en inmersión por tiempo indefinido, la temperatura interna del tanque no representa ningún problema de operación para este sensor, otra de las características mas importantes es que el sensor se comunica mediante de protocolo RS232, y es configurable por ese medio, se pueden configurar el tipo de lecturas que se desea, como por ejemplo lecturas continuas, o una sola lectura, por medio de una instrucción via RS232.

5.1.2 Etapa de control y procesamiento de información.

En esta etapa de la solución se decidió implementar con un sistema basado en micro controlador, y un sistema adicional para la conexión a internet, inicialmente se planteo el uso del micro controlador de microchip 16F877A ver Figura 5.1.14 pero con forme se adicionaban requerimientos como 16 entradas analógicas y varios puertos seriales el micro controlador se quedo corto en funciones al solo disponer de 8 entradas analógicas y un puerto serial RS-232, además de ello se debía diseñar una placa PCB para poder ensamblar el PIC y sus componentes adicionales, tomando mas tiempo de diseño.

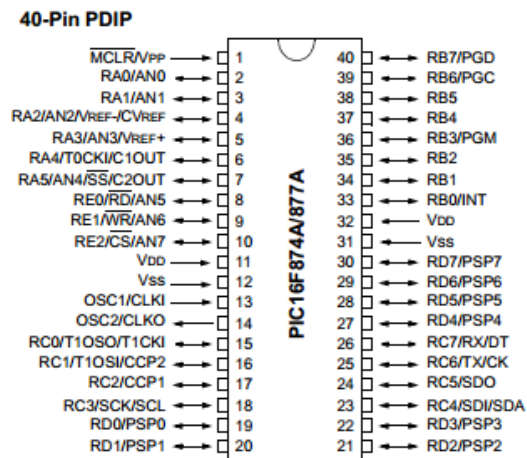


Figura 5.1.14 Micro controlador Pic16F877A

Por lo que se decidió buscar otras opciones disponibles pre ensambladas en el mercado, siendo la mejor de las opciones y mas económica el micro controlador Arduino MEGA 2560 ver Figura 5.1.15 como unidad central de proceso, el cual consta de 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales mas de 30 salidas digitales, y adicionalmente la posibilidad de insertarle un modulo Ethernet para la comunicación vía internet.

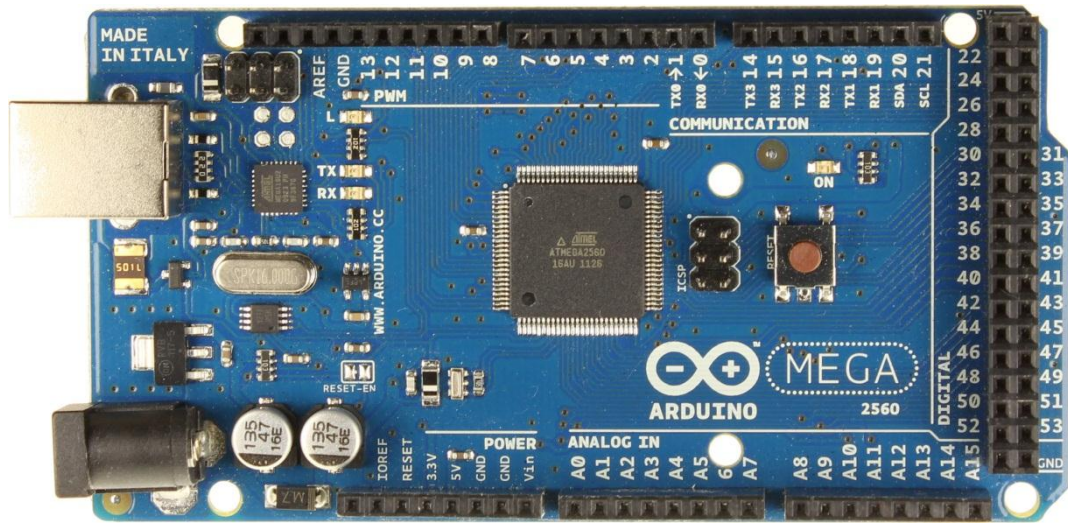


Figura 5.1.15 Arduino MEGA 2560

5.1.3 Etapa de salidas y actuadores.

La etapa de salida en este proyecto consta de acoples ópticos y sistemas de potencia, que permiten la manipulación de todos los sistemas periféricos, como válvulas quemadores y motores, según el dispositivo a controlar se diseño un sistema individual, las válvulas seleccionadas trabajan bajo 120v ac los motores hasta 240v ac y los quemadores a 120v, cada con requerimientos de potencia distintos.

5.1.3.1 Válvulas

Las válvulas seleccionadas para el proceso de control del flujo, deben cumplir con ciertos requerimientos, tanto de seguridad como de funcionalidad, deben adaptarse para el trabajo con fluidos líquidos, gaseosos y de materia orgánica, es de especial cuidado la forma en que las válvulas son accionadas, pues en un ambiente en el que se labora con gases inflamables no es permitido interruptores mecánicos de contacto, que puedan generar algún tipo de chispa, dentro de los dispositivos no permitidos están los relés o contactores mecánicos pues estos al ser accionados generan un chispa tanto al momento de conducción como al momento en que es desactivado, por esta razón muchas de las válvulas en el mercado que podían ser utilizadas fueron descartadas, otro requerimiento de las válvulas era su tamaño y posibilidad de adaptarse a una tubería de hasta 3 pulgadas de diámetro, lo que reduce aun mas las posibilidades , pues en el área industrial existen tamaños de válvula muy grandes o muy pequeñas.

Válvulas para Fluidos:

Las válvulas destinadas a fluidos líquidos, deberán soportar un tubería de hasta 3 pulgadas de diámetro, con un presión menor o igual a 100 psi, y deberán cumplir con las normas de seguridad del NFPA, para el proyecto se selecciono a la empresa “Jefferson” especializada en la fabricación de válvulas para procesos en los que se manipula gas natural en la Figura 5.1.16 se muestra una muestra de las válvulas a utilizar esta electroválvula cuenta con las siguientes características técnicas:

- Normalmente cerrada.
- Servo operada 120v ac.
- Conexiones roscadas hasta 3”.
- Cuerpo de bronce o acero inoxidable.
- Pistón de latón, acero inoxidable u otros.
- Bobina: encapsulada hasta 150° C (302° F) recubrimiento de hilado de vidrio e impregnación aislante.

Esta válvula es adecuada para el uso con agua fría o caliente, vapor de agua a baja presión, o tratamientos de aguas, una de las características mas importantes es la bobina del sistema de accionamiento la cual esta recubierta y aislada para evitar chispas y problemas de seguridad, cumple además con los requerimientos de presión máxima pues soporta hasta 105 psi.



Figura 5.1.16 Válvula para fluidos líquidos [16]

Válvulas para gases naturales:

Al igual que con las electroválvulas para líquidos las destinadas a gases naturales deben cumplir con las especificaciones de la NFPA en cuanto a parámetros de seguridad, para cumplir con los criterios se selecciono la misma empresa Jefersson la cual provee la electroválvula serie 1388 ver Figura 5.1.17, la cual consta de las siguientes características:

- Normalmente cerrada.
- Servo operada 120v ac.
- Acción directa. No requiere presión diferencial mínima para operar.
- Para baja y alta presión.
- Cuerpo de aluminio
- Conexiones roscadas hasta 3”.
- Apertura regulable
- Capacidad hasta de 75 psi

Esta válvula es adecuada para el uso con gas natural, para este proyecto gas metano, una de las características mas importantes es la bobina del sistema de accionamiento la cual esta recubierta y aislada para evitar chispas y problemas de seguridad, cumple además con los requerimientos de presión máxima pues soporta hasta 75 psi.



Figura 5.1.17 Electrovalvula para gas natural [16]

5.1.3.2 Bombas de trasiego y compresores

Debido a la gran variedad de motores disponibles en el mercado y la gran variedad de sistemas de succión, para líquidos, o materia espesa al momento de la finalización de este proyecto la empresa no ha tomado la decisión del tipo de bombas a utilizar, en este punto se definieron los parámetros máximos a los que el sistema debería ser expuesto, como parámetros máximos se define un motor trifásico con un consumo de al menos 30A por fase a 120 v o de 15A a 240v ac debido a estos requerimientos de potencia se diseña un sistema de control y acoplado ópticamente y un sistema basado en tiristores para el manejo de la potencia para un total de 3 motores con los máximos especificados.

El caso de los compresores de gas es similar al de las bombas de trasiego pues en este caso los compresores para gas son más complicados de conseguir y al igual que el caso de las bombas la empresa no ha tomado la decisión al momento de la finalización de este proyecto, del tipo de compresor a utilizar de nuevo se determinan los parámetros máximos posibles para un compresor de este tipo, y puesto que la presión a la que gas será almacenado no será mayor a 25 psi los compresores no deben ser de mucha potencia por lo que se decide que sean de una sola fase a 120v y con un consumo posible máximo de 8A, para lo cual se diseñara otro sistema de potencia para controlar al menos 2 compresores de gas en la siguiente sección se describirá en detalle el diseño de las etapas de electrónica de potencia utilizadas para controlar los motores.

5.2 Descripción del Hardware.

El sistema de control para el biodigestor consta de cuatro módulos diseñados específicamente para cada función, en la Figura 5.2.1 se muestra dentro de la etapa de procesamiento de la información un bloque llamado “promediador de señal analógico” el cual desempeña la función de tomar la información de los tres sensores de temperatura instalados dentro del tanque de producción de gas, debido a que el tanque debe permanecer a una temperatura constante y dado el tamaño del tanque es de 6m de largo es muy probable se generen áreas de distintas temperaturas, definidas como lo son la entrada de materia nueva con un temperatura ambiente, a la mitad del tanque un área estable y a la salida del mismo dadas estas variaciones de temperatura, se decide promediar la temperatura a lo largo del tanque, ahí es donde el modulo promediador entra en acción toma las temperaturas y las promedia, de manera que el controlador tome solo lecturas promedio.

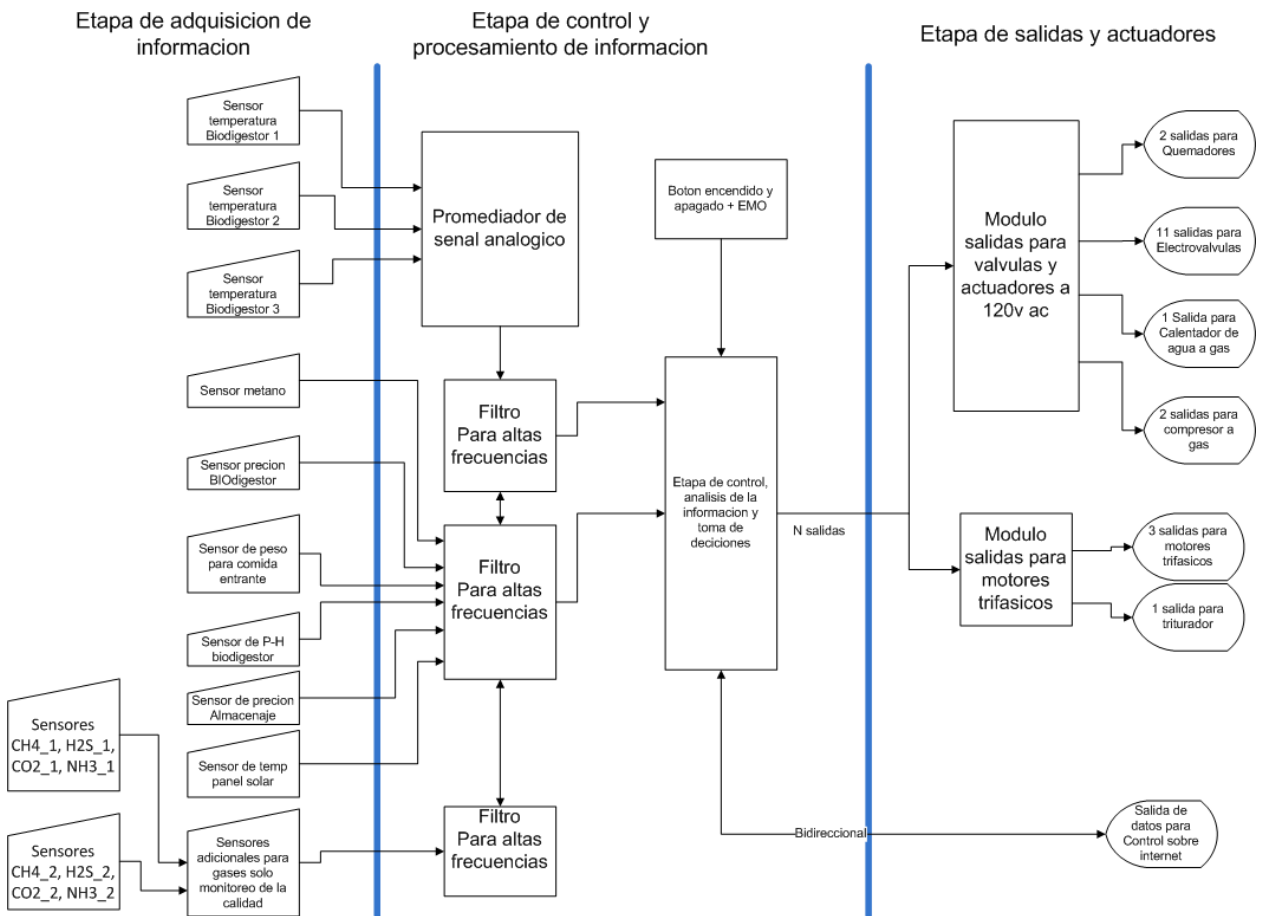


Figura 5.2.1 Diagrama final en bloques del sistema de control

El siguiente modulo toma las señales provenientes de todos los sensores y las filtra para evitar lecturas erróneas debido al ruido eléctrico, que normalmente es de altas frecuencias, este modulo es llamado, "filtro para altas frecuencias" ubicado dentro de la etapa de control y procesamiento, en la figura se observa que se divide en 3 secciones distintas, pero conforman una solo unidad de filtrado.

La etapa de salidas esta conformada por dos módulos, encargados de la parte de potencia del sistema estos módulos están encargados de controlar motores trifásicos y monofásicos, además de electroválvulas para gases y fluidos, el modulo llamado “modulo de salidas para válvulas y actuadores trabajara únicamente a 120v ac cualquier otro nivel de tensión no estará permitido esto con acuerdo con las necesidades de las válvulas, quemadores de gas y compresores para gas, el siguiente modulo es el encargado del control de los motores trifásicos del biodigestor, este modulo esta compuesto por dos etapas una de aislamiento óptico y señal de control a 24v dc y la otra etapa ubicada en las cercanías de motor que básicamente es un circuito triac opto acoplado capaz de manejar hasta 40 A a 120v ac.

Es importante aclarar que cada modulo, fueron diseñados bajo las recomendaciones NFPA y se apega a las normas de seguridad para manejo y manipulación de gases naturales inflamables a continuación de describirá cada modulo con su diseño en circuito y además su diseño para una implementación en tarjeta PCB.

5.2.1 Promediador de señal analógico.

Como se menciona anteriormente este modulo se encarga de tomar la señal de tres sensores analógicos en este caso de temperatura y calcular sus promedios, el diseño se realizo de forma analógica con esta se reducen los costos y la precisión del diseño es aceptable para las necesidades del sistema de control y no requiere de ningún sistema micro controlado para operar en la

Figura 5.2.2 se muestra el diseño en circuito del sistema.

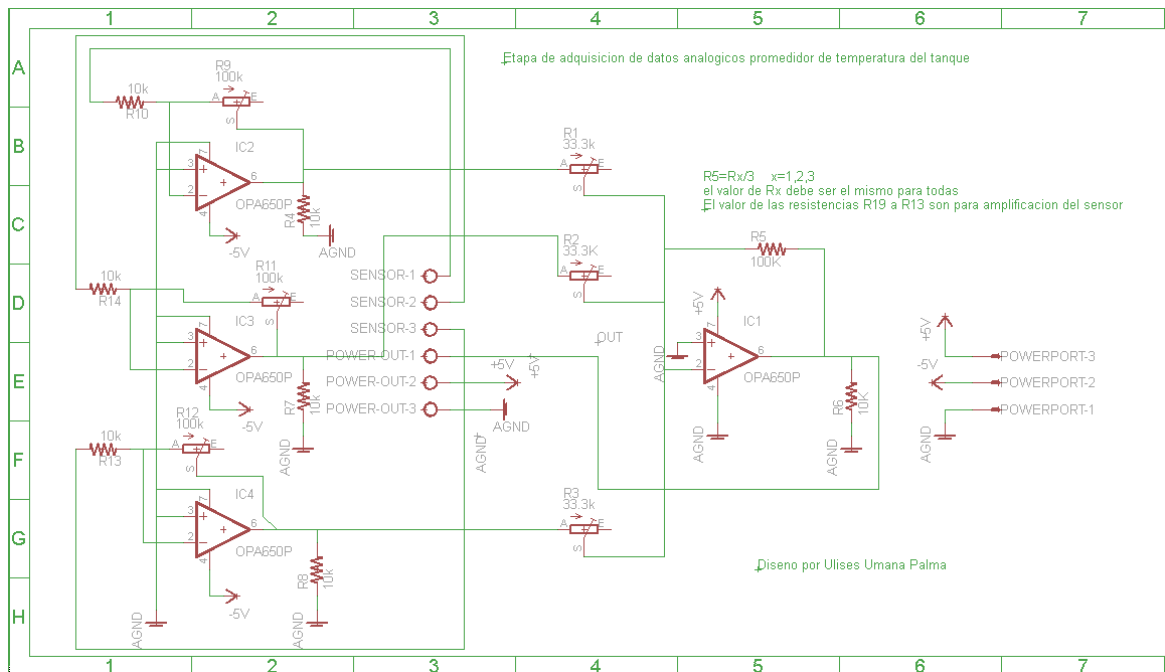


Figura 5.2.2 Promediador de señal analógico.

El circuito promediador consta de dos etapas una en la que primero la señal es amplificada proporcionalmente hasta un máximo de 5v DC, los amplificadores operacionales integrados IC2, IC3, IC4 conforman la etapa de amplificación, esta etapa

tiene la característica que es una etapa inversora por lo que la tensión de salida será negativa en cada uno de los puntos (6) de los amplificadores, cada una de estas salidas de tensión negativa entra a la siguiente etapa conformada por el amplificador operacional IC1 el cual mediante la configuración realizada por las resistencias R1,R2,R3 y R5,R6 conforma la etapa que realiza el promedio de las señales provenientes de los integrados IC2, IC3, IC4, la etapa promediadora es a su vez un etapa inversora por lo que la tensión de las tres entradas negativas se cancelan los negativos de cada una de las señales amplificadas y el resultado es una señal positiva equivalente al promedio de las tres temperaturas.

El circuito esta realizado de manera que se pueden ajustar las ganancias para cada una de las señales en dos puntos distintos, para el caso de la primera señal de muestra en el integrado IC2, el primer punto de ajuste lo da la resistencia R9 el ajuste varia desde aproximadamente 1 hasta 100 de ganancia, el segundo punto de ajusta esta localizado en la resistencia R1 este ajuste no controla la ganancia de amplificación sino mas bien el ajuste del promedio y si alguna de las señales debe tener mas peso en el promedio que las otras dos, para cada una de las señales es posible ajustar los dos parámetros tanto la ganancia como el peso que tendrá en el calculo del promedio.

