UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD PARA LOCACIONES CERRADAS, EN BASE A LAS EXIGENCIAS DE LA NORMA NFPA 2001.

AUTOR:

JONATHAN MOISES CAHUASQUÍ MOLINA

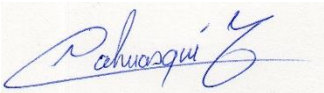
TUTORA:
CELI SÁNCHEZ CARMEN JOHANNA

Quito, Febrero del 2017

Cesión de derechos de Autor

Yo, Jonathan Moises Cahuasquì Molina, con documento de identificación N° 1719395723, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD PARA LOCACIONES CERRADAS, EN BASE A LAS EXIGENCIAS DE LA NORMA NFPA 2001.", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELECTRÓNICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

Jonathan Moises Cahuasquí Molina

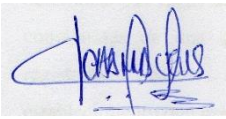
C.I: 1719395723

Fecha: Febrero 2017

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DE LA DOCENTE TUTORA

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD PARA LOCACIONES CERRADAS, EN BASE A LAS EXIGENCIAS DE LA NORMA NFPA 2001, realizado por Jonathan Moises Cahuasquí Molina, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero 2017



…….

Carmen Johanna Celi Sánchez

C.I.:1717437808

ÍNDICE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO 1 ..... **3**

ANTECEDENTES **3**

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 4
1.4 OBJETIVOS: 4

CAPÍTULO 2 ..... **6**

MARCO TEÓRICO **6**

2.1 SÍNTESIS DEL PROCEDIMIENTO DE LA NORMA NFPA-2001 6
2.2 ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS REFERENCIADOS A LA NORMA NFPA-2001. 7
2.2.1 Ventilador de Puerta 7
2.2.2 Variador de frecuencia 8
2.2.3 Medidor de Flujo de Aire 8
2.2.4 Manómetro Diferencial de Presión 9
2.3 ECUACIONES A UTILIZAR DE LA NORMA NFPA-2001 9
2.3.1 Densidad de la mezcla agente extintor-aire. 10
2.3.2 Presión calculada de la mezcla inicial aire-agente 11
2.3.3 Cálculo de Fugas. 11
2.3.4 Cálculo de Retención. 13
2.4 MÉTODO DE ZIEGLER Y NICHOLS PARA SINTONIZAR PID 16

CAPÍTULO 3 ..... **18**

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD 18

3.1 CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA 18
3.1.1 Ventilador axial SIEMENS 18
3.1.2 Variador de Velocidad OPTIDRIVE E^2 19
3.1.3 Medidor de Velocidad de Aire Series VTP 20
3.1.4 Manómetro Diferencial de Presión SERIES A1 21
3.1.5 Controlador Lógico Programable (PLC-Allen Bradley) 22
3.1.6 Marco de Puerta Extensible con Toldo 23
3.1.7 Breaker Siemens P/N: 5SL3216-7 24
3.1.8 Supresor de Transientes France Pharatonnerres 24
3.1.9 Fuente 24VDC Schneider Electric 25
3.1.10 Borneras Phoenix Contact 26
3.2 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL PORTÁTIL 27
3.3 DISEÑO DEL CABLEADO DEL TABLERO 30
3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL PORTÁTIL 32
3.5 DISEÑO DEL MARCO DE PUERTA EXTENSIBLE 35
3.6 IMPLEMENTACIÓN DEL MARCO DE PUERTA EXTENSIBLE 37
3.7 ASIGNACIÓN DE CANALES DEL PLC 38
3.8 PUESTA EN MARCHA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD OPTIDRIVE E^2 39
3.9 CÁLCULOS PARA LA SINTONIZACIÓN DEL SISTEMA PI PARA LA VARIABLE DEL DIFERENCIAL DE PRESIÓN 43
3.10 DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL DEL SISTEMA DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD 45
3.11 IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DEL USUARIO 47
3.12 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN Y EXTRACCIÓN DE AIRE 52

CAPÍTULO 4 53

ANÁLISIS PRUEBAS Y RESULTADOS 53

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS 53
4.1.1 Costos directos 53

..... 55
4.1.2 Costos Indirectos 55
4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS 55
4.2.1 Prueba de estanqueidad del contenedor 57
4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ESTANQUEIDAD AL CONTENEDOR A PRUEBA 61

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64

CONCLUSIONES. 65
RECOMENDACIONES 66

BIBLIOGRAFÍA 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ejemplo de oscilación del sistema 16
Figura 3.1. Ventilador axial monofásico 18
Figura 3.2. Variador de Velocidad Optidrive E2 19
Figura 3.3. Medidor de velocidad de aire SERIES VTP 20
Figura 3.4. Sensor Diferencial de Presión de aire SERIES A1 21
Figura 3.5. Marco de aluminio con tolde 23
Figura 3.6. External Layout 28
Figura 3.7. Internal Layout 29
Figura 3.8. Marquillas de equipos y cables 32
Figura 3.9. Estación de cortado a laser 33
Figura 3.10. Dobladora Industrial 33
Figura 3.11. Fabricación Tablero de control portátil 34
Figura 3.12. Diseño Interno del tablero de control 34
Figura 3.13. Marquillas de identificación de equipos 35
Figura 3.14. Diseño del marco de puerta extendible vista frontal 36
Figura 3.15. Diseño de marco de puerta extensible vista isométrica 37
Figura 3.16. Implementación de marco de puerta y toldo 38
Figura 3.17. Implementación de la estructura del marco de puerta. 38
Figura 3.18. Especificaciones del ventilador 40
Figura 3.19. Ciclo de impulso de arranque 40
Figura 3.20. Repuesta del sistema a una ganancia critica 44
Figura 3.21. Respuesta del sistema de control PI 45
Figura 3.22. Diagrama de Flujo del control del sistema 46
Figura 3.23. Portada interfaz del usuario 47
Figura 3.24. Pantalla menú principal 48
Figura 3.25. Pantalla Ingreso de Datos 48
Figura 3.26. Pantalla inspección preliminar 49
Figura 3.27. Pantalla parámetros PID. 49
Figura 3.28. Pantalla Prueba de presurización y despresurización 50
Figura 3.29. Reporte de Excel 51
Figura 3.30. Pantalla reporte final 51

Figura 3.31. Sistema de inyección y extracción de aire 52
Figura 4.1. Reporte del sistema contra incendios 56
Figura 4.2. Captura de datos presión estática..... 58
Figura 4.3. Detección de fugas..... 58
Figura 4.4. Material fotográfico de la captura de datos 59
Figura 4.5. Material fotográfico de la captura de datos 60
Figura 4.6. Reporte final del contenedor a prueba 60
Figura 4.7. Calculo del tiempo de permanencia del contenedor a prueba 61
Figura 4.8. Informe final aprobado por la autoridad competente 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Densidad de Vapor de Agentes 10
Tabla 2.2. Parámetros del controlador 16
Tabla 2.3. Ganancias del sistema PID 17
Tabla 3.1. Especificaciones ventilador axial 18
Tabla 3.2. Especificaciones variador de velocidad 19
Tabla 3.3. Especificaciones medidor de velocidad de aire 20
Tabla 3.4. Especificaciones manómetro diferencial de presión 21
Tabla 3.5. Especificaciones Controlador Lógico Programable 22
Tabla 3.6. Breaker de alimentación 24
Tabla 3.7. Breaker de alimentación 24
Tabla 3.8. Cargas del tablero control 25
Tabla 3.9. Fuente de alimentación 24VDC 25
Tabla 3.10. Borneras Phoenix Contact 26
Tabla 3.11. Fusibles de protección 26
Tabla 3.12. Intensidad admisible para conductores de cobre 31
Tabla 3.13. Color de cables 32
Tabla 3.14. Dimensiones marco de puerta extensible 35
Tabla 3.15. Variables de sensores y actuadores 39
Tabla 3.16. Variables de Ingeniería 39
Tabla 3.17. Parámetros iniciales ingresados al variador 42
Tabla 3.18. Parámetros avanzados del variador de velocidad 43
Tabla 4.1. Análisis precios unitarios 54
Tabla 4.2. Mediciones mínimas y máximas de caudales. 56
Tabla 4.3. Tabla ingreso de datos 57
Tabla 4.4. Mediciones de prueba de presurización 59
Tabla 4.5. Mediciones de prueba de despresurización 59

Anexo 1: Tablero de Control.

1.1 Diseño Externo.

1.2 Diseño Interno.

Anexo 2: Planos de Conexionado.

2.1 Distribución AC/DC.

2.2 Conexionado Entradas Digitales.

2.3 Conexionado Entradas Analógicas.

2.4 Conexionado Salidas Analógicas.

2.5 Conexionado Salidas Digitales.

Anexo 3: Planos Marco de Puerta Extensible.

Anexo 4: Certificados de Calibración.

4.1 Certificado de calibración del sensor Diferencial de Presión.

4.2 Certificado de calibración de Medidor de Velocidad de Aire.

Anexo 5: Informe Del Diseño del Sistema Contra Incendios.

Anexo 6: Carta de Finalización del Proyecto.

Anexo 7: Carta de Supervisor del Proyecto.

RESUMEN

ENERGYPETROL es una empresa Ecuatoriana que tiene 15 años de experiencia en diseño y construcción de sistemas de detección de fuego y gas, dentro de los cuales, una de las maneras de suprimir el fuego es mediante la aplicación de agentes extintores limpios como el denominado FM-200, para lo cual es necesario realizar una prueba de estanqueidad en la locación.

La empresa ENERGYPETROL auspicia el desarrollo de un sistema automático, modular y portátil el cual permita realizar las pruebas de estanqueidad con el fin de comprobar, certificar y localizar fugas en el recinto, con objeto de verificar si es lo suficientemente cerrado para mantener dentro, al agente extintor por un tiempo determinado y en el porcentaje de concentración de diseño que garantiza la extinción del fuego, todo este proceso está establecido por la norma NFPA 2001 que pretende determinar las fugas utilizando un ventilador de puerta, el cual permita emular las condiciones de una descarga real del sistema contra incendios, obteniendo y registrando variables de flujo y presión con el fin de predecir el tiempo de establecimiento que permanecerá el agente extintor en la locación.

Los resultados de estas pruebas mediante un informe técnico validan ante el cliente que la locación es adecuada para aplicar el agente extintor, garantizando la protección del sistema contra incendios en una alarma de fuego real, además colaborando con la conservación del medio ambiente.

ABSTRACT

ENERGYPETROL is an Ecuadorian company that has 15 years of experience in the design and construction of fire and gas detection systems, in which one of the ways to suppress fire is through the application of clean extinguishing agents such as FM- 200, for which it is necessary to carry out a leakproofness test at the location.

The ENERGYPETROL company sponsors the development of an automatic, modular and portable system which allows the leakage tests to be carried out in order to verify, certify and locate leaks in the enclosure, in order to verify if it is sufficiently closed to keep Extinguishing agent for a certain time and in the percentage of concentration of design that guarantees the fire extinction, all this process is established by the norm NFPA 2001 that tries to determine the leakages using a door fan, which allows to emulate the conditions of a Discharge of the fire system, obtaining and recording flow and pressure variables in order to predict the establishment time that the extinguishing agent will remain in the location.

The results of these tests through a technical report validate to the client that the location is adequate to apply the extinguishing agent, guaranteeing the protection of the fire system in a real fire alarm, in addition to collaborating with the conservation of the environment.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad cuando se aplica las diferentes tecnologías para la mitigación de incendios mediante un agente extintor, es de suma importancia que el recinto que está protegido sea hermético y mantenga la concentración de diseño del agente limpio dentro del recinto el tiempo suficiente para poder extinguir el fuego en el área protegida para que no exista una situación de re-ignición dentro de la sala.

Los diferentes sistemas existentes en la industria internacional para la predicción del tiempo de establecimiento podemos encontrar en empresas renombradas de Estados Unidos como Retrotec y The Energy Conservatory, que utilizan tecnología de punta para realizar pruebas de estanqueidad de un recinto donde se lo presuriza en función al volumen mediante un ventilador que se coloca en la puerta principal de ingreso que es sellada por un marco de puerta extensible evitando fugas, este procedimiento se lo realiza con el fin de determinar áreas de fuga; al momento que el recinto llega a un nivel establecido de presurización el equipo de medición recopila datos de la sobrepresión para luego ser procesados por un software que mediante algoritmos implícitos predice el tiempo que se mantendrá esta sobrepresión en la habitación.

El tiempo necesario para que el agente extintor apague el fuego se denomina tiempo de permanencia o de retención y se lo mide desde que existe una alarma de fuego y empieza la descarga hasta que se extinga el fuego. Normalmente los tiempos de permanencia se los determina mediante equipos especializados que recopilan información del recinto y condiciones de diseño que permiten la predicción del tiempo de retención y garantizan la estanqueidad que tienen el recinto que está exento de cualquier fuga interna de corriente de aire.

Para la creación del sistema de pruebas de estanqueidad se toman las mejores características de estos equipos en base a su funcionalidad y capacidad en el proceso de desarrollo del sistema, con el fin de emular las características que se determinan en el procedimiento de las normas NFPA-2001- Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios, para el desarrollo de la prueba de integridad del recinto detallada en el anexo C de dicha norma.

Para el desarrollo del proyecto técnico se tratarán los siguientes temas:

Capítulo 1: Se presenta la problemática a resolver y sus diferentes objetivos a cumplir para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2: En el presente capítulo se trata la teoría fundamental del proyecto donde se recopila toda la información de los elementos utilizados, y de las formulas necesarias para la predicción del tiempo de permanencia.

Capítulo 3: Se describe el diseño e implementación de hardware como de software del sistema de pruebas de estanqueidad, además la descripción de la lógica de control para la predicción del tiempo de permanencia.

Capítulo 4: Se realiza la aplicación de pruebas del sistema de estanqueidad y se analiza los resultados obtenidos, además se muestra el análisis de costos unitarios del sistema de pruebas de estanqueidad.

Finalmente Se presenta las conclusiones obtenidas del sistema de pruebas de estanqueidad en consideración con el cumplimiento de los objetivos planteados para el sistema y las recomendaciones a tomar en cuenta para posibles trabajos futuros.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la empresa Energypetrol es considerada una empresa líder en el país en diseño y construcción de sistemas de detección y supresión de fuego y gas, dentro de los cuales, una de las maneras de extinguir el fuego es mediante la aplicación de agentes extintores limpios como el denominado FM-200 en áreas cerradas, realizando una prueba de estanqueidad de la locación.

La prueba de estanqueidad es un método para comprobar, certificar y localizar fugas en un recinto, con el objeto de verificar si es lo suficientemente cerrado para mantener dentro al agente extintor por un tiempo determinado y en el porcentaje de concentración de diseño que garantiza la extinción del fuego.

Por lo tanto, es de sumo interés para ENERGYPETROL el desarrollo de un sistema automático en el que se aplique tecnología de punta y que permita realizar pruebas de estanqueidad en recintos o áreas cerradas, ya que los resultados de estas pruebas validan ante el cliente que la locación es adecuada para aplicar el agente extintor.