Además del diseño del circuito se diseño una placa para circuito impreso o PCB que cumple con lo requerimiento de seguridad y funcionalidad para una mejor implementación del sistema en la Figura 5.2.3 se muestra la placa PCB en una vista superior con cada uno de los componentes necesarios para una mejor vista se han eliminado las pistas de circuito tanto superior he inferior en la Figura 5.2.4 se muestran las pistas de cobre para el mismo circuito de la Figura 5.2.2.

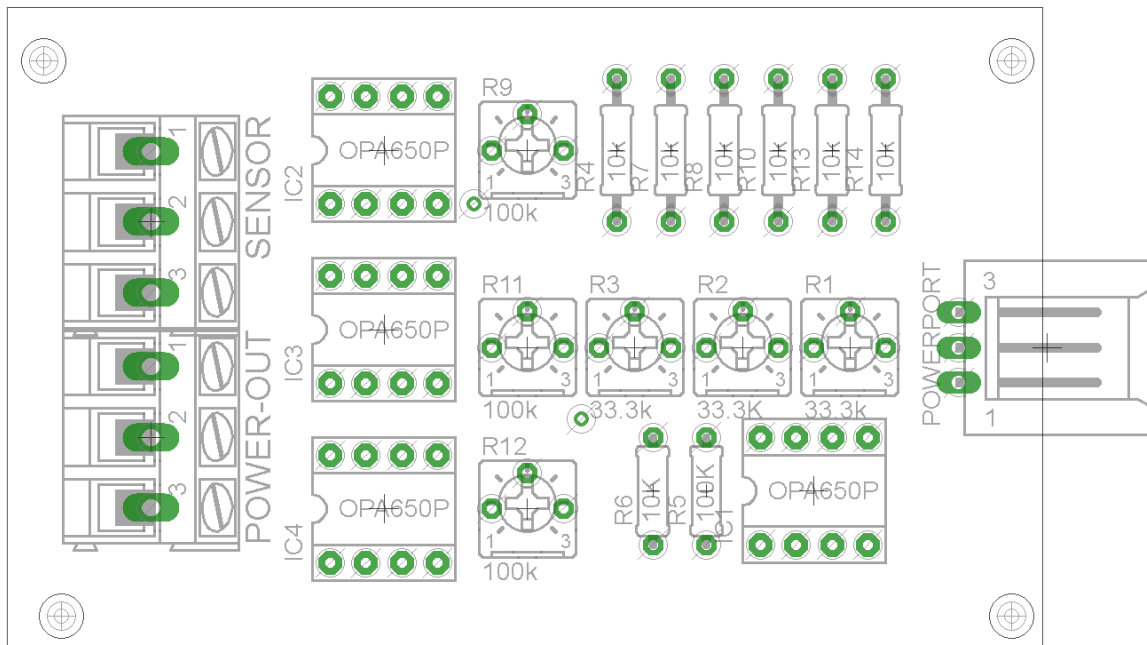


Figura 5.2.3 Placa PCB para circuito promediador

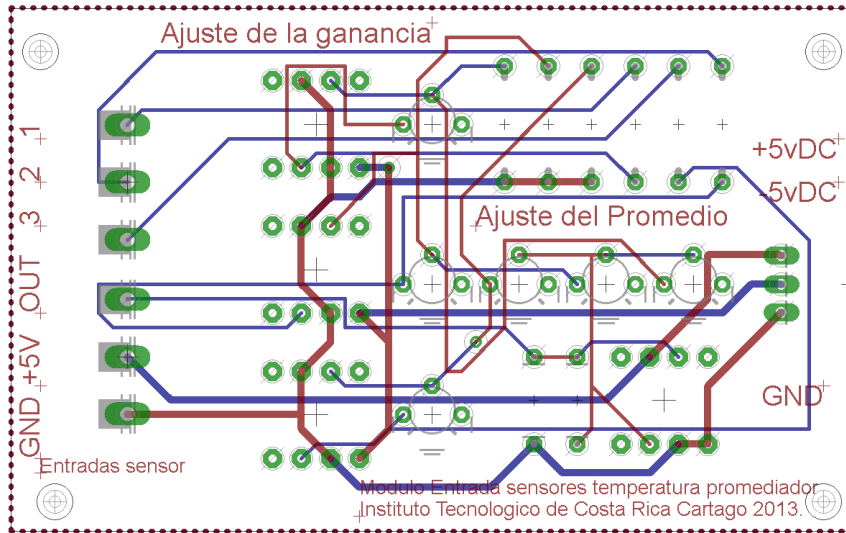


Figura 5.2.4 pista de cobre para el circuito promediador de temperatura

El diseño de las placas de circuito se realizó con un software de licencia abierta como lo es EAGLE, por lo que no representa problemas de licencias o costos adicionales al proyecto en la siguiente Figura 5.2.5 se muestra el circuito con todos sus componentes, etiquetas y valores de componentes necesarios, se da una muestra de como se verá una vez se fabrique el componente, además se omitió mostrar la placa de tierras necesaria para reducir la influencia del ruido eléctrico, con fin que se pueda observar de una mejor manera el circuito.

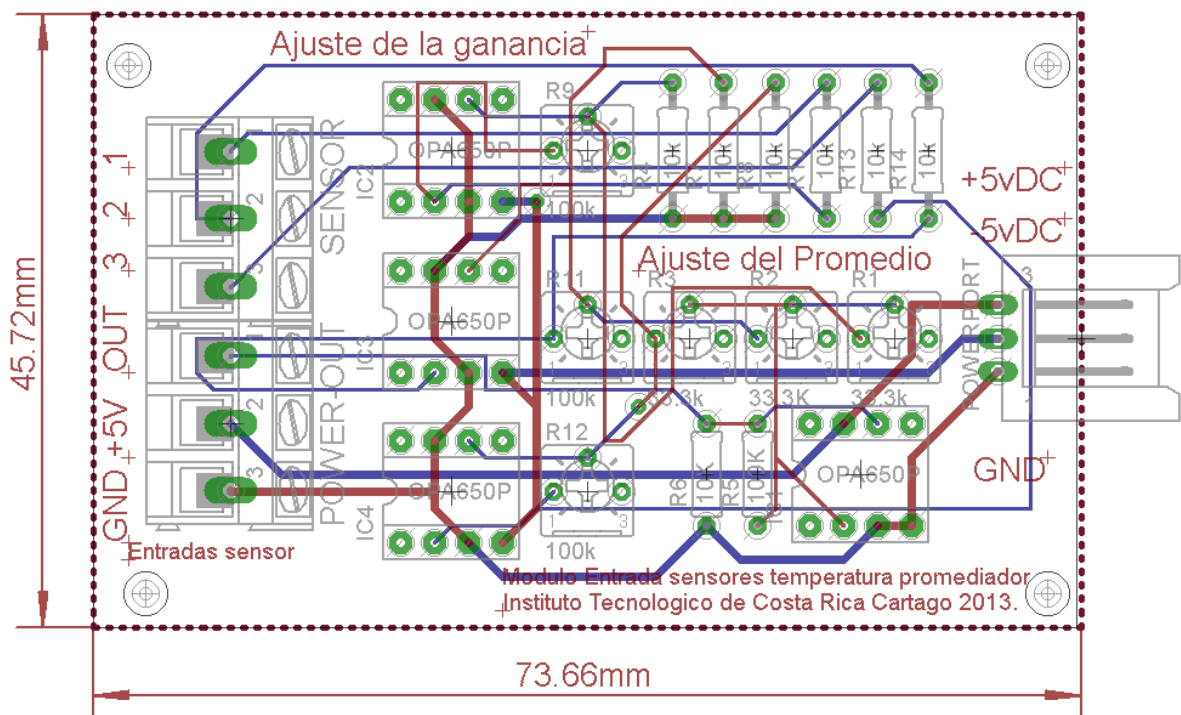


Figura 5.2.5 Circuito promediador PCB Completo

5.2.2 Filtro para altas frecuencias

El filtro es una etapa importante, pues toma las señales y las “limpia” de ruido eléctrico mayor a 60 HZ, producto de interferencias en los sistemas de alimentación, interferencias de alta frecuencia por los sistemas de conmutación digitales, y de electrónica de potencia, dado que los sensores utilizados son amplificadas y los que no son amplificadas como los de temperatura se amplificaron en una etapa previa, no existe la necesidad de utilizar filtros activos o con amplificación, por esto se decidió el uso del filtro mas simple un filtro RC paso bajos ajustable, para que sea flexible y se puede mover el ancho de banda a la frecuencia deseada en la Figura 5.2.6 se muestra el diseño para las entradas analógicas del sistema.

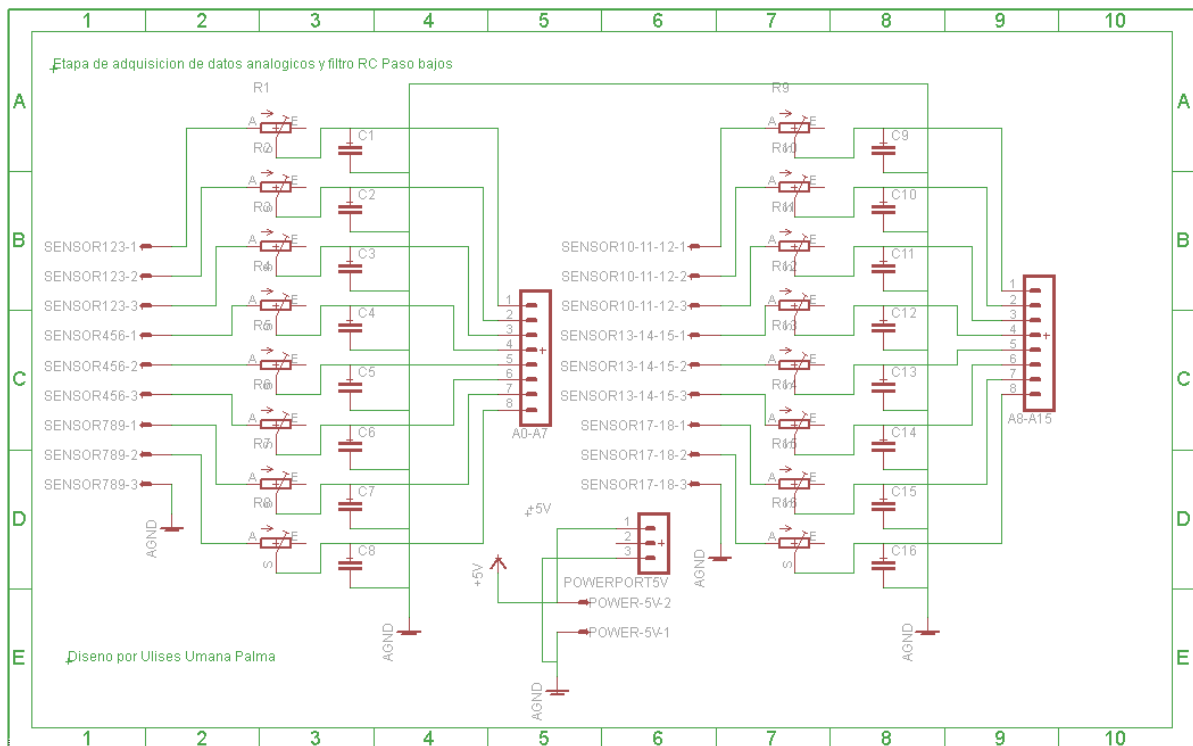


Figura 5.2.6 Circuito filtro RC paso Bajos

Para este diseño se elaboro un circuito impreso que cumple con todas las normas de seguridad y desempeño esperados, para un ambiente en el cual se manipulan gases explosivos y sustancias peligrosas en la Figura 5.2.7 se muestra el diseño de la tarjeta sin las pistas de cobre para una mejor vista de la placa, las resistencias variables colocadas son de precisión y ajustables con tornillo para evitar desajustes accidentales por manipulación los valores de frecuencia para este sistema pueden ser modificados sin ningún problema en el futuro si fuera necesario, para ello se deberá respetar la relación de la ecuación mostrada en la Figura 3.3.9 del marco teórico.

Los condensadores se han diseñado para un valor único de 27nF, cualquier diferencia en la tolerancia deberá ser ajustada por medio de la resistencia variable de 100kΩ, el diseño por su constitución analógica no necesita una tensión de alimentación

para trabajar lo único que necesita es una conexión a tierra y que este referenciada con todo el sistema, este incorpora además dos puertos de conexión para alimentación de +5v los cuales serán utilizados para darle alimentación a los sensores del sistema que si requieren de una alimentación de +5v.

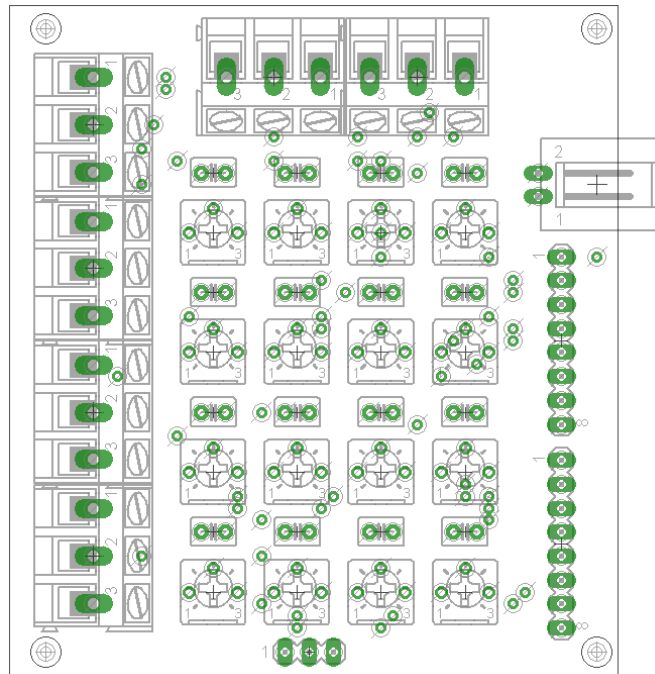


Figura 5.2.7 sistema de filtrado de señales.

Las placas de circuito han sido diseñadas pensando en la compatibilidad con el sistema Arduino por lo que los puertos de conexión son adecuados y tienen la misma estructura constructiva que el micro controlador Arduino mega 2560, esto facilitara la instalación del sistema y reducirá el tiempo de puesta en marcha en la Figura 5.2.8 se muestra el circuito PCB completo con todos sus detalles y al igual que en el diseño del sistema promediador se han omitido las placas de tierra con el fin de mostrar un mejor vista, no obstante es necesario aclarar que las placas de tierra están incluidas en el diseño y son necesarias al momento de fabricar las placas.

Cada placa diseñada en este proyecto no sobre pasa los 8 cm de longitud en ninguno de sus lados por lo que son circuitos compactos que permiten un fácil instalación abarcando poco espacio en el panel de control de la planta, facilitando el cableado y el diseño estructural pues no necesita ningún diseño adicional.

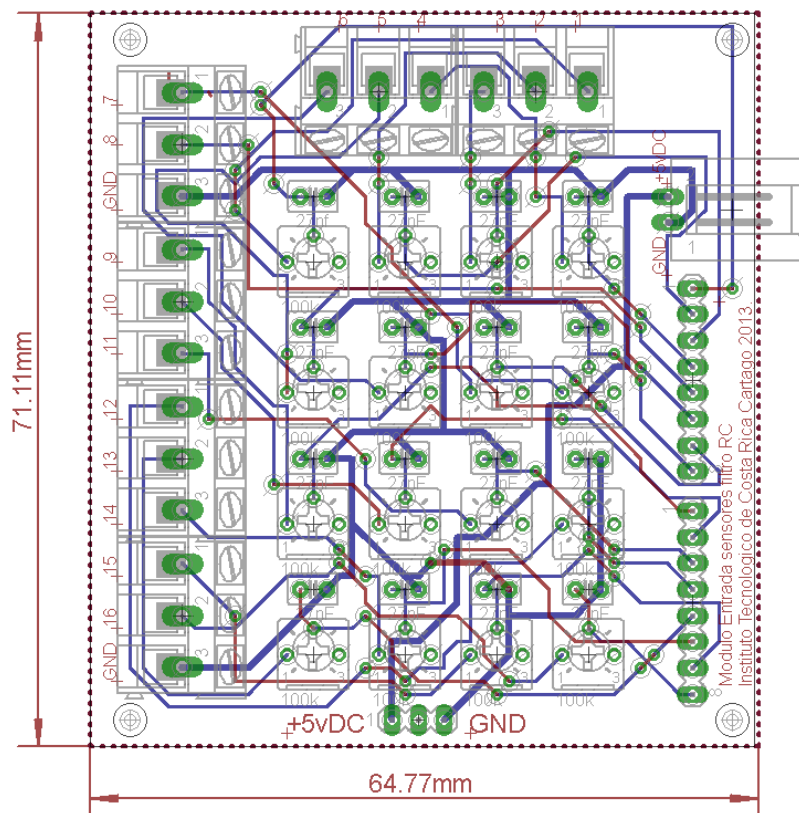


Figura 5.2.8 Circuito de filtrado RC completo PCB

5.2.3 Modulo de salidas para actuadores y electroválvulas.

Una vez el micro controlador ha recibido todas las señales provenientes de los módulos de adquisición y filtrado, toma las decisiones y envía direcciones a los actuadores para que a su vez activen los motores o válvulas según el proceso que se esté llevando a cabo, cada acción será conducida por un modulo distinto si la acción será realizada por un motor la acción será gobernada por el modulo de control para motores, si por el contrario la acción es llevada a cabo por una válvula, un quemador de gas o un compresor, la acción será gobernada por el modulo de salidas para actuadores y electroválvulas, esto debido a que cada modulo se gobierna bajo distintos niveles de tensión y controlan de forma distinta los dispositivos.

Los dispositivos instalados en este modulo serán controlados exclusivamente por una señal alterna de 120v, y únicamente por esta nivel de tensión el diseño del sistema contempla esta característica, puesto que muchas válvulas, quemadores y compresores se encuentra a distancias considerables del control central, lo mas conveniente es utilizar un control a distancia con una tensión media de 120v ac, así evitar caídas mayores de tensión y un mal accionar de los dispositivos, el diseño de este modulo se baso también como en los dos módulos anteriores en las recomendaciones de la NFPA con respecto a la seguridad que deberá tener el sistema para laborar bajo condiciones explosivas, tomando en cuenta que no es permitido ningún dispositivo que genere o produzca algún tipo de chispa, todos los componentes del sistema se han seleccionado de estado solido, incluyendo los dispositivos encargados de conmutar entre 0 y 120v ac se opto por adquirir un Triac que soporte hasta 8A y adicionalmente opto acoplado todo esto encapsulado en

un solo chip integrado, adicionalmente a esto, en la etapa previa se realiza el diseño del acople entre el Triac, el micro controlador y los actuadores de forma óptica así evitar daños al sistema de control digital, en la Figura 5.2.9 se muestra el diagrama del circuito diseñado con el fin de agrupar todas las funciones en una sola tarjeta integrada, el sistema, este modulo a diferencia de los dos anteriores (Figura 5.2.5, Figura 5.2.8) no requiere ningún tipo de ajuste, u calculo en el futuro , si por algún motivo se modifican la válvulas o los actuadores, el modulo estará en capacidad de controlar cualquier carga, resistiva o inductiva que consuma como máximo 8A a 120v ac.