1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La implementación del módulo de pruebas de estanqueidad se podrá efectuar en los recintos que estén protegidos con sistemas contra incendios que utilicen el agente extintor FM-200 (HFC- 227ea) estos recintos no deben sobrepasar un volumen de 1000 m^3 y no contengan techos o suelos falsos en sus interiores, lo que determinará el tiempo de permanencia de acuerdo la norma NFPA-2001.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Con el desarrollo del Proyecto, ENERGYPETROL busca ser una empresa pionera a nivel nacional en el área de pruebas de estanqueidad en recintos, ya que este servicio no lo brinda ninguna otra empresa en el país. Este módulo busca certificar una locación para que sea apta para aplicar el agente extintor limpio sin problemas de fugas, siendo un requerimiento exigido en la normativa internacional "*NFPA 2001 (National Fire Protection Association - 2001: STANDARD ON CLEAN AGENT FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS*" (NFPA-2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2015), que son estándares elaborados para el uso y guía de aquellos responsables de la adquisición, diseño, instalación, ensayo, inspección, aprobación, listado, funcionamiento y mantenimiento de sistemas de extinción con agentes limpios.

De esta manera la empresa ENERGYPETROL pretende brindar el servicio de pruebas de estanqueidad demostrando si el agente permanecerá dentro de la locación el tiempo necesario, con lo cual se evita que el cliente haga una prueba de descarga real con agente extintor que resulta demasiado costosa.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General:

- Diseñar y construir un sistema portátil de pruebas de estanqueidad para locaciones cerradas, en base a las exigencias de la norma NFPA 2001.

Objetivos específicos:

- Definir los equipos necesarios e instrumentación para la implementación del sistema de pruebas de estanqueidad.
- Diseñar un sistema automático portátil con un PLC para el ingreso de señales de instrumentación, realización de cálculos y monitoreo de resultados en un HMI.
- Realizar los diagramas de conexionado y planos de detalle para la construcción del sistema para pruebas de estanqueidad y para la puerta extensible.

- Implementar el sistema para pruebas de estanqueidad a fin de que la empresa ENERGYPETROL lo pueda aplicar en sus distintos proyectos para la certificación de la integridad de las locaciones.
- Realizar el análisis presupuestario para la construcción de un módulo de pruebas de estanqueidad.
- Realizar una prueba con el módulo para comprobar su perfecto funcionamiento con la Norma NFPA-2001.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo trata sobre el equipamiento necesario para el ensayo de integridad del recinto que está regido por la norma NFPA-2001 que determina las características de los equipos de medición.

2.1 Síntesis del procedimiento de la NORMA NFPA-2001

La norma NFPA-2001 trata estándares sobre sistemas de extinción de incendios con agentes limpios, determina un procedimiento de caracterización para realizar la prueba de integridad de un recinto, requisito importante cuando se aplica los sistemas contra incendios garantizando que los agentes extintores mitiguen cualquier alarma de incendio además de la detección de fugas de aire para hermetizar el recinto.

Mediante estas pruebas de integridad se pretende aplicar el método de cálculo para la predicción del tiempo de permanencia del agente extintor en el recinto y garantice que no exista un re-ignición de fuego, la fiabilidad de este método normado tiene como objetivo que el agente extintor mantenga una concentración de diseño durante un tiempo no menos de 10 minutos para que exista una respuesta del personal entrenado. A continuación se describe un extracto de la normativa NFPA 2001:

"*7.7.2.5 Comprobación de la Integridad del Recinto.*

En todos los sistemas de inundación total se deberá examinar y probar el recinto, a fin de localizar y sellar de forma efectiva cualquier fuga de aire que pudiera impedir el mantenimiento de la concentración de agente extintor durante el tiempo necesario". (NFPA-2001, Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios, 2012, pág. 25)

Con lo citado anteriormente, el sistema deberá predecir el tiempo que tardara la concentración de un agente limpio en descender hasta un determinado porcentaje y

deberá cumplir las recomendaciones dictadas por la normativa NFPA-2001 en cuanto a la realización de pruebas de estanqueidad en recintos.

El sistema utilizará un ventilador de puerta con un control variable de velocidad o un regulador en serie con el propio ventilador para producir una presión diferencial al menos igual a la presión prevista cuando se aplique el agente limpio y poseerá la instrumentación como medidores de flujo o presión a fin de obtener datos, calcular y registrar en un PLC y HMI los resultados cuantitativos que demuestren que la concentración del agente se mantendrá por el tiempo necesario para extinguir el fuego.

Con el ensayo de integridad se pretende lograr la certificación del recinto para el agente limpio FM-200 que se utiliza comercialmente por la empresa ENERGYPETROL. Todos los instrumentos de medición sensores y actuadores están descritos por la norma NFPA-2001 adquirida por la empresa, por esta razón se describe a continuación los elementos y características a considerar para la implementación del módulo de sistemas de pruebas de estanqueidad.

2.2 Elementos y Características de equipos referenciados a la norma NFPA-2001.

En ésta sección se procederá a especificar los equipos con las diferentes características en cuanto a su precisión y funcionalidad en base a la norma NFPA-2001.

2.2.1 Ventilador de Puerta.

El ventilador de puerta axial es un elemento compuesto por un rotor con hélice de perfil aerodinámico para impulsión de aire además de un motor que se ubica dentro de una carcasa cilíndrica de aluminio que le permite tener una gran capacidad de flujo de aire para presurización o despresurización según el sentido de giro del motor.

La característica principal del ventilador de aire es la de inyectar o extraer aire de un área cerrada, creando un diferencial de presión entre el recinto cerrado y el medio ambiente con el fin de que esta diferencia sea igual o mayor a 10 Pascales, pero también que sea igual a la presión inicial de columna, cumpliendo lo citado en la Norma NFPA-2001 en el párrafo "*C.2.2.1.1. El ventilador o ventiladores de puerta*

deberían poseer un caudal de aire capaz de producir una presión diferencial al menos igual a la presión de columna prevista o a 10 Pa, aquella que sea mayor." (NFPA-2001, Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios, 2012, pág. 120).

2.2.2 Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo el cual permite el control de la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna, el variador se alimenta de un voltaje y frecuencia constante que mediante electrónica la convierte en un voltaje y frecuencia variable para que la velocidad del motor pueda ser controlada.

Ya que es necesario variar la velocidad a la que el motor del ventilador trabaja se debe utilizar un variador de frecuencia para alcanzar una estabilidad en cuanto a la cantidad de flujo que se inyecta o se desea extraer del recinto como determina la norma en el párrafo "*C.2.2.1.2 El ventilador debería disponer de un control variable de velocidad o un regulador en serie con el propio ventilador.*" (NFPA-2001, Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios, 2012, pág. 120).

2.2.3 Medidor de Flujo de Aire

El medidor de flujo de aire o caudalímetro es un instrumento encargado de medir la velocidad de un fluido que pasa por un área constante, existen varios tipos de medidores de flujo los cuales tienen diferentes técnicas para medir la velocidad que son:

- Medidor de turbina
- Medidor ultrasónico
- Medidor de hilo caliente

El medidor de flujo de aire debe ser capaz de medir el caudal que entrega el ventilador axial, debe tener una precisión de ±5% del caudal medido, así se garantiza las mediciones de caudal de aire en el sistema, a continuación un extracto de la Norma NFPA-2001 que habla sobre el sistema de medición de aire "*C.2.2.1.3 El ventilador*

debería estar calibrado en unidades de flujo de aire, o conectado a un sistema medidor de flujo de aire. C.2.2.1.4 La medida de flujo de aire debería tener una precisión de ±5 por ciento del caudal medido." (NFPA-2001, Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios, 2012, pág. 121)

2.2.4 Manómetro Diferencial de Presión

El manómetro diferencial de presión es un instrumento electrónico que se fundamenta en realizar la diferencia entre dos presiones medidas en diferentes lugares donde existan variaciones de presión, las mediciones más comunes de presiones en los instrumentos son la presión atmosférica, presión absoluta y presión relativa.