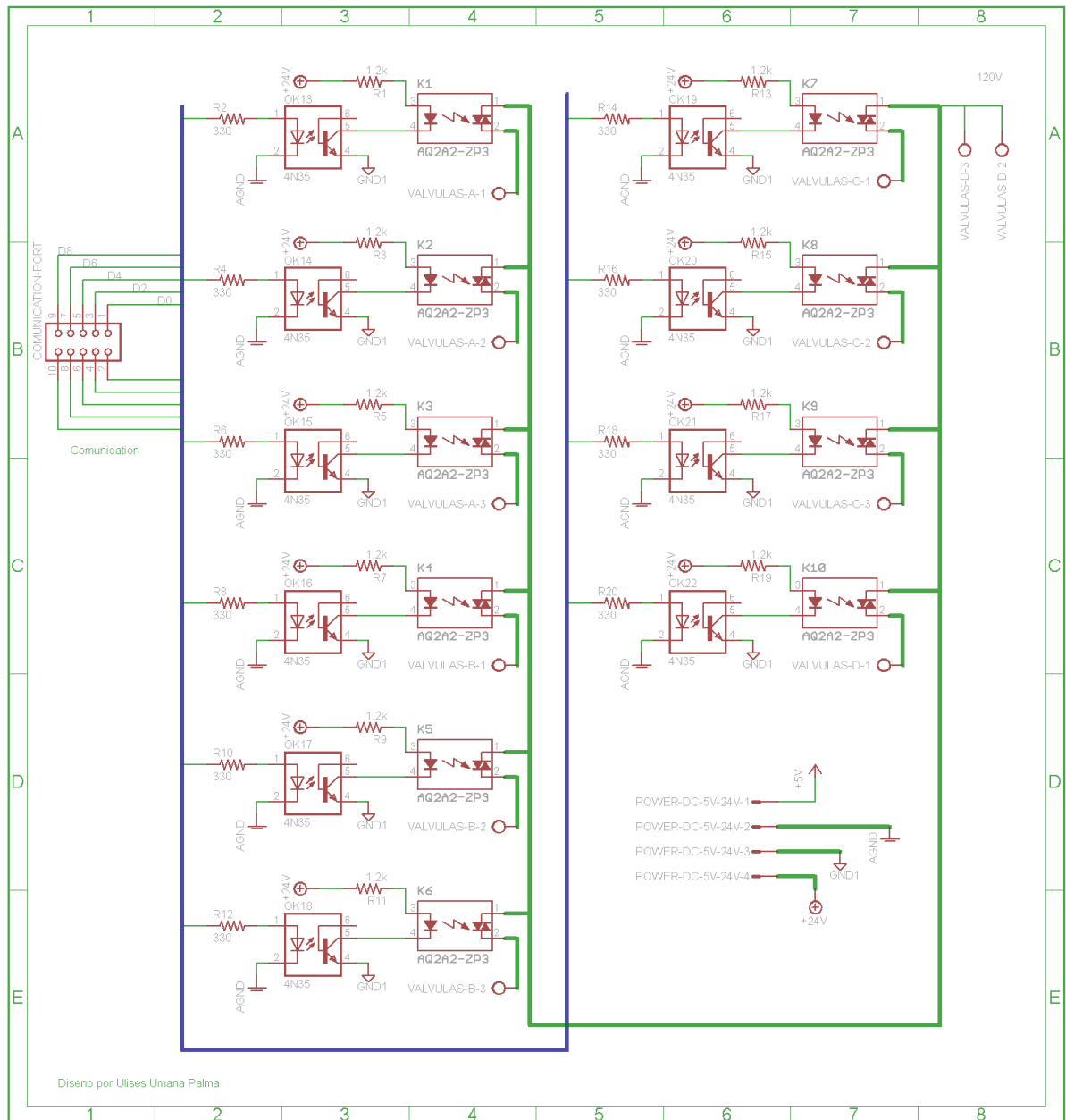


Figura 5.2.9 modulo de Salidas para actuadores y válvulas.

Este modulo trabaja a 3 niveles de tensión 5v DC, 24v DC, y 120v ac @60Hz por lo que es necesario un cuidado adicional durante la instalación cada una de las salidas de este diseño tiene un acople óptico doble ver Figura 5.2.10 el primero formado por una red de acople óptico a base de transistor (4n35), esta primer etapa funciona con 5v dc, recibe del control central una señal digital y la amplifica a un nivel de 24v DC, en la segunda etapa la de potencia (K2), necesita un nivel de 24v DC para poder controlar el tiristor de potencia, se a calculado el circuito de tal manera que sea compatible con los sistemas industriales a base de PLC que trabajan bajo señales de 24v DC, una vez se ha activado una señal digital en el controlador esta será amplificada hasta una señal de 120v ac con capacidad de hasta 8A.

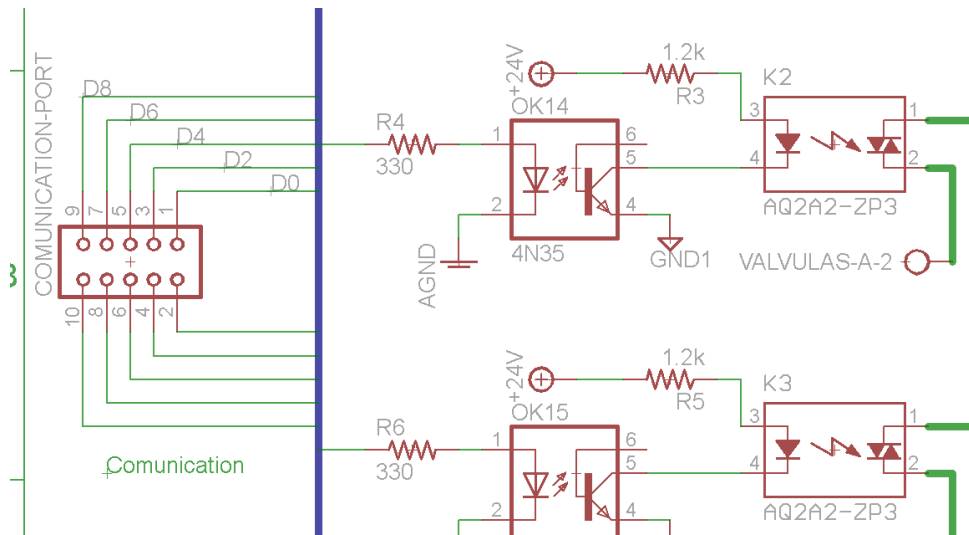


Figura 5.2.10 Etapa de salida actuadores

Al igual que en los módulos anteriores se diseño el sistema en tarjeta de circuito impreso bajo las normas y parámetros de seguridad para el trabajo en ambientes explosivos, en la Figura 5.2.11 se muestra la tarjeta de circuito impreso con sus componentes principales, se han omitido las pistas y leyendas para una mejor vista, es importante aclarar que los interruptores de potencia están previamente encapsulados, y no requieren del montaje de un disipador de calor y puesto que el diseño contempla que la potencia nominal de trabajo de cada Triac no alcanzara la máxima capacidad en ningún instante de su funcionamiento normal, no se espera un calentamiento excesivo del encapsulado.

En la Figura 5.2.12 se muestra el sistema completo con las leyendas y pistas de cobre, se han omitido las placas de tierra por mejorar la vista del sistema, la placa de circuito posee además los orificios para su montaje mecánico, no se espera que debe soportar ningún tipo de fuerza aplicada, o vibración por lo que los orificios son del tamaño justo para soportar únicamente la placa de circuito.

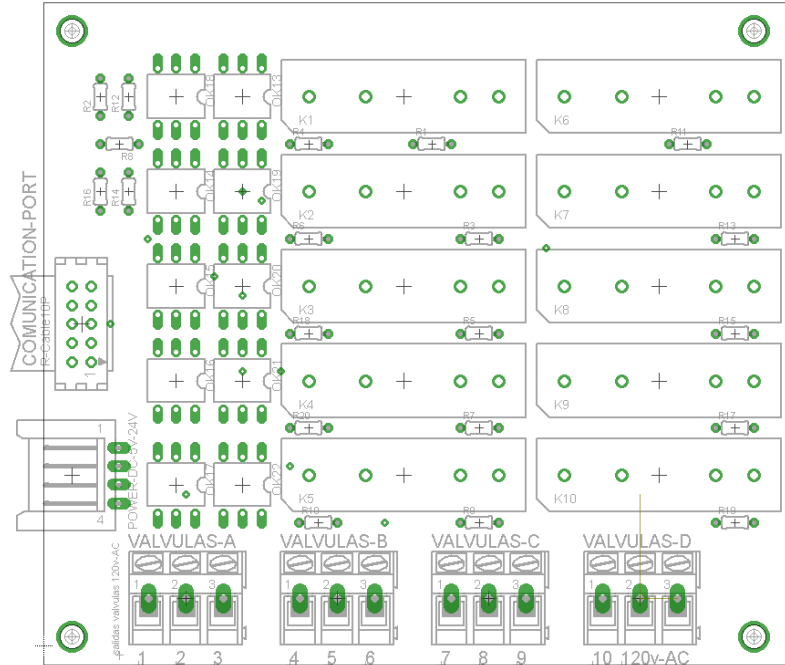


Figura 5.2.11 placa de circuito para modulo de salidas y actuadores

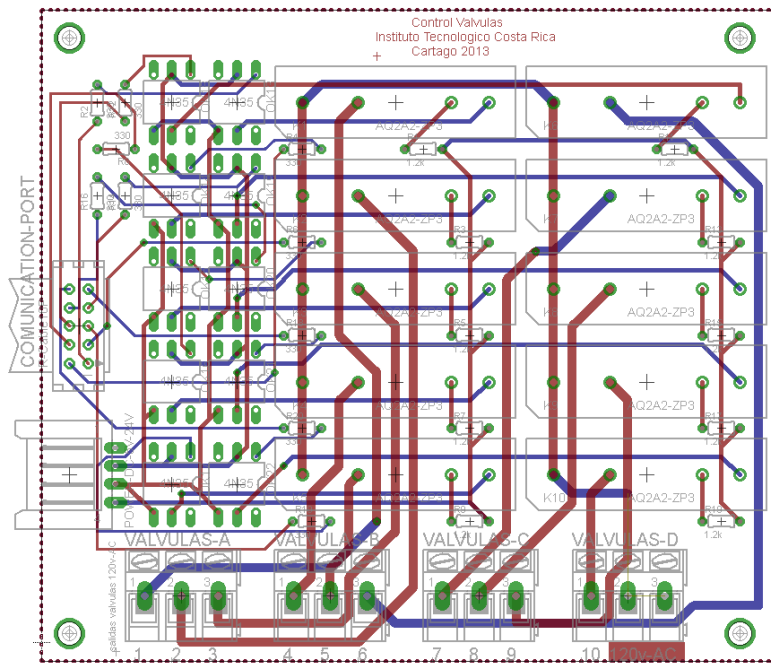


Figura 5.2.12 Placa PCB completa circuito salidas actuadores

5.2.4 Modulo de salidas para motores trifásicos.

El diseño para el control de los motores trifásicos se enfoco en una solución similar a la utilizada en la etapa de salidas para actuadores y válvulas, salvo que en este caso los motores son trifásicos, y con un consumo de potencia mucho mayor de 120v a 40A o 240V y 20 A, por lo cual se diseño de una forma distinta, se utilizaran tiristores de con la capacidad de soportar hasta 40 A, como el mostrado en la Figura 5.2.13, este circuito integrado posee internamente un sistema opto acoplado para activar el Triac de potencia y todo esta encapsulado en un solo paquete además se puede activar hasta con 32v DC, y esta montado sobre una placa metálica permitiéndole disipar el calor, cuenta con dos orificios en los cuales debe instalarse un disipador de calor, el calculo del disipador deberá realizarse una vez se halla definido el tipo de motor que se le conectara, basándose en las características de consumo del motor se deberá calcular el disipador de calor, se debe tener cuidado en la instalación de estos dispositivos pues no es posible instalarlos mas de un chip directamente sobre una placa metálica, pues la placa trasera tiene conexión con el chip internamente y se produciría un corto circuito al trabajarse con fases distintas.



Figura 5.2.13 Triac opto acoplado de 40A KYOTO

En la Figura 5.2.14 se muestra el circuito diseñado para el control de los motores por cada fase se utiliza un triac como el mostrado en la Figura 5.2.13 el modulo es capaz de controlar individualmente cada fase de cada motor, tiene la capacidad de controlar un total de cuatro motores trifásicos, o 12 motores monofásicos, el sistema es flexible en cuanto a la operación, se pueden regular los ángulos de disparo para cada tiristor individualmente, en caso de ser necesario, para el diseño actual los ángulos de disparo de cada tiristor es de 0° con un ángulo de conducción de un poco mas de 180° entregando la máxima potencia a la carga, la carga en este caso son motores trifásicos pero puede controlar cargas resistivas también, con la restricción que no superen los limites para los que el sistema fue diseñado.

El circuito mostrado en la Figura 5.2.14 es básicamente la interfaz entre el sistema de control digital y la etapa de potencia formada por el motor y el triac de la Figura 5.2.13 el sistema se encarga de enviar una señal de 24v DC hacia cada uno de los tiristores de cada una de las fases de los motores, cada señal esta eléctricamente aislada para protección del sistema digital el circuito agrupa las señales en grupos de 3 el neutro en los motores no se interrumpe esto en el caso que el motor posee una conexión en Y si el motor tiene una conexión en delta, el neutro no seria necesario, se asume que tanto el motor como las cargas estarán balanceadas.

cada motor esta activado por una salida digital , esta agrupado en 3 un optoacoplador por fase y 3 por motor, se asume una coneccion en (Y) u un neutro que no se interrumpe

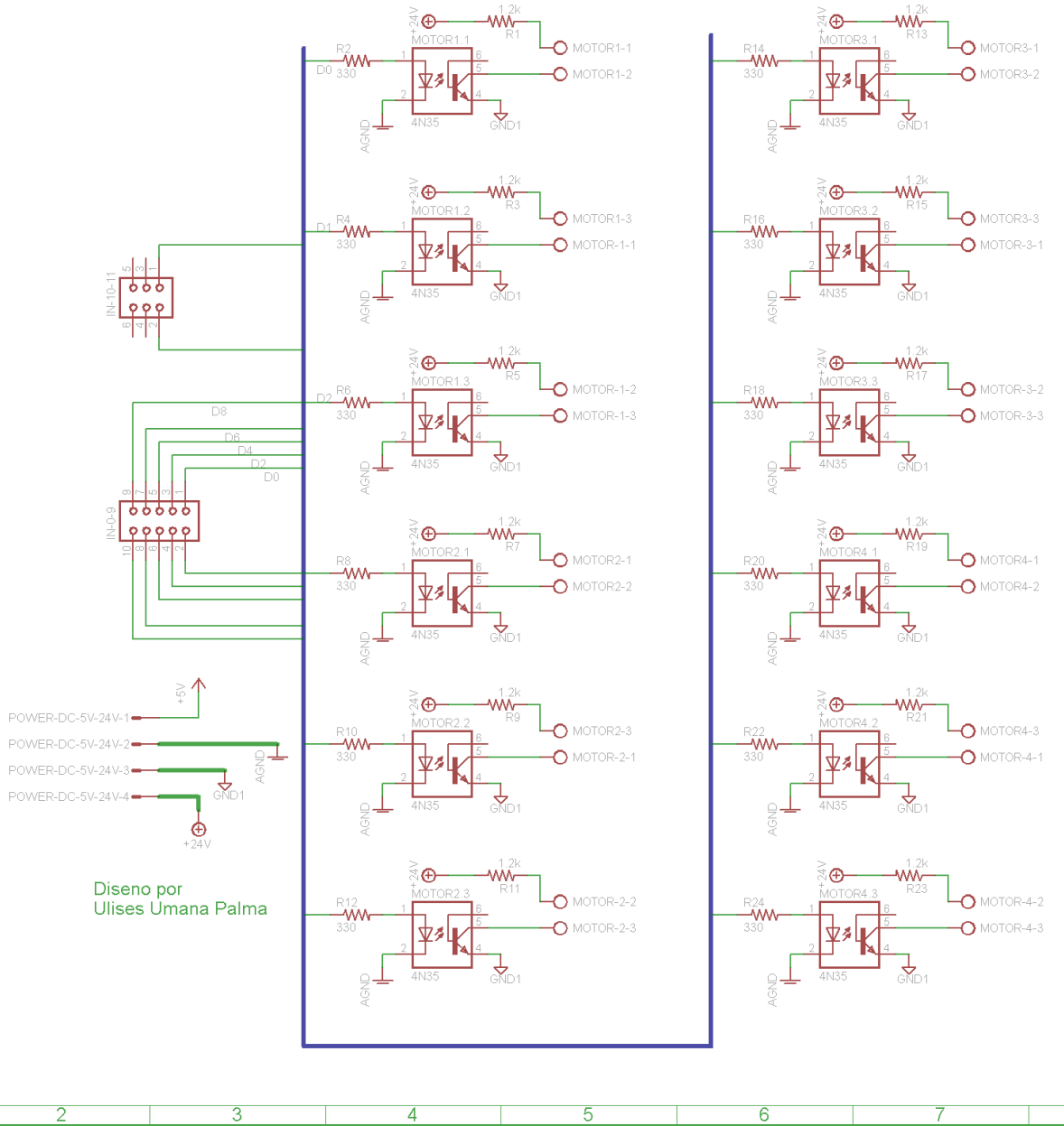


Figura 5.2.14 Circuito de control para motores trifásicos

Para poder instalar el modulo se diseño una placa de circuito integrado al igual que todas las placas anteriores, esta placa de circuito debe cumplir con todos los estándares, y aspectos de seguridad, para la manipulación en ambientes con gases inflamables, en la Figura 5.2.15 se muestra la placa con todos sus componentes, en una vista superior.

El diseño de este sistema contempla la interconexión con el micro controlador Arduino mega 2560, por lo que los conectores del sistema se acoplan de manera perfecta al micro controlador por medio de fajas de planas de conexión, adicionalmente los mecanismos de sujeción para los cables son a base de tornillo por lo que se asegura un

sujeción correcta del cableado hacia los motores así evitar falsos contactos, para cada una de las fases de cada motor se deben instalar dos señales la referencia y la señal de activación correspondiente, por lo tanto existen 24 conexiones en este modulo disponibles para los cuatro motores, en la Figura 5.2.16 se muestra el sistema completo con sus pistas de cobre, la placa de tierras se a eliminado solamente para poder mostrar de una mejor manera el sistema.