El manómetro diferencial de presión tiene que medir un diferencial de presión de 0 a 50 Pascales con una precisión de ±1 Pascal lo cual permitirá la recolección de información en cuanto a la presión existente en el recinto cerrado y la presión del entorno fuera del recinto, así pues la norma NFPA-2001 determina características del manómetro diferencial de presión en el siguiente párrafo: "*C.2.2.1.5 El manómetro del recinto debería ser capaz de medir diferencias de presión desde 0 Pa hasta 50 Pa. Debiera contar con una precisión de ± 1 Pa y divisiones de 1 Pa o menos. Se considera que los manómetros inclinados rellenos de aceite se adaptan a un estándar principal y no necesitan ser calibrados. El resto de aparatos medidores de presión (por ejemplo, transductores electrónicos o magnohelicos) deberían calibrarse al menos con una periodicidad anual.*" (NFPA-2001, Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios, 2012, pág. 121)

2.3 Ecuaciones a utilizar de la Norma NFPA-2001

Para el proceso de control se utilizó las ecuaciones del método total de fugas que se describe en la Norma NFPA 2001 con el fin de calcular el tiempo de retención del agente extintor.

Estas ecuaciones se determinan en base al agente extintor que se está utilizando para proteger el recinto con el fin de definir los parámetros.

2.3.1 Densidad de la mezcla agente extintor-aire

Es necesario calcular la densidad de la mezcla de aire con el agente extintor en el recinto, para esto se utiliza la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{\rho mi} = \boldsymbol{\rho e}\frac{\mathbf{Ci}}{\mathbf{100}} + [\boldsymbol{\rho a}\frac{(\mathbf{100-Ci})}{\mathbf{100}}] \qquad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

ρ_{mi} Densidad calculada de la mezcla aire-agente.

ρ_e Densidad de vapor del agente extintor

C_i Concentración inicial de aire del agente extintor.

ρ_a Densidad del aire.

La concentración inicial se la obtiene de la hoja de datos del diseño de sistema contra incendios en el software de Kidde Fire System que es utilizado para el cálculo de la cantidad de agente extintor, se tiene que utilizar en una área determina, además de la densidad del vapor del agente extintor se la puede conocer en la norma NFPA-2001 en la tabla C.2.7.1.3.

Tabla 2.1. Densidad de Vapor de Agentes

Agente	Densidades de Vapor	
	lb/ft3	kg/m3
FK-5-1-121	0,865	3,86
HCFC Mezcla A	0,24	3,85
HCFC 124	0,363	5,81
HFC-125	0,313	5,02
HFC-227ea	0,453	7,26
HFC-23	0,183	2,92
HFC-236fa	0,407	6,52
FIC-13I1	0,5	8,01
HFC Mezcla B	0,263	4,22
IG-01	0,104	1,66
IG-100	0,072	1,16
IG-541	0,088	1,41
IG-55	0,088	1,41

Mediante la tabla se elige la densidad del agente extintor con el que se está trabajando en este caso el nombre comercial es FM-200 mientras que el nombre técnico es HFC-227ea.
Fuente: (NFPA-2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2015, pág. 123)

2.3.2 Presión calculada de la mezcla inicial aire-agente

Es necesario realizar el cálculo de la presión inicial de columna que es la presión máxima que se ejerce en la placa del suelo del recinto debido a la mezcla del agente aire agente extintor para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Pmi = (gn)(Ho)(\rho mi - \rho a)} \qquad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde:

P_{mi} Presión calculada de la mezcla inicial aire-agente

g_n Aceleración debida a la gravedad.

H_O Máxima altura de inundación, altura del recinto.

ρ_{mi} Densidad calculada de la mezcla aire-agente

ρ_a Densidad del aire.

Ahora para el cálculo del tiempo de permanencia es necesario considerar las fugas con el fin de que se pueda mantener el recinto exento de cualquier filtración para esto hay que considerar las siguientes ecuaciones.

2.3.3 Cálculo de Fugas

Es necesario obtener el promedio de presiones medidas a 10 Pascales en el ensayo del sistema de pruebas de estanqueidad mediante la siguiente ecuación.

$$\mathbf{P1 = \frac{(|P1p - Pbt| + |P1d - Pbt|)}{2}} \qquad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

P1 Presión calculada.

P1p Presión medida en el ensayo mediante la presurización

Pbt Medición de Presión estática presente en el recinto.

P1d Presión medida en el ensayo mediante despresurización

Asimismo se debe obtener el promedio de presiones medidas a 50 Pascales o menor en el ensayo del sistema de pruebas de estanqueidad mediante la siguiente ecuación.

$$\mathbf{P2} = \frac{(|\mathbf{P2p}-\mathbf{Pbt}|+|\mathbf{P2d}-\mathbf{Pbt}|)}{\mathbf{2}} \qquad \text{Ecuación (2.4)}$$

Donde:

P2 Presión calculada.

P2p Presión medida en el ensayo mediante la presurización

Pbt Medición de Presión estática presente en el recinto.

P2d Presión medida en el ensayo mediante despresurización

De la misma forma se debe obtener el promedio de caudales medidos a 10 y a 50 Pascales al momento de realizar las pruebas de presurización y despresurización mediante las siguientes ecuaciones.

$$\boldsymbol{Q}\mathbf{1} = \frac{(\boldsymbol{Q}\mathbf{1p}+\boldsymbol{Q}\mathbf{1d})}{\mathbf{2}} \qquad \text{Ecuación (2.5)}$$

Donde:

Q1 Flujo medio calculado a P1d y P1p

Q1p Flujo medido a P1p

Q1d Flujo medido a P1d

$$\boldsymbol{Q}\mathbf{2} = \frac{(\boldsymbol{Q}\mathbf{2p}+\boldsymbol{Q}\mathbf{2d})}{\mathbf{2}} \qquad \text{Ecuación (2.6)}$$

Donde:

Q2 Flujo medio calculado a P2d y P2p

Q2p Flujo medido a P2p

Q2d Flujo medido a P2d

También es necesario calcular el exponente de fuga de caudal (n) y la constante de fuga de caudal *k*1 mediante las ecuaciones siguientes:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\mathbf{In}(\boldsymbol{Q1}/\boldsymbol{Q2})}{\mathbf{In}(\mathbf{P1}/\mathbf{P2})}$$ Ecuación (2.7)

Donde:

n Exponente de fuga calculado

Q1 Flujo medio calculado a P1d y P1p

Q2 Flujo medio calculado a P2d y P2p

P1 Presión calculada para punto primario de 10 Pa

P2 Presión calculada para punto secundario de 50 Pa

$$\mathbf{k1} = \frac{\mathbf{Q1}}{(\mathbf{P1})^{\mathbf{n}}}$$ Ecuación (2.8)

Donde:

k1 Fuga constante calculada de la sala

Q1 Flujo medio calculado a P1d y P1p

P1 Presión calculada para punto primario de 10 Pa.

n Exponente de fuga calculado

2.3.4 Cálculo de Retención

Para el cálculo de retención es necesario utilizar las siguientes ecuaciones.

La constante de correlación *k*2 nos sirve para relacionar la fuga que tiene el recinto en función del caudal que se escapa por dicha fuga en donde usaremos la siguiente ecuación:

$$\mathbf{k2} = \mathbf{k1}\left(\frac{\boldsymbol{\rho}\mathbf{a}}{\mathbf{2}}\right)^{\boldsymbol{n}}$$ Ecuación (2.9)

Donde:

k2 Variable intermedia calculada

k1 Fuga constante calculada de la sala

ρa Densidad del aire

n Exponente de fuga calculado

Para el cálculo del tiempo de retención se debe tomar en cuenta las características del agente extintor ya que en la norma NFPA-2001 nos delimita un grupo de fórmulas para agentes más pesados que el aire al igual que para agentes más livianos.

Para el FM-200 se determinó las propiedades físicas con el fabricante DuPont que el agente extintor posee una densidad de vapor de 7.1461 Kg/m3 en comparación con la densidad del aire que se determinó en 1.202 Kg/m3, por esta razón se llega a la conclusión de que el agente extintor es más pesado que el aire puesto que es más denso además de que su peso atómico es mayor que el del aire.

Ahora se procede a realizar el cálculo de constantes simplificadoras para el agente extintor las cuales determinan el tiempo de permanencia.