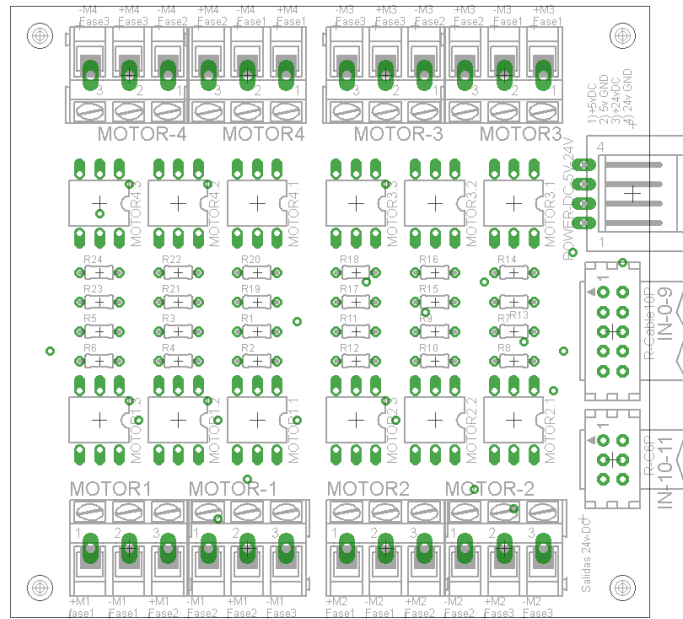


Figura 5.2.15 Circuito de control para motores PCB

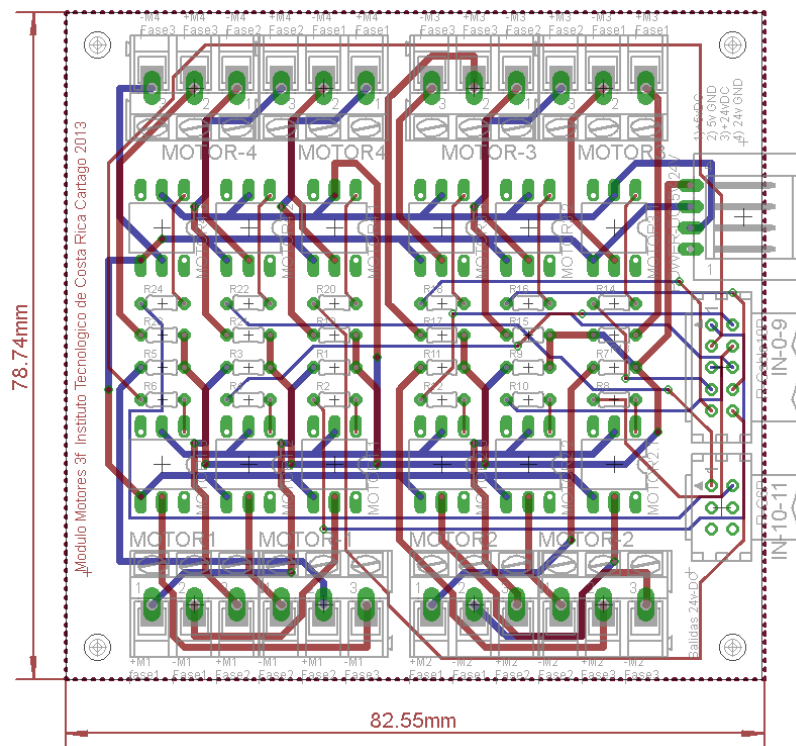


Figura 5.2.16 Circuito de control para motores trifásicos PCB completo

5.3 Descripción del software

El software diseñado para este proyecto consta de dos partes principales, una de las partes es el código para el micro controlador programado en el chip, y la segunda parte es una página web destinada a mostrar toda la información del sistema, como temperaturas presiones o estados de los actuadores y electroválvulas del sistema.

5.3.1 Rutinas para el micro controlador

Las rutinas programadas para el micro controlador se han separado en bloques funcionales de manera que la depuración y desarrollos posteriores sea más sencillos a continuación se muestra una lista de las variables mas importantes utilizadas, se debe aclarar que cada variable utilizada en el código para el micro controlador tiene su correspondiente variable llamada de la misma forma en la pagina web, a modo que sea de fácil interpretación para futuras implementaciones o mejoras en la Tabla 5.3.1 se muestra la lista de variables del sistema y su código asignado para el software.

Tabla 5.3.1 Variables del sistema

Valvulas	Descripcion	Motores	Descripcion	Quemadores	Descripcion	Sensores	Descripcion
V_0	agua	MT_1	Bomba #1	Q_1	Quemadores para	M_1	Peso de comida Kg
V_1	ingreso comida	MT_2	Bomba #2	Q_2	Quemadores para	TEMP_1	Temperatura del biodigestor
V_2	salida comida	MT_3	Bomba #3	G_1	Quemadores para	TEMP_2	Temperatura del calentador solar
V_3	control almacenamiento	MT_4	adicional en caso necesario			TEMP_3	Temperatura Calentador a gas
V_4	resirculacion gas	COMP_	Compreso gas1			TEMP_4	Temperatura adicional
V_5	hacia quemador1	COMP_	Compreso gas2			P_1	presion de gas del biodigestor
V_6	hacia compresor#2	S_1	scrubber			P_2	presion de gas del biodigestor
V_7	agua caliente solar	T_1	Triturador			CH4_1	Concentracion de metano
V_8	agua fria solar					H2S_1	Concentracion de sulfuro de hidrogeno
V_9	desechos organicos					CO2_1	Concentracion de dióxido de carbono
V_10	agua caliente a gas					NH3_1	Concentracion de amoniaco
						CH4_2	Concentracion de metano
						H2S_2	Concentracion de sulfuro de hidrogeno
						CO2_2	Concentracion de dióxido de carbono
						NH3_2	Concentracion de amoniaco
						P_H	P-H de la muestra dentro del bio digestor

Cada uno de los módulos programados para este sistema serán explicados mediante diagramas de flujo o código programado en casos que no sea necesario un diagrama de flujo, la siguiente es una lista de todos los módulos utilizados:

- void inicializacion ()
- void start_bio()
- void leer_sensores_analogicos()
- void leer_sensor_PH ()
- void control_temp()
- void subirDB()

Antes de explicar cada uno de los módulos anteriormente mencionados , se explicara a fondo los parámetros de inicialización del sistema, pues de estos parámetros depende el rendimiento de la planta, cada uno de los parámetros deberán ser ajustados al momento del montaje y las pruebas iniciales de funcionamiento en el siguiente párrafo se muestra el código del programa donde se definen los parámetros a los que el la plata deberá seguir.

```

//*****PARAMETROS DE LA PLANTA*****
//----- valores definidos minimos para la planta**** modificarlos para ajustar el modelo****
float peso_comida = 10.0; // valor en kg minimo permitido por la planta.
float porcentaje_agua= 50.0; // porcentaje de agua en relación a la cantidad de materia.
int presion_gas=75; //valor en % de la cantidad de gas almacenado limite máximo
int caudal_valvula =1000; // valor en ms que le toma a la válvula entregar un caudal de 1 litro.

//*****PARAMETROS DE LA PLANTA*****

```

Los parámetros necesarios de corregir según las necesidades y capacidades de la planta son como mínimo el peso de la comida mínimo para que la planta trabaje un peso de alimentos menor al definido por la variable peso_comida no permitirá que la planta trabaje, el porcentaje de agua, es muy importante en el proceso de descomposición pues determina la consistencia de la masa que entra al bio digestor, el valor de la variable controla el porcentaje de agua que se adicionara la comida es pesada antes de agregar el agua y durante el proceso de agregar agua se monitorea el peso del conjunto Materia + agua por lo que se tiene un control preciso de la cantidad de liquido que ingresa a la planta y esto únicamente con ajustar una variable.

Otra de las variables importantes del sistema es la presión del tanque de gas, esta indica la presión máxima a la que se desea permanezca el tanque por encima de esa presión se activan los sistemas de seguridad, de nuevo es un porcentaje de la presión máximo que soporta.

5.3.1.1 void inicializacion ()

El modulo de inicialización determina el estado inicial de todas las variables, del sistema, este modulo se ejecuta una única vez, al momento de inicio de la planta, asigna valores a variables, desactiva motores, válvulas y predispone al sistema para su encendió en la tabla se muestra el valor de las variables que representan el proceso de inicialización.

Tabla 5.3.2 Valores de inicialización del sistema

Valvulas	V_0 = false; V_1 = false; V_2 = false; V_3 = false; V_4 = false; V_5 = false; V_6 = false; V_7 = false; V_8 = false; V_9 = false; V_10 = false;
Motores	MT_1_A =false; MT_1_B =false; MT_1_C =false; MT_2_A =false;

	MT_2_B =false; MT_2_C =false; MT_3_A =false; MT_3_B =false; MT_3_C =false; COMP_1 =false; COMP_2 =false; S_1 = false; T_1 = false;
Quemadores de gas	Q_1= false; Q_2= false; G_1= false;

5.3.1.2 void leer_sensores_analogicos()

Este modulo se encarga de la lectura de todos los sensores analógicos del sistema el proceso lee los 16 puertos analógicos del micro controlador, y además efectúa el ajuste de la señal entrante mediante una operación para relacionar la medición de 0v a 5V a una medición con valores que van desde 0 hasta 1023 que es la capacidad máxima de resolución del convertidor analógico- digital, en la Figura 5.3.1 se muestra el proceso para leer cada uno de los puertos del sistema.

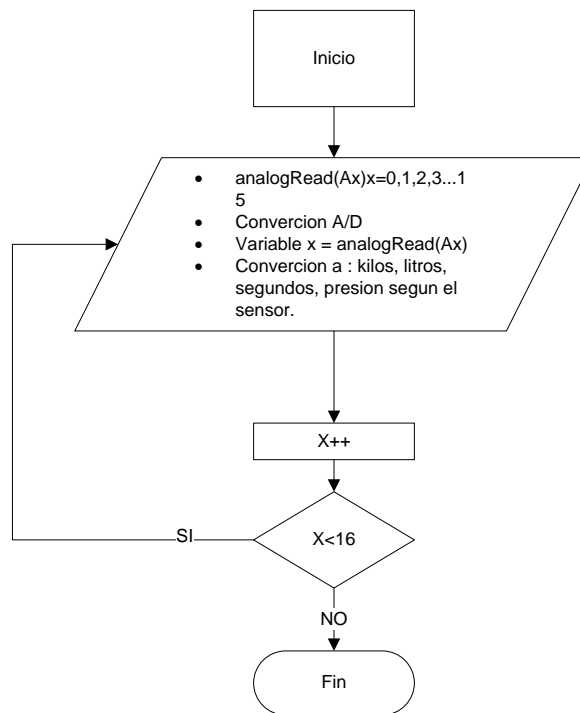


Figura 5.3.1 Diagrama de flujo para lectura de sensores analógicos

El código mostrado en el siguiente párrafo muestra el procedimiento seguido para un leer un sensor y el proceso de calculo seguido para ajustar la lectura.

```
float ctem1=1.0;
valor = analogRead(M_1a); // peso de la comida depositada.
M_1 = valor * (5.0 / 1023.0); ajuste para lectura de 0 a 1023
M_1 = M_1 *ctem1;
// segun el sensor dispuesto de debe modificar el valor de la cte para convertir a la unidad correspondiente
delay (50);
```

5.3.1.3 void leer_sensor_PH ()

El único sensor del sistema que no puede ser leído de forma analógica es el sensor de PH el cual trae incorporado una etapa digital con comunicación serial por protocolo RS232 a 38kbts/s, por lo que debe ser leído utilizando uno de los cuatro puertos digitales de comunicación con, lo que cuenta el micro controlador, además de leer el sensor por este medio es necesario programarlo, pues cada lectura es dependiente de la temperatura de la muestra, esto quiere decir que cada muestra o lectura tomada del sensor debe ser consistente con la temperatura a la que se esta tomando la medición, por esta razón cada vez que se lea el sensor se deberá leer primero la temperatura interna del tanque, y enviársela al sensor para que corrija la lectura, una vez se le a enviado la temperatura correcta al sensor de PH se procede a leer el dato de PH de la muestra, el sensor de pH cuenta con una serie de parámetros, o instrucciones, que le permiten interactuar con computadoras o sistemas de micro controlador, en el siguiente código se muestre la aplicación de los códigos para lectura y programación.

```
Serial3.println(TEMP_1);// envio al sensor de ph el valor de la temperatura, cada lectura debe tener el valor asociado correcto de temp
```

```
Serial3.println('/r'); // envio el fin de cadena
Serial3.println("r"); // configuro para unica lectura
Serial3.println('/r'); // envio el fin de cadena
delay(500); // tiempo para necesario para obtener el dato.
sensor_ph= sensorstring; // guardo la variable.
sensorstring = "";
sensor_stringcomplete = false; // reseteo la bandera
```

En el código se muestran algunas de las opciones disponibles del sensor de PH como por ejemplo el parámetro “r” que significa una única lectura, que también puede ser configurado para lecturas multiples, y constantes en el tiempo, función que no será necesario utilizar en este diseño.

5.3.1.4 void start_bio()

Este método es el encargado de alimentar al tanque con materia nueva cada vez que el usuario oprima un botón de inicio, en este caso se deben comprobar algunos datos antes de poder alimentar el tanque, un de los datos mas importantes es la presión interna del gas si el tanque esta en su presión máxima no intentara cargar mas materia, además debe calcular y sensar la cantidad de agua necesaria para la cantidad de materia agregada en la Figura 5.3.2 se muestra el diagrama de flujo seguido por el sistema.

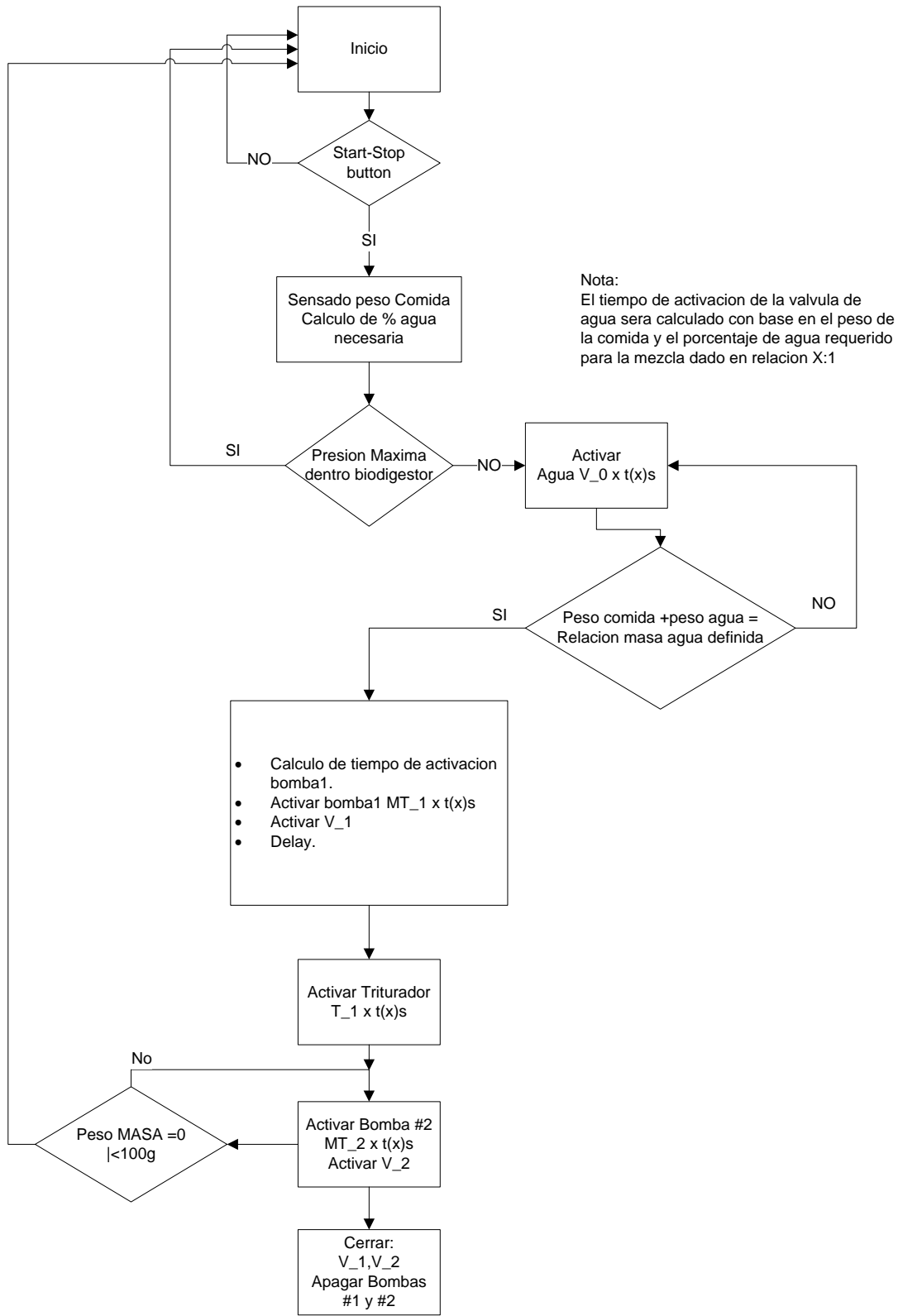


Figura 5.3.2 Diagrama de flujo para inicio de operación del Biodigestor.

Durante el proceso de llenado se siguen tomando en consideración las variables críticas del sistema como la presión y temperatura en caso que el sistema detecte una sobre presión del tanque detendrá la carga de materia, el proceso de detención se realizara de acuerdo a la secuencia establecida, pues no se puede solamente detener el sistema de golpe, esto por los motores en funcionamiento y válvulas que deben permanecer abiertas para evitar una sobre presión en las tuberías del sistema.

5.3.1.5 Void control_temp()

Uno de los módulos mas importantes es el modulo de control de temperatura, es el encargado de mantener con vida a las bacterias responsables de la degradación de la materia, manteniendo la temperatura constante a 55°C el proceso de control de temperatura depende de tres sensores de temperatura esenciales instalados al interior del tanque distribuidos a lo largo, estos 3 sensores son promediados antes de ingresar al sistema de control automático por medio del modulo de adquisición explicado en una sección anterior, tomando como referencia esta temperatura, el sistema tomara la decisión de aumentar la temperatura, disminuirla o mantenerla, además de esto en este proceso se lleva a cabo el mezclado de la materia, para tanto mantener la uniformidad de la mezcla como de distribuir la temperatura, el proceso de distribución de temperatura se realiza mediante el aumento o la disminución de burbujas de gas en el interior del sistema, por ejemplo cuando el sistema detecta una disminución en su temperatura promedio, se van a aumentar el flujo de burbujas al 100% y se agregara agua caliente proveniente de dos posibles fuentes, una de agua caliente por medio de la quema del mismo gas natural, y la otra fuente, de agua caliente por medio de energía solar, la fuente predominante dependerá mucho de las condiciones atmosféricas pues en días nublados o lluviosos el calentador solar no podrá proveer agua caliente por lo tanto se labor del calentador a gas, en la Figura 5.3.3 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de control de temperatura.

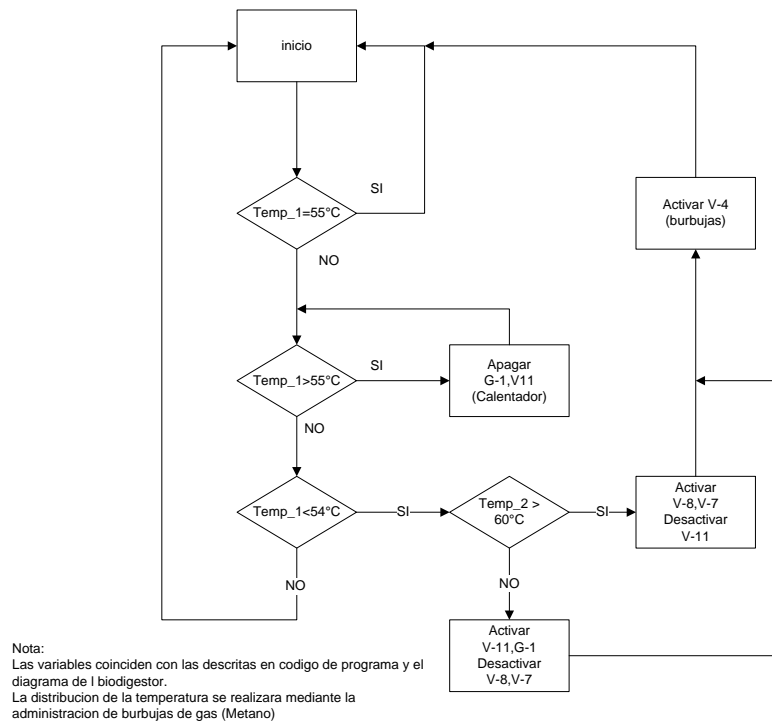


Figura 5.3.3 Diagrama de flujo para el control de temperatura

5.3.1.6 void subirDB()

Este método se encarga de subir la información de cada una de las variables al sitio web, esto mediante un archivo de en lace que será explicado mas adelante, la forma en que este método ejecuta su labor, es mediante la conexxion directa con la dirección IP del website y el servidor de base de datos el siguiente código muestra el proceso como se realiza:

```
client.print("GET/arduinogetvar.php?V_0=V_0&V_1=V_1&V_2=V_2&V_3=V_3&V_4=V_4&.....NH3_2&P_H=sensor_ph ");
```

La línea de código expuesta anteriormente muestra la forma en que las variables son enviadas a través de internet bajo un código de rutina PHP, la secuencia "GET/arduinogetvar.php?" es la forma en la que el micro controlador abre el archivo ubicado en la raíz del servidor web donde se aloja la pagina web.