Fórmula para calcular las constante simplificadora k3 y k4 para agentes extintores usando las siguientes ecuaciones:

$$\boldsymbol{k3} = \frac{\boldsymbol{2gn|\rho mi - \rho a|}}{\boldsymbol{\rho mi + \rho a}\ \left(\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{1-F}}\right)^{\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{n}}}} \qquad \text{Ecuación (2.10)}$$

Donde:

k3 Constante simplificadora calculada con gravedad

gn Aceleración debida a la gravedad

ρ_{mi} Densidad calculada de la mezcla aire-agente.

ρ_a Densidad del aire

F Fracción de fuga (establecida por la norma NFPA-2001 en un valor de 0.5).

n Exponente de fuga calculado

$$\boldsymbol{k4} = \frac{\boldsymbol{2|Pbh|}}{\boldsymbol{\rho mi + \rho a}\ \left(\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{1-F}}\right)^{\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{n}}}} \qquad \text{Ecuación (2.11)}$$

Donde:

k4 Constante simplificadora calculada con presión estática

Pbh Presión estática medida.

ρ_{mi} Densidad calculada de la mezcla aire-agente

ρ_a Densidad del aire

F Fracción de fuga (establecida por la norma NFPA-2001 en un valor de 0.5).

n Exponente de fuga calculado.

Por último para para el cálculo del tiempo de permanencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{t = \frac{V}{Ho}\frac{(k3\ Ho+K4)^{1-n}-(k3\ H+K4)^{1-n}}{(1-n)k2\ F\ k3}} \qquad \text{Ecuación (2.12)}$$

Donde:

t Tiempo de permanencia

V Volumen máximo del recinto

Ho Altura máxima del recinto

H Altura mínima que el agente extintor debe descender (valor mínimo 75% de la altura máxima del recinto.)

k3 Constante simplificadora calculada con gravedad

k4 Constante simplificadora calculada con presión estática

k2 Variable intermedia calculada

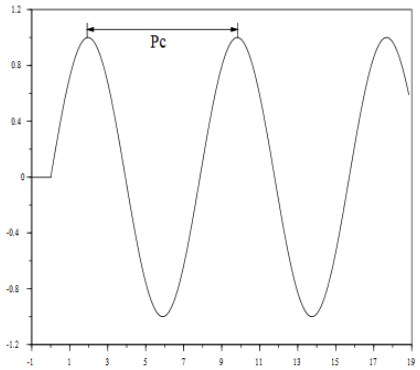
F Fracción de fuga (establecida por la norma NFPA-2001 en un valor de 0.5).

n Exponente de fuga calculado.

2.4 Método de Ziegler y Nichols para sintonizar PID

En la sintonización del PID se utiliza el método de ajuste de Ziegler y Nichols que consiste en dar una ganancia proporcional e incrementarla hasta que el sistema comience a oscilar y el periodo se mantenga constante como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2.1. Ejemplo de oscilación del sistema



Oscilación del sistema en base a la ganancia critica
Fuente: (Mazzone, 2002)

Después de realizar este proceso se registra el valor de la ganancia crítica denominada (Kc) y del periodo de oscilación de la salida del controlador (Pc), de esta forma se realiza el cálculo de los parámetros de controlador según a siguiente tabla.

Tabla 2.2. Parámetros del controlador

	Kp	Ti	Td
P	0.5Kc		
PI	0.45Kc	Pc/1.2	
PID	0.60 Kc	0.5 Pc	Pc/8

Mediante la tabla se calcula los parámetros de sintonización del PID.
Fuente: (Miranda, 2012, pág. 147)

Después de obtener dichos valores se recalculan las variables de Kp, Ti y Td que a su vez permite calcular las ganancias Ki y Kd del sistema PID y su representación matemática en la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Ganancias del sistema PID

Ganancia Proporcional (Kp)	Kp
Ganancia Integral (Ki)	Kc/Ti
Ganancia Derivativa(Kd)	Td

Mediante la tabla se calcula los parámetros de sintonización del PID.
Fuente: (Miranda, 2012, pág. 162)

De esta forma se logra una respuesta del sistema de control PID de velocidad que se podrá observar con mayor detalle en los siguientes capítulos.

CAPITULO 3

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD

Este capítulo detalla el diseño y construcción del sistema de pruebas de estanqueidad con el fin de cumplir el procedimiento de la Norma NFPA-2001.

3.1 Caracterización de elementos del sistema

3.1.1 Ventilador axial SIEMENS

El ventilador axial Siemens modelo 2CC2504- 5YA3 cumple con la norma por las siguientes características.

Tabla 3.1. Especificaciones ventilador axial

Motor monofásico	
Tensión	100 VAC, a 60Hz
Diámetro	500 mm
Caudal	2.93 m3/s
Potencia	0.8 Kw
Corriente	9.8 Amp
Velocidad	1800 rpm
Motor en carcaza totalmente cerrado	
Pintura electrostática	

Mediante la tabla se determina las características más importantes del ventilador axial.
Fuente: (Siemens, 2014, pág. 2/20)

Figura 3.1. Ventilador axial monofásico

Ventilador utilizado para la impulsión o extracción de aire.
Fuente: (Siemens, 2014, pág. 2/20)

Un importante aspecto de este ventilador es que trabaja a 110Vac, ya que en la industria y en el ámbito urbano se maneja esta tensión que puede alimentarlo para que funcione en cualquier lugar.

3.1.2 Variador de Velocidad OPTIDRIVE E^2

El variador de velocidad trabaja a 110Vac monofásico este modelo se caracteriza por tener una señal de control del motor a 4-20 mA la cual facilita la comunicación con los controladores lógicos programables (PLC) para tener un proceso automático y no manual además tienen un control de rampa para mantener un arranque suave del motor, aquí algunas características importantes.

Tabla 3.2. Especificaciones variador de velocidad

Tensión	110-115V
Corriente máxima	16 Amp
Salida del motor	0.75 hp
Corriente de salida	10.5
Breaker interno	
Entrada/Salidas analógicas	1
Entradas/Salidas digitales	4

Mediante la tabla se determina las características más importantes del variador de velocidad.
Fuente: (Invertek Drive, pág. 9)

Figura 3.2. Variador de Velocidad Optidrive E2

Variador de velocidad utilizado para el control del ventilador
Fuente: (Invertek Drive)

3.1.3 Medidor de Velocidad de Aire Series VTP

Este transmisor se caracteriza por tener una sonda remota de hilo caliente y por su blindaje de acero inoxidable extiende su vida útil además muestra simultáneamente tres tipos de variables que son temperatura, velocidad, presión este último es opcional con un lazo de trabajo independiente para cada señal de 4-20 mA, este transmisor también puede calcular el caudal si se tiene el dato del área de trabajo.

Este transmisor cumple con las características dispuestas en la norma NFPA-2001en cuanto a la precisión necesaria del sistema de medición. Transmite la señal de la velocidad de aire para poder calcular el caudal de aire que impulsa el ventilador a continuación algunas características.

Tabla 3.3. Especificaciones medidor de velocidad de aire

Precisión	Velocidad del aire 3% full scale, Temperatura +/- 1.8 °F(1 °C)
Señal de salida	4-20 mA independiente
Fuente de alimentación	24 VDC
Tiempo de respuesta	3 segundos
Amortiguación	Ajustable de 3 a 30 segundos
Certificado de calibración	si

Mediante la tabla se determina las características más importantes del medidor de velocidad de aire.
Fuente: (SENSOCON, Multi Range Air Velocity / Temperature / Pressure Transmitter, 2005,

Figura 3.3. Medidor de velocidad de aire SERIES VTP

Transmisor de velocidad de aire para el cálculo del flujo de aire del ventilador axial.
Fuente: (SENSOCON, Multi Range Air Velocity / Temperature / Pressure Transmitter, 2005)

3.1.4 Manómetro Diferencial de Presión SERIES A1

El manómetro diferencial de presión SERIES A1 de la marca Sensocon es un transmisor el cual tiene un piezo-resistivo de alta estabilidad con una salida de 4-20mA y un display que muestra el rango de medición exigido en la norma NFPA-2001, este sensor reemplaza a los medidores mecánicos de menor exactitud. A continuación característica del transmisor.

Tabla 3.4. Especificaciones manómetro diferencial de presión

Presión máxima	Rangos de -60 a 60 Pa
Compatibilidad de medios	Aire
Precisión	0.5%
Señal de salida	4-20 mA
Resistencia de Bucle	750 Ohm max
Fuente de alimentación	Universal 24-240 Vac o Vcc
Tiempo de respuesta	< 100 ms
Display	4 digitos, led rojo, ½ “ (12,7mm)
Conexión de proceso	3/16 (5mm)
Certificado de calibración	si

Mediante la tabla se determina las características más importantes del medidor de velocidad de aire.
Fuente: (SENSOCON, Digital Differential Pressure Gauge, 2005, pág. 1)

Figura 3.4. Sensor Diferencial de Presión de aire SERIES A1

Transmisor utilizado para medir el diferencial de presión entre e recinto cerrado y el entorno externo.
Fuente: (SENSOCON, Digital Differential Pressure Gauge, 2005)

A continuación describimos los elementos utilizados para el sistema de pruebas de estanqueidad, que no constan en la norma NFPA 2001 pero son parte del sistema automático.

3.1.5 Controlador Lógico Programable (PLC-Allen Bradley)

El controlador lógico programable utilizado para el sistema de pruebas de estanqueidad es entregado por la empresa Energypetrol para la implementación y tienen las siguientes características.

Tabla 3.5. Especificaciones Controlador Lógico Programable

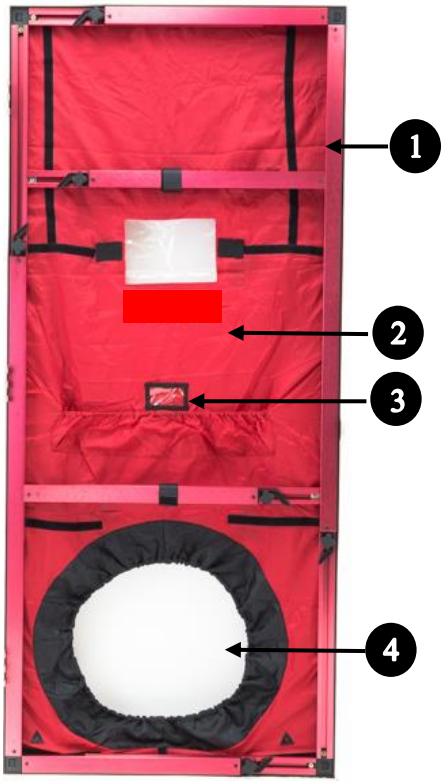
Backplane 1756-A10	chasis de 10 ranuras
Procesador 1756-L72	Memoria de 4Mb y salida de memoria de 0.98Mb con 12800 máxima de entradas/salidas digitales y 4000 máxima de entradas/salidas analógicas.
Fuente de PLC 1756-PA75R	Fuente para PLC con conexión db25 propio de la marca allen bradley.
Módulo de Entradas Digitales 1756-IB16	(F/W 3.004) 16 canales de entradas digitales
Módulo de Entradas Analógicas 1756-IF16	(F/W 1.005) 16 canales de entradas analógicas
Módulo de Salidas Analógicas 1756-OF8H	(F/W 2.1) 8 canales de salidas analógicas
Módulo de Salidas Digitales 1756-OW16I	(F/W 3.03) 16 canales de salidas digitales

Mediante la tabla se determina las características más importantes del controlador lógico programable.
Fuente: (Automation, 2012)

3.1.6 Marco de Puerta Extensible con Toldo

El marco de puerta extensible se coloca en la puerta principal de acceso al recinto el cual se extiende el largo y ancho del marco consiguiendo ajustarse a cualquier marco de puerta, es recubierto con un toldo que al momento de presionar sella por completo la puerta principal de ingreso al recinto impidiendo que haya fugas.

Figura 3.5. Marco de aluminio con tolde



1	Marco de aluminio
2	Toldo de tela permeable
3	Canal para manguera de sensor diferencial de presión
4	Orificio para ventilador

Marco de puerta extensible con toldo para sello hermético de la puerta principal del recinto.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

3.1.7 Breaker Siemens P/N: 5SL3216-7

Se utiliza este breaker siemens en base al diseño en la carga que debe proteger, especificado en el anexo 1.1, dicho braker tiene las siguientes características.

Tabla 3.6. Breaker de alimentación

Numero de polos	2
Blindaje	IP-20
Protección de corriente	16 Amperios
Protección de Voltaje	400 VAC

Mediante esta tabla se determina las características más importantes del breaker de alimentación del sistema de estanqueidad.
Fuente: (Siemens, 2014, pág. 87)

El valor del breaker para la protección de corriente se estimó en función a el máximo de cargas que se conectara en las borneras de distribución de AC especificado en el plano de distribución AC/DC del anexo 2.1.

3.1.8 Supresor de Transientes France Pharatonnerres

Protege a los equipos de las sobretensiones que puede generar la red eléctrica urbana con el fin de proteger a los equipos de un shock eléctrico y dejen de funcionar, a continuación las características.

Tabla 3.7. Breaker de alimentación

Polos	Fase y neutro
Máximo de Voltaje de descarga	335 VAC
Máxima corriente de descarga	40KA

Mediante la tabla se determina las características más importantes del supresor de transientes del sistema de estanqueidad.
Fuente: (France-Paratonnerres, 2011, pág. 1)

Para la elección del supresor de transientes es necesaria la suma de todas las cargas de corriente en los equipos que van a estar conectados a la línea de alimentación y borneras de distribución AC por lo cual:

Tabla 3.8. Cargas del tablero control

Variador de frecuencia	16 A
Fuente de voltaje 24VDC	0.5 A
Fuente PLC	0.8 A
Outlet 001 máxima protección	4 A
Protección de borneras de sobredimensionamiento	6 A

Mediante la tabla se determina el total de consumo de corriente en el tablero de control.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

La totalidad de la carca a proteger del supresor de transientes es de 27.3 amperios, se aproxima al valor más alto de 40 kA por sobredimensionamiento se decide por este valor, de ser necesario conectar mayor carga.

3.1.9 Fuente 24VDC Schneider Electric

Fuente modular para los instrumentos de medida que utilizan 24voltios DC en su alimentación a continuación algunas características:

Tabla 3.9. Fuente de alimentación 24VDC

Entrada de voltaje	110-240 VAC
Salida de voltaje	24 VDC
Salida de corriente max.	1.2 A
Potencia de salida	30 W

Mediante la tabla se determina las características más importantes de la fuente de alimentación de 24 VDC.
Fuente: (Electric, 2000, pág. 3)

3.1.10 Borneras Phoenix Contact

Las borneras de conexionado del tablero de control para la distribución AC y DC de los sensores y actuadores, se especifica en los planos de diseño del anexo dos del sistema de pruebas de estanqueidad a continuación las características:

Tabla 3.10. Borneras Phoenix Contact

	Tres Pisos	Porta Fusibles (110Vac y 24 Vdc)	Paso Universal
Corriente nominal	22 A	6.3 A	41 A
Corriente de carga máxima	30 A	6.3 A	32 A
Tensión nominal.	250 V	250 V	1000 V

Mediante la tabla se determina las características más importantes de las borneras de conexionado para el sistema de estanqueidad.
Fuente: (Contact, Technical data, 2011, pág. 2/24)

Los fusibles de protección de estas borneras son estimados en función a la carga que demanda el equipo:

Tabla 3.11. Fusibles de protección

Fuente de voltaje 24 VDC	0.5 A, Fusible 1 A
Fuente PLC	0.8 A, Fusible 1 A
Outlet 001	Fusible 4 A
Protección de borneras de sobredimensionamiento	Cantidad 3, Fusible 2 A

Mediante la siguiente tabla se determina el fusible que protegerá a los diferentes elementos del tablero de control
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Los elementos no descritos en la caracterización se encuentran detallados en cada uno de los planos adjunto a su dibujo en AutoCAD en los anexos 1.1 y 1.2, ya que no entran en las especificaciones de diseño a dimensionar.