5.3.2 Pagina web

La página web es la interfaz entre el sistema de control y el operador de la planta, la planta por si sola puede operar y no depende de una conexión a internet, pero lo que si depende de internet es el proceso de muestra de datos y el estado de funcionamiento de la planta, la pagina web tiene tres componentes esenciales, la pagina web como tal con sus menús he imágenes, una base de datos donde se registran todas las variables, y un archivo programado en lenguaje PHP que enlaza la pagina web con el dispositivo Arduino y la bases de datos, cada sección será explicada a continuación:

5.3.2.1 Interfaz pagina web

Para el diseño de la página web www.biodigestortec.tk se utilizo una plantilla disponible en <http://www.nixiweb.com/> la cual es de acceso gratuito y bajo licencia GNU, los mismos autores autorizan la modificación del código de la página web, se debe señalar además que el servicio de alojamiento web y servidor de bases de datos también es provisto de forma gratuita por la empresa nixiweb, ayudando esto a reducir costos de operación y diseño la pagina web consta de varias pantallas en las cuales el usuario puede encontrar información relevante al proyecto o contactar por medio de correo electrónico a los diseñadores, adicional a todas las paginas informativas hay una pantalla que muestra el estado de trabajo y el valor de los sensores de la planta, como se aprecia en la Figura 5.3.4 en la imagen se aprecian todos los componentes del diseño, y cada una de la válvulas, sensores actuadores y motores están presentes en el diagrama, dado el tamaño y la complejidad del diseño, poder apreciar la pagina web en una pantalla pequeña es algo complicado se recomienda el uso de un monitor de al menos 21" de pantalla para poder apreciar la totalidad de la pagina web, dadas esas circunstancias la Figura 5.3.4 se muestra en dos secciones para poder abarcar la totalidad del website.

Al lado izquierdo en la imagen se muestran los datos de todos los sensores instalados en la planta cada sensor tiene un espacio especifico en la pantalla, en la sección inferior se muestran dos barras de color verde y otra de color azul, las cuales dividen el grupo de sensores próximo a la derecha, el grupo dividido por la barra verde corresponde a los sensores instalados en la etapa posterior de filtrado, el grupo de sensores agrupados por la barra de color azul corresponde a los sensores instalados en la

etapa previa de filtrado por lo que el operador tendrá acceso a datos muy específicos de la calidad del gas que se esta obteniendo.

En la parte superior se encuentran los sensores de temperatura, presión y peso de la materia, la información mostrada en cada uno de los sensores es actualizada periódicamente, el proceso de actualización lo controla el Arduino por lo que cada vez que existe información nueva el Arduino enviara dicha información a la base de datos y esta actualizara cada una de las variables.

En color rojo se instalo además un botón de inicio/parada llamado start/stop, este botón podrá detener el funcionamiento de la planta en cualquier momento así como también iniciar el proceso, adicional a esto cada válvula, actuador o motor tiene una pestana color celeste que indica el estado de dicho dispositivo, en la imagen todas estas indicaciones se muestran como "off" puesto que la planta no se encuentra en funcionamiento, de igual forma los datos mostrados en los espacios para los sensores, contienen información de prueba, almacenada en la base de datos.

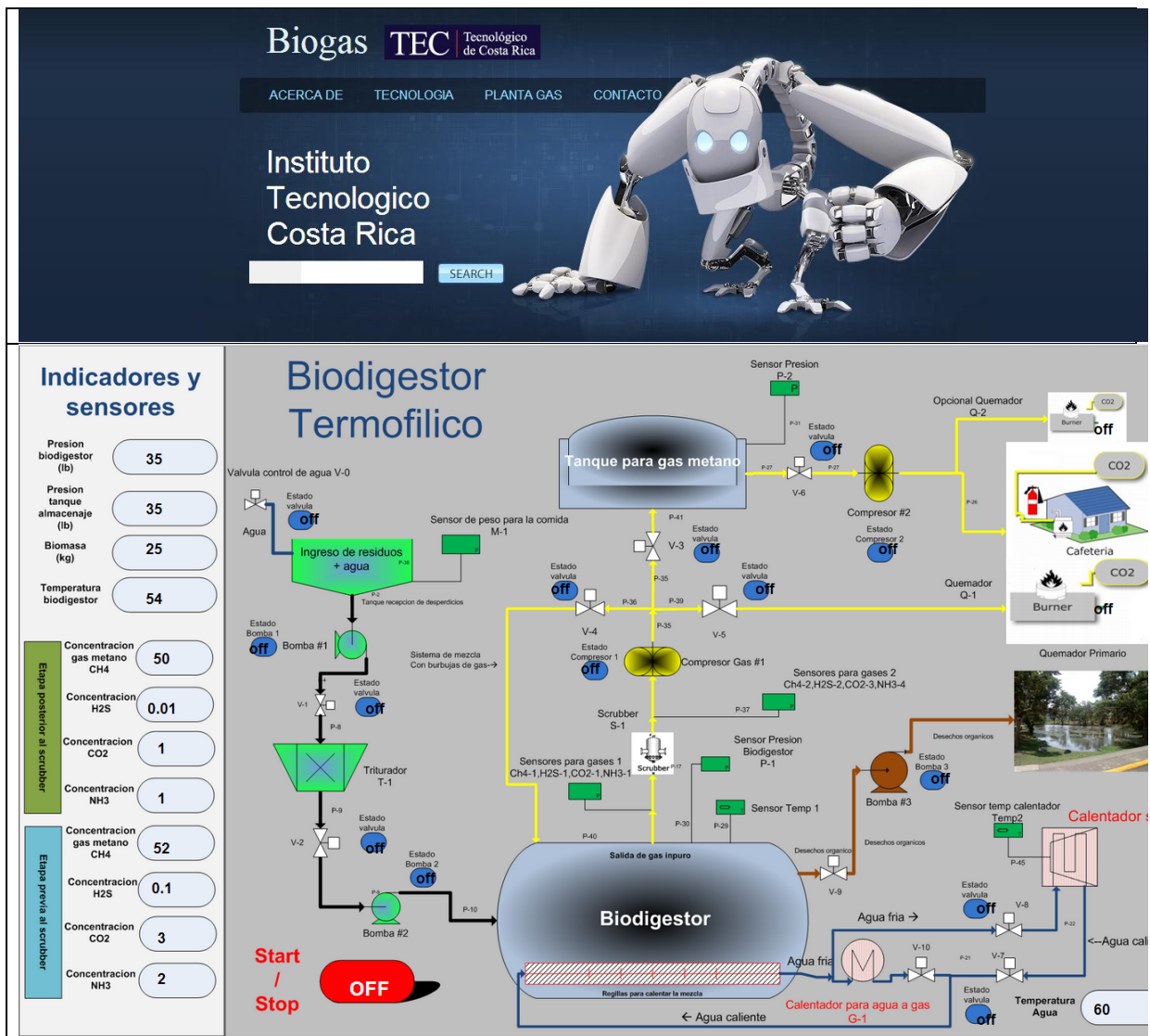


Figura 5.3.4 Página web

5.3.2.2 Archivo de enlace PHP “Arduino.php”

Este archivo enlaza la pagina web con la base de datos y con el micro controlador Arduino a través de la web la función básica de este archivo es la de almacenar los datos de a cada una de las variables provenientes del sistema de control automático, esto lo realiza mediante una conexión web a la base de datos de la siguiente forma:

```
// -----base de datos-----  
$mysql_servidor = "mysql.nixiweb.com";  
$mysql_base = "xxxxxxx";  
$mysql_usuario = "yyyyyyy";  
$mysql_clave = "zzzzzzz";
```

Se han omitido los valores de usuario y claves con el fin de proteger el código del programa, y la base de datos, este código en lenguaje PHP crea el enlace con la base de datos propiamente, la forma en que se almacenan las variables esta estructurada siguiendo un orden específico, el cual el micro controlador debe respetar como por ejemplo cuando se ingresan las variables a la base de datos se debe realizar de la siguiente forma \$sql = "insert into VALVULAS (V_0,V_1,..... se pueden apreciar dos variables V_0 y V_1 ingresadas en un orden específico y baja un nombre de etiqueta que coincide con las variables utilizados en el código del micro controlador explicado anteriormente, este orden de ingreso de la información es muy importante no puede ser alterado sin afectar el funcionamiento del sistema, por su parte del lado del micro controlador, el código debe estar en sintonía con el archivo llamado “Arduino.php” de la siguiente forma (client.print("GET /arduinogetvar.php?.....) esta pequeña línea de código crea el enlace entre el archivo php y toda la infraestructura de hardware de control, previamente descrita.

Capítulo 6: Análisis de resultados

En esta sección se comentaran los resultados de las simulaciones y se analizara cada resultado, de los módulos diseñados como los son el modulo de filtrado de señal, el modulo promediador de señales analógicas y los dos módulos de salida para motores, y actuadores, en lo posible se tratara de mostrar la mayoría de resultados que sustenten el diseño propuesto, cabe resaltar que el proyecto es únicamente un diseño, por lo que se encuentra en el proceso de diseño, la empresa pretende continuar una segunda etapa en donde se puede implementar, y ajustar el diseño actual a nuevos requerimientos.

El primer resultado se obtiene del modulo de filtro RC paso bajos descrito en la sección 5.2.2 como se observa en la Figura 5.3.1 la simulación del circuito de filtrado, se observa que la respuesta empieza a decrecer y en -3 dB muestra una frecuencia de aproximadamente 60 Hz siendo esta la frecuencia seleccionada durante la etapa de diseño, es importante mencionar que este tipo de filtro es muy básico, se selecciono este tipo de filtro para evitar costos mayores en hardware al proyecto y costos de implementación, y la respuesta en frecuencia es suficiente para los requerimientos del sistema.

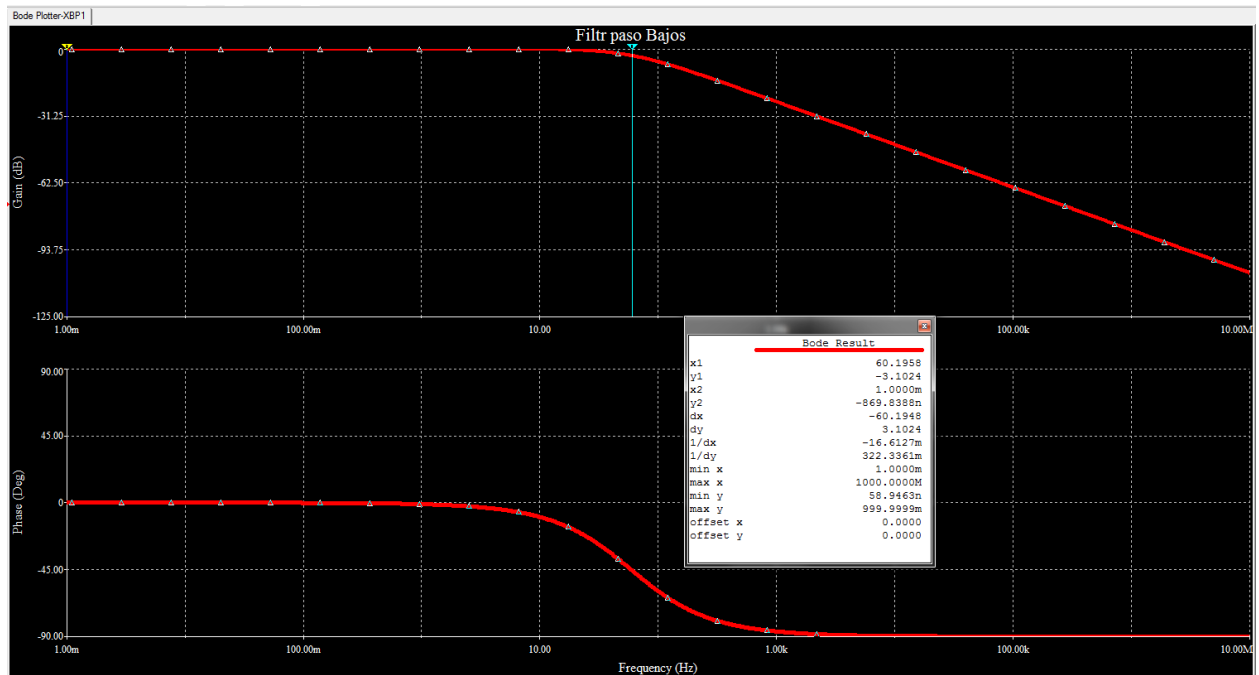


Figura 5.3.1 Resultado simulación filtro de la sección 5.2.2

El siguiente es el modulo encargado de promediar la temperatura del tanque el circuito es el mostrado en la sección 5.2.1, se realizo una simulación del sistema utilizando el software multtsim y la medición se realizo con un osciloscopio tektronix TDS2024 mostrado en la Figura 5.3.2 las tres funciones de onda senoidales 1, 2 y 3 que se observan en la figura son las entradas del circuito, la señal inferior 4 que se observa recortada es el promedio de las tres señales de entrada, se muestra recortada pues no es necesaria la parte positiva del promedio, y se ha eliminado del circuito, en las secciones en las que el promedio es positivo, el nivel de salida será de 0v, igualmente cualquier fluctuación podrá ser ajustada con los potenciómetros instalado en el modulo, es importante hacer notar que

los sensores de temperatura utilizados en el diseño nunca entregarán una medición negativa, por lo tanto no se toma en cuenta ningún valor negativo, y adicional a esto el micro controlador solo acepta señales de entrada positivas en sus convertidores analógicos a digital.

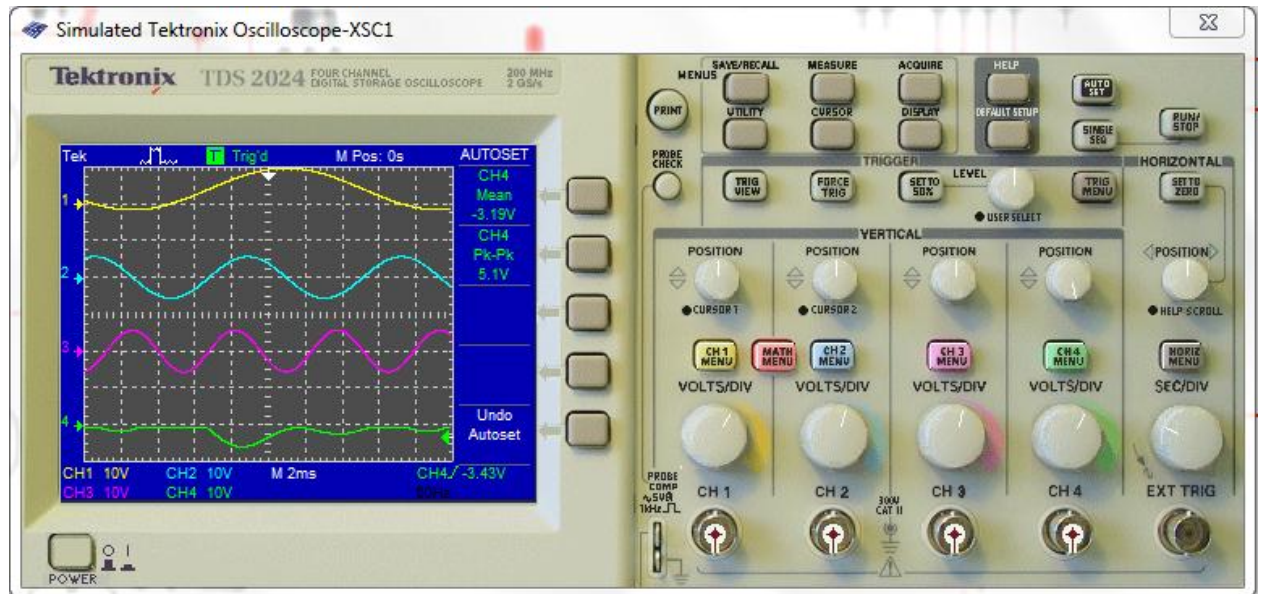


Figura 5.3.2 Medición de circuito promediador de temperatura de la sección 5.2.1

Otro de los módulos importantes en el diseño son los módulos de acople óptico, para activar los tiristores de potencia, incluidos en las secciones 5.2.3 y 5.2.4, se realizaron las simulaciones correspondientes para cada modulo independiente, en la Figura 5.3.3 se muestra una sola de las fases simulada de control para un motor trifásico.

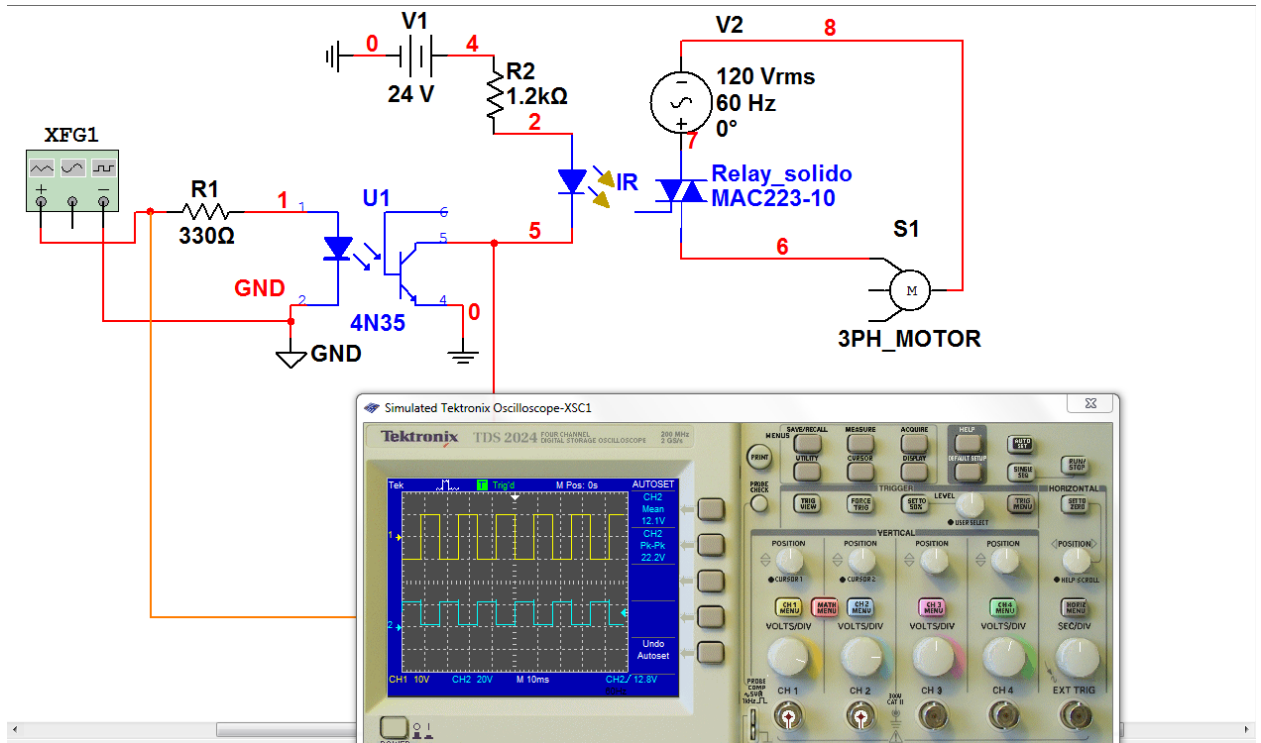


Figura 5.3.3 Sistema de control de potencia

En lugar del sistema micro controlado se utilizo un generador de señales para simular las condiciones de funcionamiento, en la figura de osciloscopio se muestran dos señales, la superior es la señal de salida hacia el diodo IR que se en carga de activar el tiristor, la señal inferior es la señal de entrada, representado por el dispositivo xfg1, por cada motor se implementaron 3 etapas como la mostrada en la Figura 5.3.3.