3.2 Diseño del Tablero de Control Portátil

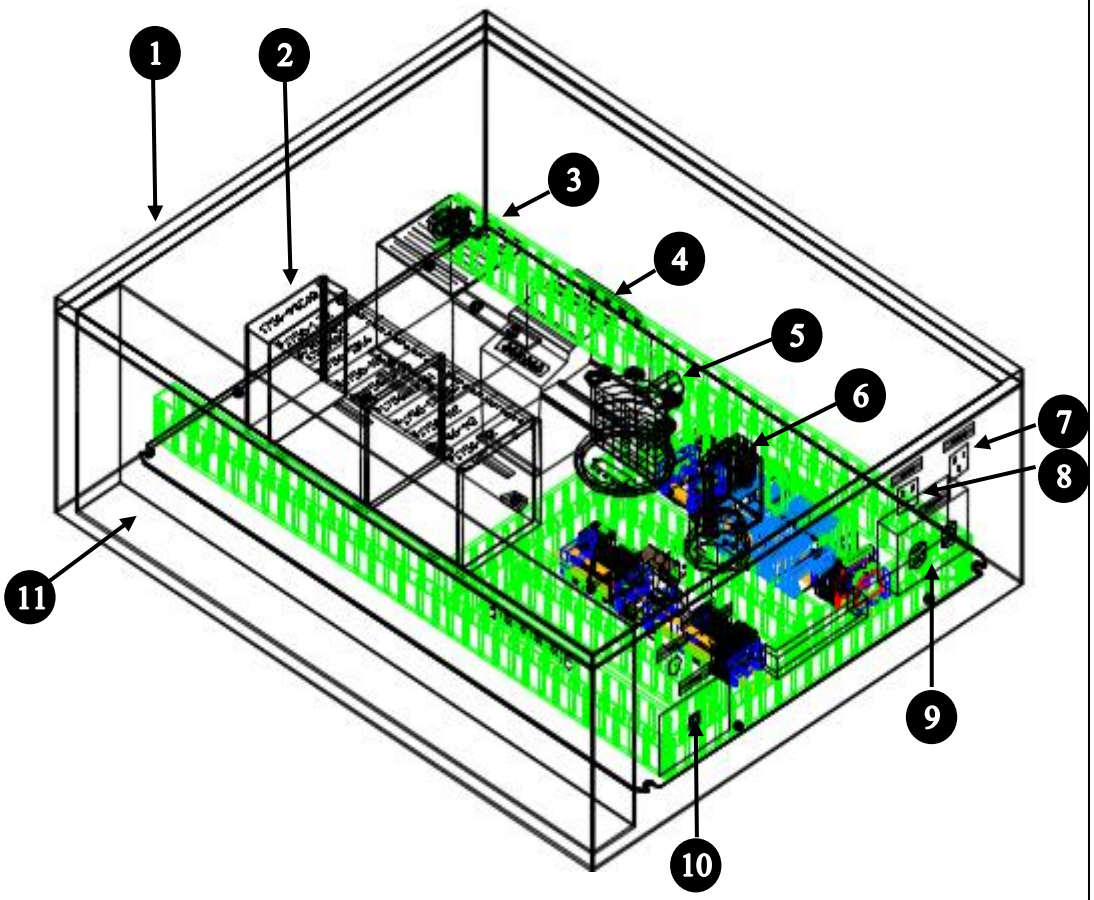
El tablero de control portátil es una caja tipo maleta que me permite transportar y proteger todos los elementos electrónicos hasta llegar al lugar de ensayo, para la construcción de este tablero es necesario partir de un dibujo realizado en 3D para obtener las medidas al momento de su construcción.

La herramienta utilizada para este proceso es AutoCad-2015 el cual permite realizar los dibujos con medidas reales en un plano x, y, z para facilitar la construcción mecánica del equipo.

El dibujo 3D se fundamenta en las dimensiones de los equipos los cuales se especifican en las hojas de datos técnicas (Datasheet), donde se pueden ubicar los equipos eléctricos y electrónicos dentro del dibujo del tablero de control portátil, especificado en los planos: Internal Layout y External Layout adjuntos en el anexo 1.1 y anexo 1.2 respectivamente.

Para ubicar los equipos dentro del tablero es necesario conocer las distancias entre ellos y las canaletas, tomando en cuenta las distancias para liberar la energía en forma de calor y no se lleguen a fundir, estas distancias las determina cada fabricante en su hoja de datos.