Para el caso de el modulo de control de válvulas y actuados la diferencia esta en capacidad del tiristor y la ubicación en el circuito, por lo demás poseen las misma características de acople óptico.

Con respecto a los resultados de prueba de software, se realizaron también simulaciones con una aplicación gratuita disponible en línea para la simulación de micro controladores Arduino como se observa en la Figura 5.3.4, se realizaron pruebas para verificar los comandos IP y la conexión hacia la página web como se observa en la figura en la sección serial a 9600 el resultado de la conexión es positivo y el sistema establece una comunicación con la web y el servidor de la pagina web, este puerto es utilizado únicamente con fines de monitoreo del proceso, en la misma imagen se muestra el micro controlador con cada una de las señales analógicas con valores de prueba distintos, también simulados para verificar el correcto funcionamiento del código programado.

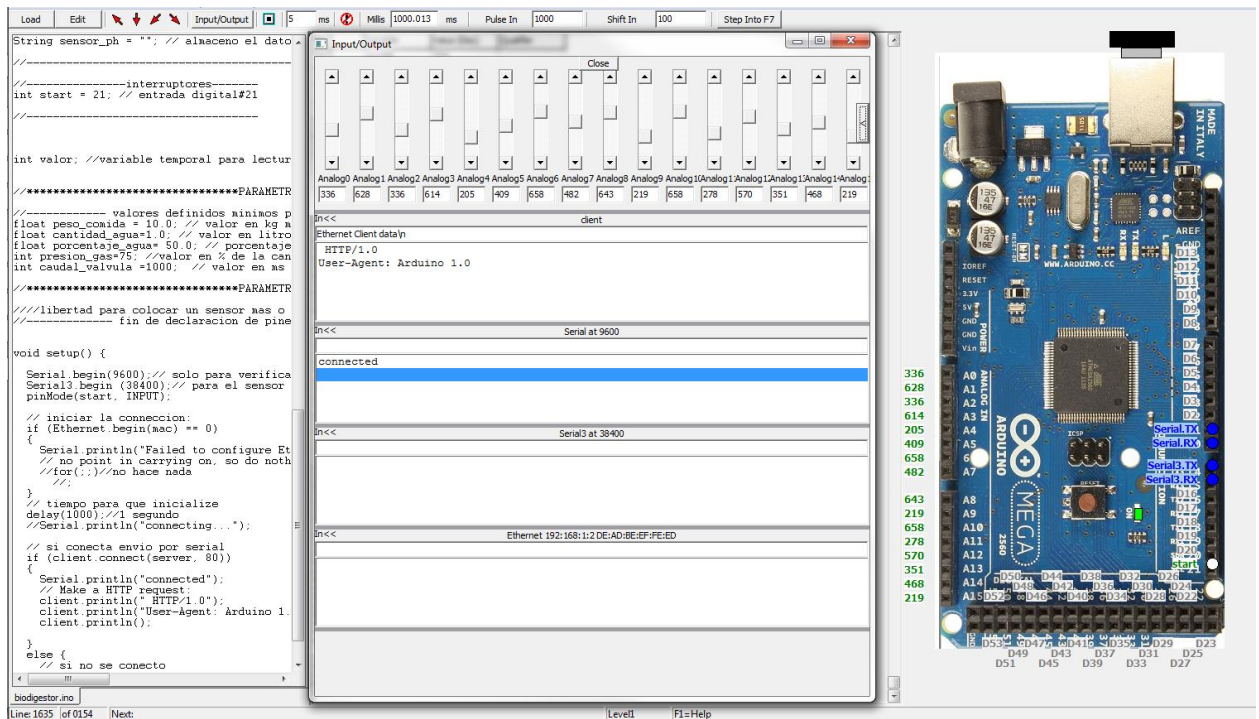


Figura 5.3.4 Simulación del código de control para el microcontrolador Arduino Mega 2560

Con respecto a la página web los resultados de su implementación se pueden observar en la dirección www.biodigestortec.tk las pruebas de funcionamiento y programación de la web se llevaron a cabo dentro del servidor web dedicado para este fin en la Figura 5.3.5 Se muestran algunas estadísticas de la pagina web desde el momento que se puso en línea se muestran la cantidad de conexiones y los datos intercambiados con usuarios, se muestran además la cantidad de hits o click que se han realizado en la pagina web.

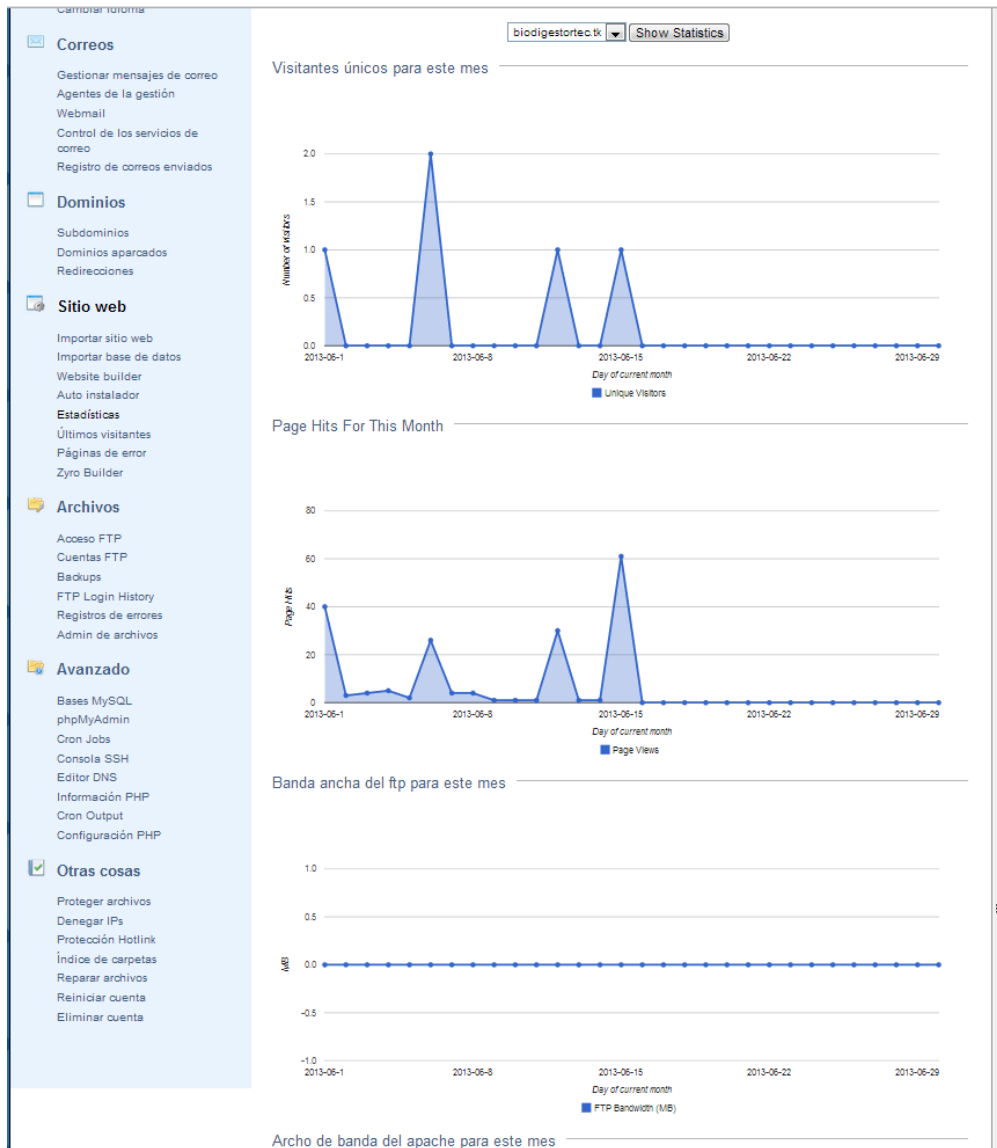


Figura 5.3.5 Estadísticas del sitio web

Capitulo7: Conclusiones y recomendaciones

En este capitulo se dará un lista de conclusiones y recomendaciones acerca del diseño tanto de hardware como de software.

7.1 Conclusiones

- El sistema de filtrado de señales funciona según lo esperado.
- El modulo promediador de temperaturas realiza los promedios dentro de los márgenes permitidos.
- Se comprobó que el sistema tiene conexión a internet y a la base de datos.
- El costo total del sistema de control automático no supera los \$700.
- El software instalado en el controlador, realiza la mayoría de cálculos necesarios y calibraciones requeridas por los sensores.
- La orientación para futuras modificaciones permite que de diseño sea muy flexible, y fácil de comprender.
- En la totalidad del diseño se pensó en la seguridad, por lo que cada dispositivo instalado cumple con las regulaciones.
- Dado la flexibilidad del diseño es posible cambiar la potencia o tipo de motor sin necesidad de cambiar el hardware.
- Los sensores analógicos pueden ser cambiados de posición, sin requerir cambio de hardware solo de software.
- La página web ofrece una interfaz simple y amplia del funcionamiento del sistema en un 100%.

7.2 Recomendaciones:

- Si se desea filtrar mas rangos de frecuencia se recomiendo incrementar el orden del filtro a 2 o mayor he implementar una etapa de filtro activo.

- La pagina web tiene un tamaño de pantalla bastante grande se recomienda en el futuro mejorar el aspecto visual, en lo posible sin eliminar componentes.
- Se recomienda agregar un sistema de clave de acceso al sistema tanto en la página web como en el microcontrolador.
- Se debe tener especial cuidado en la manipulación del sensor de Ph pues es sensible a los golpes.
- El sensor de peso deberá ubicarse a un ángulo de cero grados con la horizontal para evitar mediciones erróneas.
- Se deberá calibrar el promediador de temperaturas de forma externa.
- Tomar en consideración la mezcla de distintos niveles de tensión mezclados en el sistema pues se trabaja con 5v, 24v 120v ac y tensiones trifásicas, tener especial cuidado en no mezclar tierras pues los sistemas se encuentran aislados eléctricamente.
- Se recomienda el uso de cable AWG número 16 o 14 para la instalación de las señales del sistema.
- Se recomienda colocar a tierra cada placa de circuito mediante los tornillos de sujeción.
- Es recomendable que las placas de circuito impreso sean colocadas lo más próximas al control central.
- Los motores trifásicos no deben exceder los 40 A por fase o su equivalente a 9 caballos de fuerza.
- Las electroválvulas deben ser activadas únicamente por 120 Vac si se cambia el tipo de electroválvula se deberá rediseñar la tarjeta de circuito impreso que la controla.

- Mantener en los mas posible el modelo y las especificaciones de los sensores seleccionados durante la etapa de diseño, con el fin de no afectar el rendimiento del sistema.

Bibliografía

- [1] Ecoprog, **Empresa desarrolladora de plantas gas metano**, 2013, En línea, consultado en abril 2013, disponible en (<http://www.ecoprog.com>).
- [2] Zorg, **Empresa desarrolladora Plantas gas metano**, 2013, En línea, consultado en abril 2013, disponible en (<http://zorg-biogas.com>) .
- [3] Bioprocess control, **Empresa desarrolladora Plantas gas metano**, 2013, En línea, Consultada en abril 2013, disponible en (<http://www.bioprocesscontrol.com>).
- [4] oekobit-biogas, **Empresa desarrolladora Plantas gas metano**, 2013, En línea, Consultado en mayo 2013, disponible en (<http://www.oekobit-biogas.com/en/>).
- [5] Bio Combustibles MG S.A, **Empresa desarrolladora Plantas gas metano**, 2013, En línea, Consultado en febrero 2013, disponible en (<http://www.mging.com.ar>).
- [6] BACKHUS EcoEngineers, **Equipo industrial especializado en biocombustibles**, 2013, en línea, consultado mayo 2013, disponible en (<http://www.backhus.com/59-1-Eco-Engineers.html>).
- [7] Lindner-Recyclingtech GmbH **Equipo industrial especializado en biocombustibles**, 2013 En línea, Consultado Mayo 2013, disponible en (<http://www.l-rt.com/en/>).
- [8] Departamento de salud y servicio new jersey, **Hoja informativa sobre sustancias peligrosas**, 2013, En línea, Consultado Mayo 2013, Disponible en (<http://www2.udel.edu/matpel/sustanciaspdf/m/METANO.pdf>)
- [9] National Fire Protection Association, **Normativa de seguridad en ambientes peligrosos**, 2013, En línea, Consultado Marzo 2013, Disponible en (<http://www.nfpa.org>)
- [10] Users Network (BUN -CA), **Manual sobre energía renovable Biomasa**, San José; BUN-CA, 2002, En línea, Consultado Marzo 2013, Disponible en (www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf).
- [11] Ibid, **Users Network (BUN-CA), 2002 German, Appropriate Technology y Exchange**.2013, En línea, Consultado en Abril 2013, disponible en (www3.gtz.de/gate/techinfo/biogás).
- [12] Luis Diego Ramírez Rodríguez, **Generación eléctrica por medio de biogás**, Diciembre del 2004, Biblioteca Luis Demetrio Tinoco UCR, 2004.

- [13] Theodore L Autor Brown, H. Eugene Autor Lemay, Bruce E Autor Bursten, 1998, **Química la ciencia central**, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A, Edición 7.
- [14] Raymond Chang, 2007, **Química**, Editor Rosa Zugazagoitia Herranz, McGraw-Hill, Edición 9.
- [15] Charles K. Alexander, Matthew N. O. Sadiku, 2000, **Fundamentals of Electrical Circuits**, McGraw-Hill School Education Group.
- [16] Jefferson, **Electrovalvulas para gas natural.**, 2013, En línea, Consultado Marzo 2013, Disponible en (<http://www.jefferson.com.ar>)
- [17] Gustavo Ernesto Lima P, Ruben Dario Mendez M ,Antonio Raul Rojas B, **El TRIAC**, 2013 , En línea, Consultado junio 2013, Disponible en (<http://www.monografias.com/trabajos14/triac/triac.shtml>)
- [18] Robert Francis Coughlin, Frederick F. Driscoll, 1999, **Amplificadores Operacionales Y Circuitos Integrados Lineales**, Pearson Educación, Edición 5.
- [19] Daniel W. Hart, 2001, **Electronica de Potencia**, Pearson Education, Edición 1.
- [20] Muhammad H. Rashid, Muhammad H. Rasid Virgilio González y Pozo Agustín Suárez Fernández, 2004, **Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones**, Pearson Educación, Edición 3.

Apéndices y Anexos

Apéndices

Apéndice A.1 Guía de instalación.

Instalación del modulo Promediador.

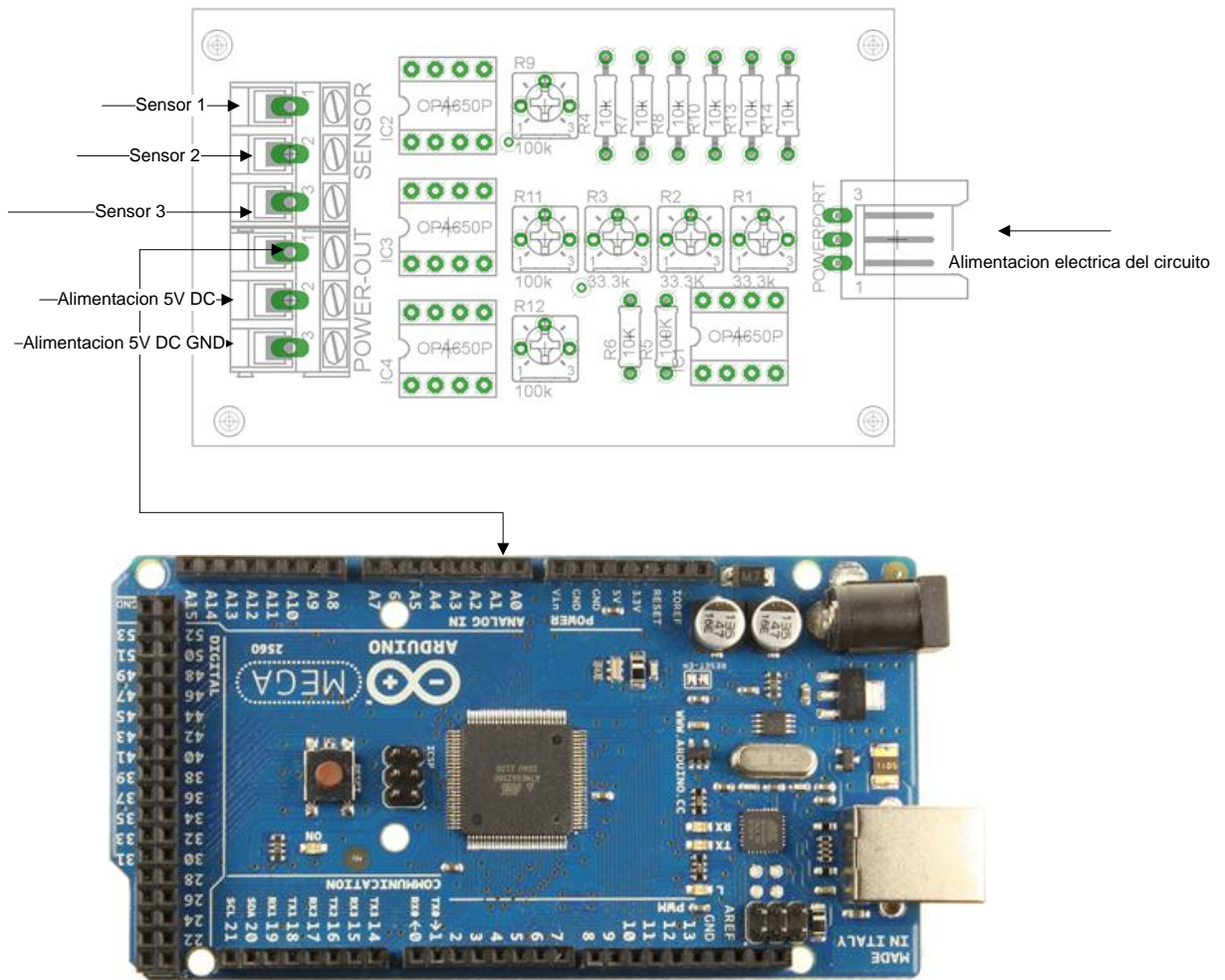


Figura A.1.1 Diagrama de Conexión para modulo promediador

Instalación modulo de filtrado

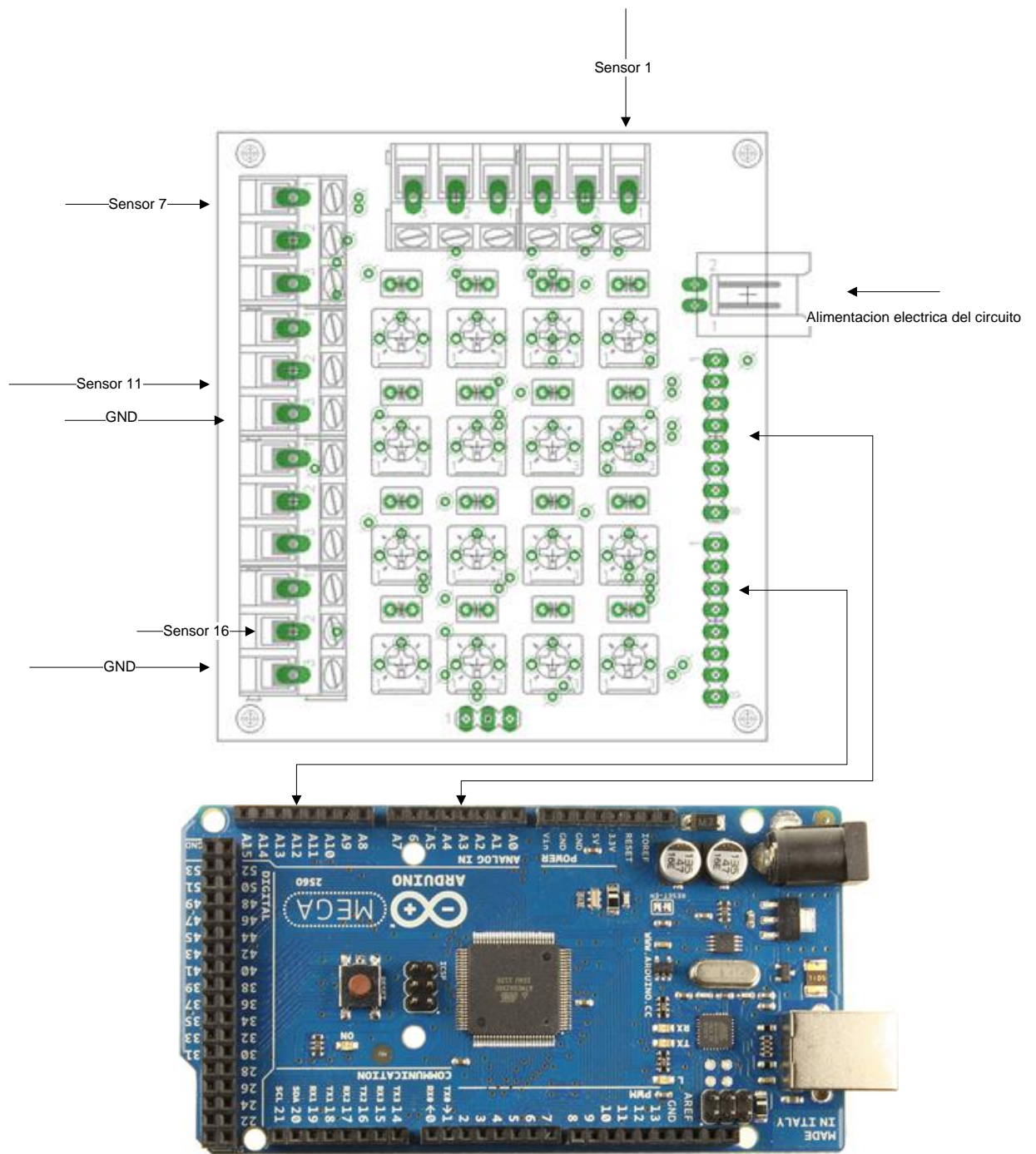


Figura A.1.2 Diagrama de Conexión para modulo filtro

Instalación del módulo de salidas Para actuadores.

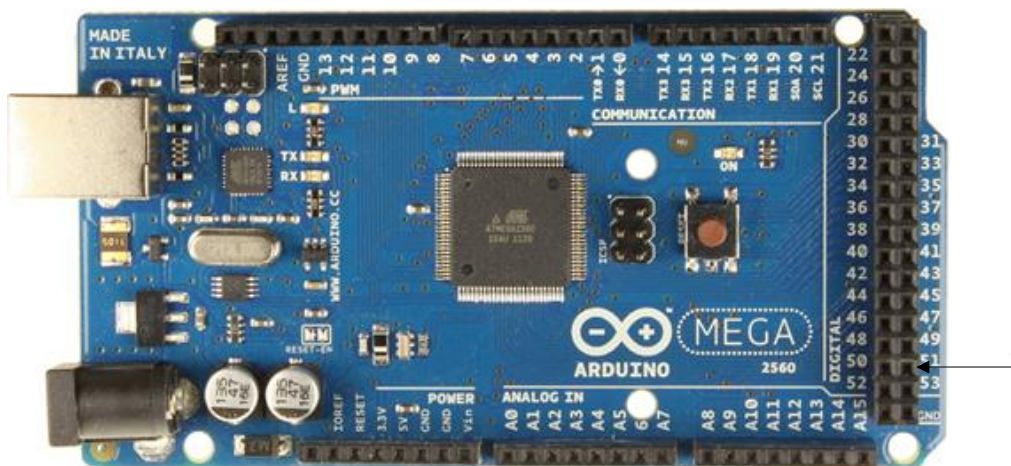
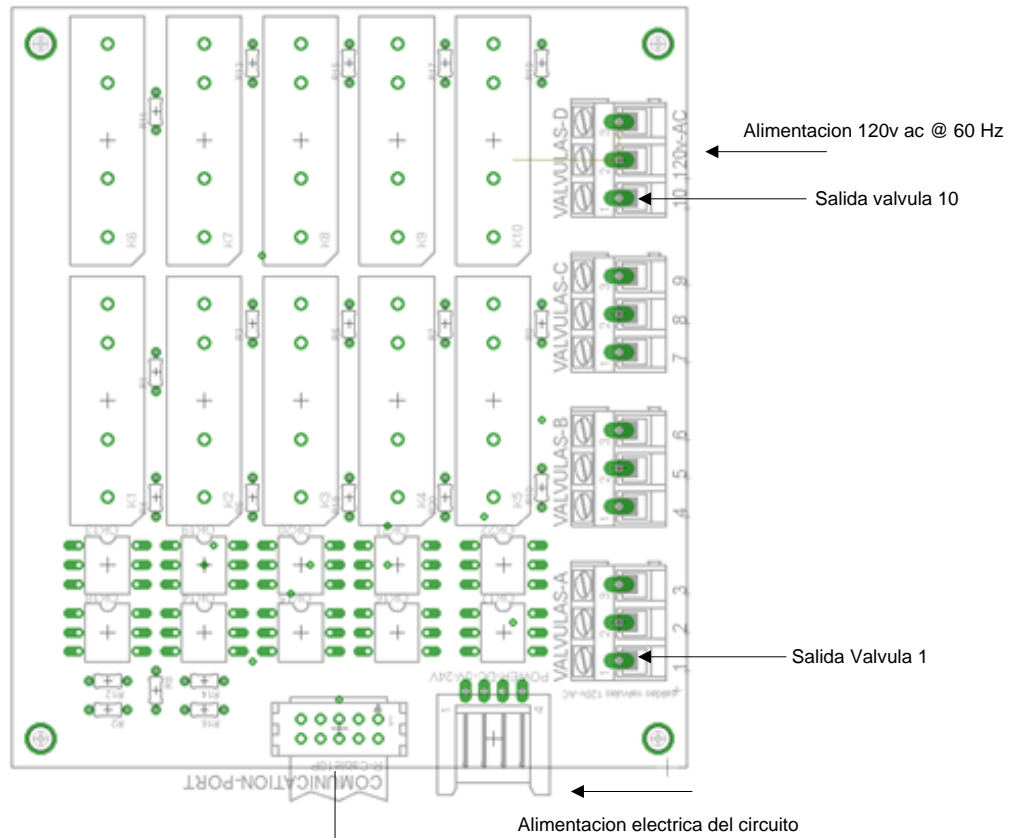


Figura A.1.3 Diagrama de Conexión para modulo Salidas válvulas y actuadores

Instalación del módulo de salidas para motores trifásicos.

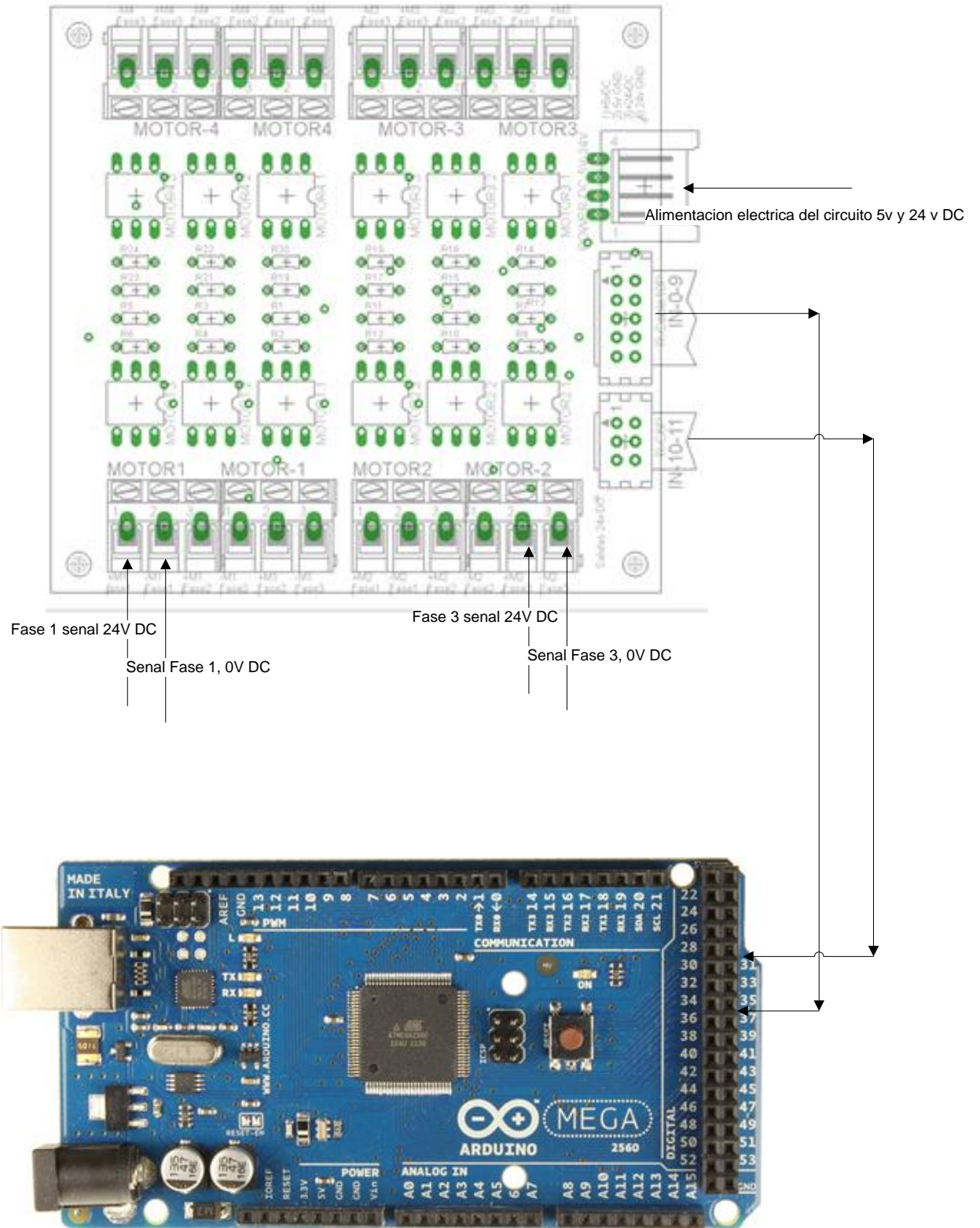


Figura A.1.4 Diagrama de Conexión para modulo promediador

Apéndice A.2 Diagrama de la Planta

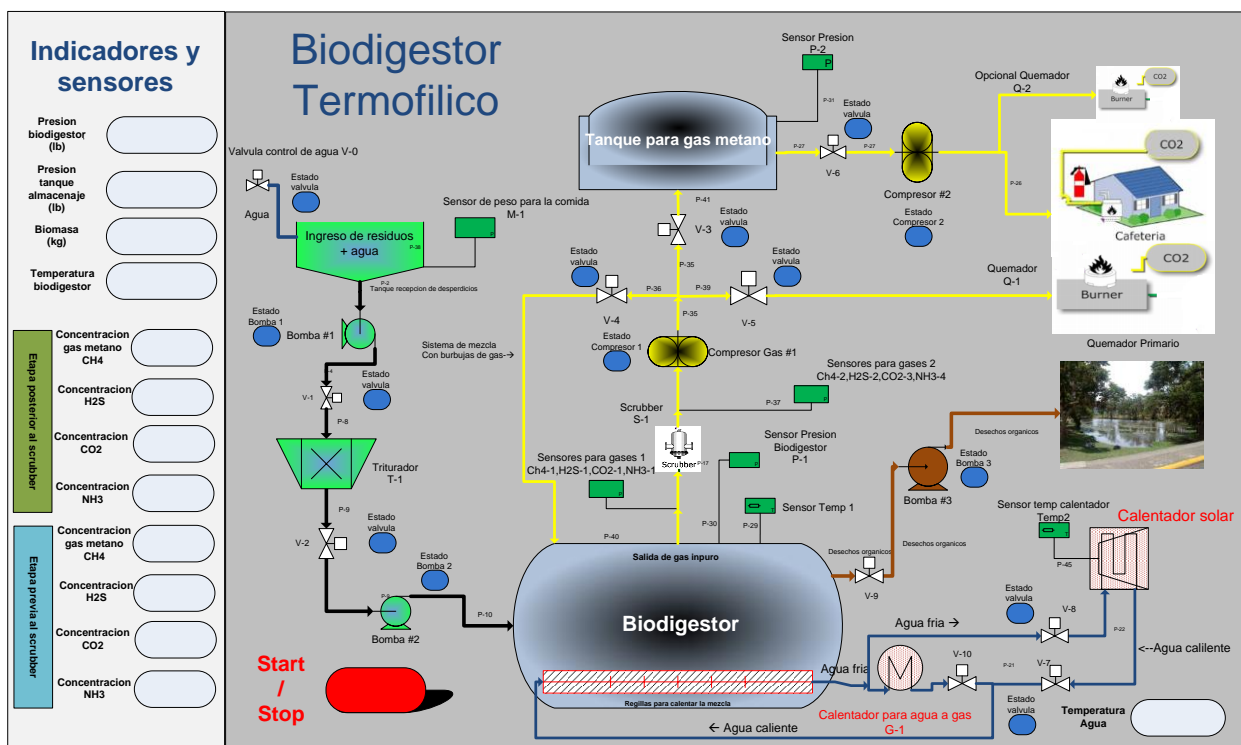


Figura A.2.1 Diagrama de la Planta Biodigestor Termofilico

Apéndice A.3 Pagina WEB

Biogas TEC Tecnológico de Costa Rica

ACERCA DE TECNOLOGIA PLANTA GAS CONTACTO

Instituto Tecnológico Costa Rica

SEARCH

February 15, 2010
Instituto Tecnológico De Costa Rica
Proyecto de Investigación y desarrollo para una planta de Biogas termofílica

Bienvenido
En este sitio encontrará información relacionada al proyecto de Investigación desarrollado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica, sobre energías limpias en este caso específico el biogas.

Articulos Recientes

 [Ciencia del Biogas](#)
Artículo que describe el proceso químico implicado en la elaboración del Biogas [ver](#)

Sobre los Desarrolladores:
Claudia Chaves Villareal -Ciencia de los materiales
Norman Gómez Granados -Seguridad Laboral.
Ulises Umama Palma -Electronica.
[ADD more info](#)

Indicadores y sensores

Biodigestor Termofílico

Start / Stop

Copyright Instituto Tecnológico Costarricense. 2013 All rights reserved

Figura A.3.1 Pagina principal web

Anexos

Anexo B.1 sobre el Metano



Nombre común: **METANO**

Número CAS: 74-82-8
Número DOT: UN 1971 (gas comprimido)
UN 1972 (licuado)

(METHANE)

Número de la sustancia RTK: 1202
Fecha: octubre de 1996 Revisión: junio de 2003

RESUMEN DE RIESGOS

- El **metano** puede afectarle al inhalarlo.
- A niveles muy altos puede causar asfixia por falta de *oxígeno*.
- El contacto de la piel con el **metano líquido** puede causar congelación.
- El **metano** es un GAS SUMAMENTE INFLAMABLE y presenta un GRAVE PELIGRO DE INCENDIO y EXPLOSIÓN.

IDENTIFICACIÓN

El **metano** es un gas incoloro e inodoro o un líquido si está bajo presión. Se emplea como combustible y es un componente principal de *gas natural*. También se emplea en la fabricación de sustancias químicas tales como *acetileno*, *clanuro de hidrógeno*, *hidrógeno* y *metanol*.

RAZONES PARA MENCIONARLO

- El **metano** está en la Lista de Sustancias Peligrosas (Hazardous Substance List) ya que ha sido citado por el ACGIH, el DOT, el DEP y la NFPA.
- Esta sustancia química está en la Lista de Sustancias Extremadamente Peligrosas para la Salud (Special Health Hazard Substance List) ya que es **INFLAMABLE**.
- Las definiciones se encuentran en la página 5.

CÓMO DETERMINAR SI UD. ESTÁ EN RIESGO DE EXPOSICIÓN

La Ley del Derecho a Saber de New Jersey (New Jersey Right to Know Act) exige a la mayoría de los empleadores que rotulen los envases de las sustancias químicas en el lugar de trabajo y exige a los empleadores públicos que provean a sus empleados información y capacitación acerca de los peligros y controles de las sustancias químicas. La Norma de Comunicación de Riesgos (Hazard Communication Standard), la norma federal de la OSHA: 29 CFR 1910.1200, exige a los empleadores privados que provean a sus empleados capacitación e información similares.

- La exposición a sustancias peligrosas debe ser evaluada en forma rutinaria. Esta evaluación podría incluir la recolección de muestras de aire a nivel individual y del

local. Ud. puede obtener fotocopias de los resultados del muestreo a través de su empleador, de acuerdo al derecho legal que le otorga la norma de la OSHA: 29 CFR 1910.1020.

- Si usted cree que tiene algún problema de salud relacionado con el trabajo, vea a un médico capacitado en reconocer las enfermedades ocupacionales. Llévelo esta Hoja Informativa.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

No se han establecido los límites de exposición ocupacional al **metano**. A pesar de ello, esta sustancia puede ser nociva. Siempre se debe cumplir con las prácticas laborales seguras.

- Grandes cantidades de **metano** pueden disminuir la cantidad disponible de *oxígeno*. El contenido de *oxígeno* debe ser medido rutinariamente para verificar que se mantenga por lo menos en el 19% por volumen.

MANERAS DE REDUCIR LA EXPOSICIÓN

- Donde sea posible, encierre las operaciones y use ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. Si no se usa ventilación por extracción localizada ni se encierran las operaciones, deben usarse respiradores.
- Use guantes y ropa de protección para evitar el contacto con el **metano líquido**.
- Si el **metano líquido** entra en contacto con la piel, sumerja inmediatamente en agua tibia la parte del cuerpo afectada.
- Deben instalarse en forma permanente cromatógrafos para la detección de **metano**.
- Exhiba información sobre los peligros y advertencias en el área de trabajo. Además, como parte de un esfuerzo continuo de educación y capacitación, comunique a los trabajadores que pudieran estar expuestos toda la información sobre los riesgos de salud y seguridad del **metano**.

Esta Hoja Informativa es una fuente de información resumida sobre todos los riesgos potenciales para la salud, especialmente los más graves, que puedan resultar de la exposición. La duración de la exposición, la concentración de la sustancia y otros factores pueden afectar su sensibilidad a cualquiera de los posibles efectos que se describen a continuación.

INFORMACIÓN SOBRE LOS RIESGOS PARA LA SALUD

Efectos agudos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco tiempo después de la exposición al **metano**:

- A niveles muy altos puede causar asfixia por falta de *oxígeno*.
- El contacto de la piel con el **metano líquido** puede causar congelación.

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al **metano** y pueden durar meses o años:

Riesgo de cáncer

- Según la información actualmente disponible al Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey, no se han realizado pruebas para determinar si el **metano** tiene la capacidad de causar cáncer en animales.

Riesgo para la reproducción

- Según la información de que actualmente dispone el Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey, no se han realizado pruebas para determinar si el **metano** tiene la capacidad de afectar a la reproducción.

Otros efectos a largo plazo

- No se ha sometido a pruebas el **metano** para determinar otros efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud.

RECOMENDACIONES MÉDICAS

Exámenes médicos

No hay una prueba especial para esta sustancia química. Sin embargo, si ocurre una enfermedad o se sospecha sobreexposición, se recomienda atención médica.

Toda evaluación debe incluir un cuidadoso historial de los síntomas anteriores y actuales, junto con un examen. Los exámenes médicos que buscan daños ya causados no sirven como sustituto del control de la exposición.

Pida fotocopias de sus exámenes médicos. Ud. tiene el derecho legal a esta información bajo la norma de la OSHA: 29 CFR 1910.1020.

CONTROLES Y PRÁCTICAS LABORALES

A menos que se pueda reemplazar una sustancia peligrosa por una sustancia menos tóxica, los **CONTROLES DE INGENIERÍA** son la manera más efectiva de reducir la exposición. La mejor protección es encerrar las operaciones y proveer ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. También puede reducirse la exposición aislando las operaciones. El uso de respiradores o equipo de protección es menos efectivo que los controles mencionados arriba, pero a veces es necesario.

Al evaluar los controles existentes en su lugar de trabajo, considere: (1) cuán peligrosa es la sustancia; (2) la cantidad de sustancia emitida en el lugar de trabajo y (3) la posibilidad de que haya contacto perjudicial para la piel o los ojos. Debe haber controles especiales para las sustancias químicas sumamente tóxicas o si existe la posibilidad de exposición significativa de la piel, los ojos o el aparato respiratorio.

Además, se recomiendan las siguientes medidas de control:

- Donde sea posible, transfiera el **metano** automáticamente desde los cilindros u otros recipientes de almacenamiento a los recipientes de procesamiento.
- Antes de entrar en un espacio confinado donde haya **metano**, verifique que no haya una concentración explosiva.
- Antes de entrar en un espacio confinado donde hay **metano**, verifique que haya suficiente *oxígeno* (19%).
- La OSHA exige controles de ingeniería específicos para esta sustancia química. Véase la norma de la OSHA: 29 CFR 1910.101 *Gases comprimidos*.

Las buenas **PRÁCTICAS LABORALES** pueden facilitar la reducción de exposiciones peligrosas. Se recomiendan las siguientes prácticas laborales:

- Los trabajadores cuya ropa ha sido contaminada por el **metano líquido** deben cambiarse sin demora y ponerse ropa limpia.
- El área de trabajo inmediata debe estar provista de lavajos para uso de emergencia.
- Si existe la posibilidad de exposición de la piel, deben suministrarse instalaciones de duchas de emergencia.
- Si el **metano** entra en contacto con la piel, lávese o dúchese inmediatamente para eliminar la sustancia química.
- No coma, fume o beba donde se manipula, procesa o almacena **metano**, ya que puede tragarse la sustancia química. Lávese las manos cuidadosamente antes de comer, beber, maquillarse, fumar o usar el baño.

EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

ES MEJOR TENER CONTROLES EN EL LUGAR DE TRABAJO QUE USAR EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL. Sin embargo, para algunos trabajos (tales como trabajos al aire libre, trabajos en un área confinada, trabajos que se hacen sólo de vez en cuando, o trabajos realizados mientras se instalan los controles en el lugar de trabajo), puede ser apropiado usar un equipo de protección individual.

La norma de la OSHA: 29 CFR 1910.132, exige a los empleadores que determinen el equipo de protección individual apropiado para cada situación riesgosa y que capaciten a sus empleados sobre cómo y cuándo usar equipo de protección.

Las siguientes recomendaciones sirven sólo de guía y quizás no se apliquen a todas las situaciones.

Ropa

- Evite el contacto de la piel con el **metano**. Use guantes y ropa de protección. Los proveedores y fabricantes de equipos de seguridad pueden ofrecer recomendaciones acerca del material para guantes y ropa que provea la mayor protección para su función laboral.
- Si existe la posibilidad de exposición a equipos, líquidos, o vapores fríos, los empleados deben estar provistos con ropa especial, diseñada para impedir la congelación de los tejidos corporales.
- Toda la ropa de protección (trajes, guantes, calzado, protección para la cabeza) debe estar limpia, disponible todos los días y debe ponerse antes de comenzar a trabajar.

Protección para los ojos

- Cuando trabaje con humos, gases o vapores, use gafas de protección antiimpacto sin ventilación.
- Cuando trabaje con líquidos, use gafas de protección antisalpicadura y antiimpacto con ventilación indirecta.
- Cuando trabaje con sustancias corrosivas, sumamente irritantes o tóxicas, use una pantalla facial junto con gafas de protección.

Protección respiratoria

EL USO INCORRECTO DE LOS RESPIRADORES ES PELIGROSO. Este equipo sólo debe usarse si el empleador tiene un programa por escrito que tome en cuenta las condiciones laborales, los requisitos de capacitación de los trabajadores, las pruebas de ajuste de los respiradores y los exámenes médicos, según se describen en la norma de la OSHA: 29 CFR 1910.134.

- La exposición al **metano** es peligrosa ya que esta sustancia puede reemplazar el *oxígeno* y llevar a asfixia. En ambientes deficientes en *oxígeno*, sólo debe usarse un respirador autónomo de pieza facial completa, aprobado por el NIOSH, operado en una modalidad de presión positiva.

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Antes de trabajar con **metano**, debe estar capacitado en el almacenamiento y la manipulación apropiados de esta sustancia química.
- Ya que pueden ocurrir reacciones violentas, el **metano** debe almacenarse para evitar el contacto con AGENTES OXIDANTES (tales como PERCLORATOS, PERÓXIDOS, PERMANGANATOS, CLORATOS, NITRATOS, CLORO, BROMO y FLÚOR) y OXÍGENO LÍQUIDO.
- Almacene en recipientes bien cerrados, en un área fresca, bien ventilada y lejos de MATERIALES COMBUSTIBLES.
- Las fuentes de ignición, tales como el fumar y las llamas abiertas, están prohibidas donde se usa, maneja o almacena **metano**.
- Los recipientes de metal que se usan en el traslado de **metano** deben estar conectados a tierra y entre sí.
- Use solamente equipos y herramientas que no produzcan chispas, especialmente al abrir y cerrar recipientes de **metano**.
- Las tuberías deben estar conectados eléctricamente entre sí y a tierra.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

- P: Si sufro efectos agudos sobre mi salud ahora, ¿sufriré efectos crónicos más adelante?
- R: No siempre. La mayoría de los efectos crónicos (a largo plazo) resultan de exposiciones repetidas a una sustancia química.
- P: ¿Puedo tener efectos a largo plazo sin haber tenido jamás efectos a corto plazo?
- R: Sí, ya que los efectos a largo plazo pueden deberse a exposiciones repetidas a una sustancia química, a niveles que no son suficientemente altos como para enfermarle de inmediato.
- P: ¿Qué probabilidades tengo de enfermarme después de haber estado expuesto a sustancias químicas?
- R: Cuanto mayor sea la exposición, más aumentará la probabilidad de enfermarse debido a sustancias químicas. La medida de la exposición está determinada por la duración de la exposición y la cantidad de material a la cual la persona está expuesta.
- P: ¿Cuándo es más probable que ocurran las exposiciones más altas?
- R: Las condiciones que aumentan el riesgo de exposición incluyen procesos físicos y mecánicos (calentamiento, vaciado, rociado, y derrames y evaporación a partir de superficies grandes, tales como recipientes abiertos) y exposiciones en espacios confinados (cubas, reactores, calderas, cuartos pequeños, etc.).
- P: ¿Es mayor el riesgo de enfermarse para los trabajadores que para los miembros de la comunidad?

METANO

página 4 de 6

R: Sí. Las exposiciones en la comunidad, salvo posiblemente en el caso de incendios o derrames, generalmente son mucho más bajas que las que ocurren en el lugar de trabajo. Sin embargo, los miembros de una comunidad pueden estar expuestos por largos períodos de tiempo a agua contaminada así como también a productos químicos en el aire, lo que podría ser problemático para los niños o las personas que ya están enfermas.

La siguiente información puede obtenerse a través del:

New Jersey Department of Health and Senior Services
Occupational Health Service
PO Box 360
Trenton, NJ 08625-0360
(609) 984-1863
(609) 984-7407 (fax)

Dirección web: <http://www.state.nj.us/health/eoh/odisweb>

Información sobre la higiene industrial

Los higienistas industriales están a su disposición para contestar sus preguntas acerca del control de las exposiciones a sustancias químicas mediante el uso de ventilación exhaustiva, prácticas laborales específicas, buenas prácticas de limpieza y mantenimiento, buenas prácticas de higiene, y equipo de protección individual, que incluye los respiradores. Además, pueden facilitar la interpretación de los resultados de datos obtenidos en encuestas e inventarios sobre la higiene industrial.

Evaluación médica

Si Ud. cree que se está enfermado debido a la exposición a sustancias químicas en su lugar de trabajo, puede llamar al Departamento de Salud y Servicios para Personas Mayores de New Jersey (New Jersey Department of Health and Senior Services), Servicio de Salud en el Trabajo (Occupational Health Service), que podrá ayudarle a encontrar la información que necesite.

Presentaciones públicas

Se pueden organizar presentaciones y programas educativos sobre la salud ocupacional o la Ley del Derecho a Saber para sindicatos, asociaciones comerciales y otros grupos.

Información y recursos del programa Derecho a Saber

La Línea de Información del programa Derecho a Saber es (609) 984-2202. La persona que conteste puede responder a sus preguntas sobre la identidad de las sustancias químicas y sus efectos potenciales sobre la salud, la lista de los materiales educativos sobre la salud ocupacional, las referencias usadas para preparar las Hojas Informativas, la preparación del inventario del Derecho a Saber, los programas de educación y capacitación, y los requisitos de rotulación. Además, puede proporcionarle información general sobre la Ley del Derecho a Saber. Las violaciones a dicha ley deben ser comunicadas al (609) 984-2202.

DEFINICIONES

La **ACGIH** es la Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Recomienda los límites máximos de exposición (los TLV) a sustancias químicas en el lugar de trabajo.

Un **carcinógeno** es una sustancia que causa cáncer.

El número **CAS** es el número único de identificación asignado a una sustancia química por el Servicio de Resúmenes Químicos (Chemical Abstracts Service).

El **CFR** es el *Código de regulaciones federales (Code of Federal Regulations)*, que consta de los reglamentos del gobierno estadounidense.

Una sustancia **combustible** es un sólido, líquido o gas que se quema.

Una sustancia **corrosiva** es un gas, líquido o sólido que causa daño irreversible a sus envases o al tejido humano.

El **DEP** es el Departamento de Protección al Medio Ambiente (Department of Environmental Protection) de New Jersey.

El **DOT** es el Departamento de Transporte (Department of Transportation), la agencia federal que regula el transporte de sustancias químicas.

La **EPA** es la Agencia de Protección al Medio Ambiente (Environmental Protection Agency), la agencia federal responsable de regular peligros ambientales.

La **FDA** es la Administración de Alimentos y Fármacos (Food and Drug Administration), la agencia federal que regula alimentos, fármacos, aparatos médicos, productos biológicos, cosméticos, fármacos y alimentos para animales, y productos radiológicos.

Un **feto** es un ser humano o animal no nacido.

La **GRENA** es la *Guía norteamericana de respuesta en caso de emergencia*. Ha sido realizada en conjunto por Transporte Canadá (Transport Canada), el Departamento de Transporte Estadounidense (DOT) y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México. Es una guía para los que responden primero a un incidente de transporte, para que puedan identificar los peligros específicos o generales del material involucrado, y para que puedan protegerse a ellos mismos, así como al público en general, durante la fase inicial de respuesta al incidente.

El **HHAG** es el Grupo de Evaluación de la Salud Humana (Human Health Assessment Group) de la EPA federal.

La **IARC** es la Agencia Internacional para Investigaciones sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer), que consta de un grupo científico que clasifica las sustancias químicas según su potencial de causar cáncer.

Una sustancia **inflamable** es un sólido, líquido, vapor o gas que se enciende fácilmente y se quema rápidamente.

mg/m³ significa miligramos de una sustancia química por metro cúbico de aire. Es una medida de concentración (peso/volumen).

Una sustancia **miscible** es un líquido o gas que se disuelve uniformemente en otro líquido o gas.

Un **mutágeno** es una sustancia que causa mutaciones. Una **mutación** es un cambio en el material genético de una célula del organismo. Las mutaciones pueden llevar a malformaciones en recién nacidos, abortos espontáneos o cáncer.

La **NFPA** es la Asociación Nacional para la Protección contra Incendios (National Fire Protection Association). Clasifica las sustancias según su riesgo de incendio y explosión.

El **NIOSH** es el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo (National Institute for Occupational Safety and Health). Prueba equipos, evalúa y aprueba los respiradores, realiza estudios sobre los peligros laborales y propone normas a la OSHA.

La **NRC** es la Comisión Reguladora Nuclear (Nuclear Regulatory Commission), una agencia federal que regula las plantas nucleares comerciales y el uso civil de materiales nucleares.

El **NTP** es el Programa Nacional de Toxicología (National Toxicology Program), que examina los productos químicos y estudia los indicios de cáncer.

La **OSHA** es la Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo (Occupational Safety and Health Administration), la agencia federal que promulga las normas de salud y seguridad y vigila el cumplimiento de dichas normas.

El **PEL** es el Límite de Exposición Admisible, que puede ser exigido por la OSHA.

La **PIH** es la designación que el DOT asigna a las sustancias químicas que presentan un Peligro de Intoxicación por Inhalación (Poison Inhalation Hazard).

ppm significa partes de una sustancia por un millón de partes de aire. Es una medida de concentración por volumen de aire.

La **presión de vapor** es una medida de la facilidad con la que un líquido o sólido se mezcla con el aire en su superficie. Una presión de vapor más alta indica una concentración más alta de la sustancia en el aire, y por lo tanto aumenta la probabilidad de respirarla.

El **punto de inflamabilidad** es la temperatura a la cual un líquido o sólido emite vapores que pueden formar una mezcla inflamable con el aire.

Una sustancia **reactiva** es un sólido, líquido o gas que emite energía en ciertas condiciones.

El **STEL** es el Límite de Exposición a Corto Plazo (Short-Term Exposure Limit), que se mide durante un período de 15 minutos y que nunca debe excederse durante el día laboral.

Un **teratógeno** es una sustancia que puede causar daño al feto y malformaciones en recién nacidos.

El **TLV** es el Valor Umbral Límite (Threshold Limit Value), el límite de exposición laboral recomendado por la ACGIH.

Anexo B.2 Sobre los sensores

Temperature Sensors Line Guide

Products for thousands of potential applications.

Honeywell S&C's temperature sensors provide multiple choices:

Packaged Temperature Probes

Probes: These enhanced and responsive sensors are often ideal for fluid, surface, and air/gas temperature sensing. Honeywell's temperature probes are offered in a variety of housing materials and styles, terminations and R-T curve types, depending on customers' application needs. Honeywell's packaged temperature probe assemblies incorporate either NTC (negative temperature coefficient) thermistors or RTD (resistance temperature detector) technology and operate under a wide range of environmental conditions. Whether it be an IP67 seal-rated oil temperature sensor used in the engine of a heavy duty vehicle, a surface temperature sensor used to monitor critical compressor temperatures in a transport refrigeration system, or an air temperature sensor rated to MIL-PRF-23648 used to measure aircraft engine-bleed air temperature inside the leading edge of an aircraft wing, Honeywell has the right technology, sensor packaging, testing, track record and application expertise to provide the right sensor solution for its customers. Customers trust and depend on Honeywell temperature sensors every day for their precision, stability, reliability and quality.



Packaged Temperature Probes	R300 Series	500 Series
Temperature sensing type	immersion	air/gas, immersion, surface, and liquid level
Thermistor type	RTD	NTC
Nominal resistance at 25 °C [77 °F]	100 Ohm	200 Ohm to 1,000,000 Ohm (inclusive)
Operating temperature range	-40 °C to 275 °C [-40 °F to 572 °F] continuous, excursion to 300 °C [572 °F] for 10 min. max.	-40 °C to 300 °C [-40 °F to 572 °F] (inclusive)
Housing material	stainless steel	plastic, aluminum, stainless steel, epoxy filled, tin- or nickel-plated copper, ceramic or kynar-filled tubing
Electrical and mechanical interface	overmolded connector with M14 x 1.50 thread	wide variety of connectors and lead types, materials and insulation



Packaged Temperature Probes	ES110 Series	ES120 Series
Temperature sensing type	air/gas	immersion
Thermistor type	NTC	NTC or KTY
Nominal resistance at 25 °C [77 °F]	2000 Ohm	2000 Ohm
Operating temperature range	-40 °C to 150 °C [-40 °F to 302 °F]	-40 °C to 150 °C [-40 °F to 302 °F]
Housing material	brass	brass
Electrical and mechanical interface	overmolded connector with M10x1.25 or M12 x 1.50 thread	overmolded connector with M10x1.25, M14 x 1.50 thread or 1/8 PTF

Model FP2000

Configurable Pressure Transducer



DESCRIPTION

The FP2000 series is a configurable differential pressure transducer which allows the customer to select the configuration which best fits the needs of the application. Choose from multiple accuracies, outputs, pressure ports, electrical terminations, and pressure ranges.

The FP2000 is available with gage, absolute, barometric, or vacuum reference and, best of all, they delivery in two weeks or less.



FEATURES

- mV/V, 0 Vdc to 5 Vdc, 0 Vdc to 10 Vdc, 4 mA to 20 mA
- Gage, absolute, barometric, vacuum
- Differential (wet/wet, wet/dry)
- Intrinsically safe option⁵
- CE available⁶

FP2000 pressure sensors are custom built from stocked components, and most are shipped in 10 business days or less. Please see <http://measurementsensors.honeywell.com> for updated listings



Wiring diagram for the pH, ORP, and Dissolved Oxygen Circuits

- To connect the Circuits to your microcontroller, follow the diagram below.
- The BNC shield can be connected to any ground line.
- Make sure your Circuit and microcontroller share a common ground.
- TX on your Circuit connects to RX on your microcontroller.