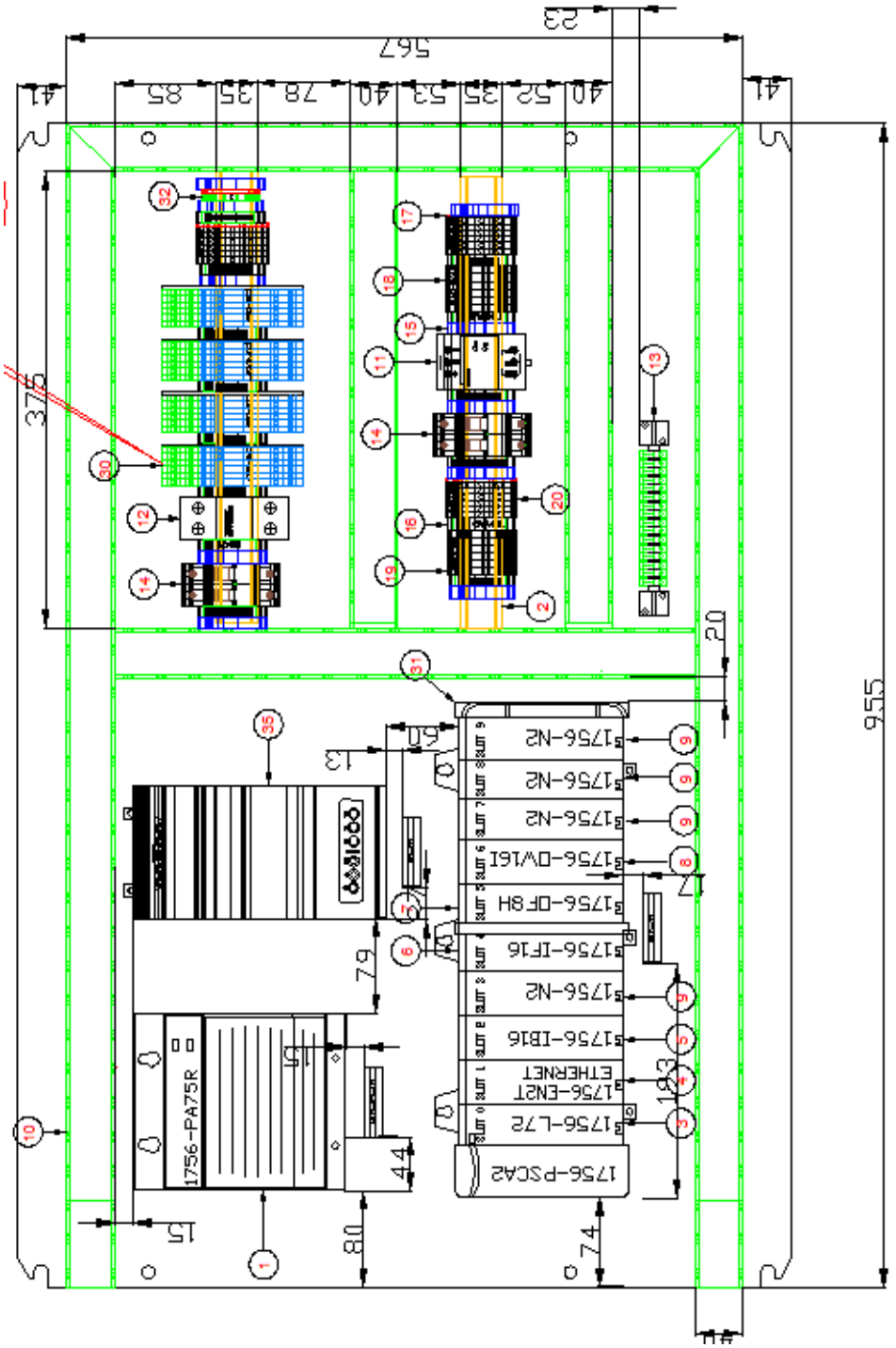
Figura 3.6. External Layout



1	Caja metálica de acero inoxidable
2	PLC Allen Bradley
3	Fuente de alimentación PLC
4	Variador de velocidad
5	Sensor diferencial de presión
6	Medidor de velocidad de aire
7	Entrada de alimentación 120 VAC
8	Salida de ventilador axial
9	Tomacorriente auxiliar
10	Conexión Ethernet
11	Compartimiento para mangueras.

Diseño Externo del tablero de control portátil adjunto en el anexo 1.2
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Figura 3.7. Internal Layout



Diseño interno del tablero de control portátil con medidas internas adjunto en el anexo 1.1.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

3.3 Diseño del Cableado del Tablero

Para la implementación del tablero de control portátil se deben considerar los estándares que tienen la empresa Energypetrol por lo cual el inicio de la implementación se basa en el diseño de planos de conexionado: Distribución AC/DC adjunto en el anexo 2.1, Diagrama de conexionado entradas digitales Slot 2 adjunto en el anexo 2.2 , Diagrama de conexionado entradas analógicas Slot 4 adjunto en el anexo 2.3, Diagrama de conexionado salidas analógicas Slot 5 adjunto en el anexo 2.4, Diagrama de conexionado salidas digitales Slot 6 adjunto en el anexo 2.5.

A continuación describe todos los parámetros que engloban el diseño de cada uno de los planos de conexionado para la implementación del tablero de control.

En el plano AC/DC se normaliza todas las conexiones que son para la alimentación de equipos en corriente alterna como corriente continua, por lo cual se estandariza los tipos de conductores a utilizar y color de revestimiento o chaqueta que soporten la cantidad de corriente de los diferentes equipos descritos anteriormente, mediante la siguiente tabla.

Tabla 3.12. Intensidad admisible para conductores de cobre

AISLADOS TEMPERATURA DE SERVICIO:		60°	75°	90°C				
SECCION	SECCION	GRUPO A TEMPERATURA DE SERVICIO			GRUPO B TEMPERATURA DE SERVICIO			DESNUDO
Nominal (mm)²	AWG	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
0.32	22	3	3					
0.51	20	5	5					
0.82	18	7.5	7.5					
1.31	16	10	10					
2.08	14	15	15	25	20	20	30	
3.31	12	20	20	30	25	25	40	
5.26	10	30	30	40	40	40	55	
8.36	8	40	45	50	55	65	70	90
13.30	6	55	65	70	80	95	100	130
21.15	4	70	85	90	105	125	135	150
26.67	3	80	100	105	120	145	155	200
33.62	2	95	115	120	140	170	180	230
42.41	1	110	130	140	165	195	210	270
53.49	1/0	125	150	155	195	230	245	310
67.42	2/0	145	175	185	225	265	285	360
85.01	3/0	165	200	210	260	310	330	420
107.2	4/0	195	230	235	300	360	385	490
127	250 MCM	215	255	270	340	405	425	540
152.0	300 MCM	240	285	300	375	445	480	610
177.3	350 MCM	260	310	325	420	505	530	670
202.7	400 MCM	280	355	360	455	545	575	730
253.4	500 MCM	320	380	405	515	620	660	840
304	600 MCM	355	420	455	475	690	740	
354.7	700 MCM	385	460		630	755		
380	750 MCM	400	475	500	655	785	845	
405.4	800 MCM	410	490		680	815		
456	900 MCM	435	520		730	870		
506.7	1000 MCM	455	545	585	780	925	1000	
633.4	1250 MCM	495	590		890	1065		
760.1	1500 MCM	520	625		980	1175		
886.7	1750 MCM	545	650		1070	1280		
1013	2000 MCM	560	665		1155	1385		

Grupo A: hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados. Grupo B: Conductor simple al aire libre.

Mediante la tabla se elige la sección del conductor que se va a utilizar para el conexionado de los instrumentos.
Fuente: (PROCOBRE, 2012, pág. 10)

Por ejemplo para la elección de la sección de cable que se conecta al variador de frecuencia, se establece que la corriente de carga máxima es de 16 Amperios y trabaja a una temperatura no mayor de 60 °C, por lo tanto se elige un cable 12 AWG.

Se utiliza este criterio para todos los cables del tablero, estandarizando a cables de sección 12 AWG y 16 AWG flexibles además para diferenciar el tipo de señal que transporta el conductor ya sea variable o no en el tiempo, se definió en tres colores de cable como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3.13. Color de cables

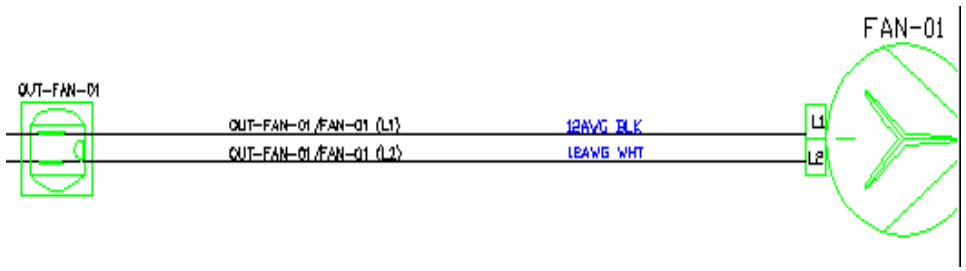
Señal digital	(+ Rojo, - Negro)
Señal analógica	(+ Negro – Blanco)
Conexión a tierra	Verde

Mediante la tabla se determina el color de la chaqueta del cable por la señal que transmite
Fuente: Energypetrol

Para los planos de conexionado de los módulos de entradas y salidas en señales análogas y digitales que son conectados al PLC se utiliza el mismo criterio en cuanto a la elección del calibre del conductor y su color como se muestra en los planos de conexionado adjuntos en el anexo 2.

Un ámbito importante en el diseño de conexionado son las marquillas de identificación de equipos y de cables con esto se pretende lograr que no exista errores al momento de cablear el tablero, un ejemplo de las utilización de las marquillas de equipos y cables en los planos de diseño se muestra en la siguiente figura.

Figura 3.8. Marquillas de equipos y cables



Diseño de marquillas de equipos y cables de conexión en los planos de conexionado
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

3.4 Implementación del Tablero de Control Portátil

Para la fabricación del tablero se utilizó dos planchas de acero inoxidable AISI 304, dicho material se caracteriza por tener una alta resistencia a la corrosión soporta altas temperaturas y tiene una alta durabilidad.

El tablero de control portátil es netamente creado por la empresa Energypetrol que tiene altos estándares de fabricación, su fabricación empieza en el corte de las planchas de acero inoxidable mediante un módulo laser que determina las longitudes de corte mediante el software en AutoCAD para una mayor precisión.

Figura 3.9. Estación de cortado a laser

El módulo corta las piezas de un tablero de forma automática y precisa.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Luego de haber cortado todas las piezas, pasan a la dobladora industrial, el manejo de esta maquinaria es realizada por un operador con todas las normas de seguridad.

Figura 3.10. Dobladora Industrial

Permite doblar el acero en diferentes ángulos según la necesidad y el requerimiento.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

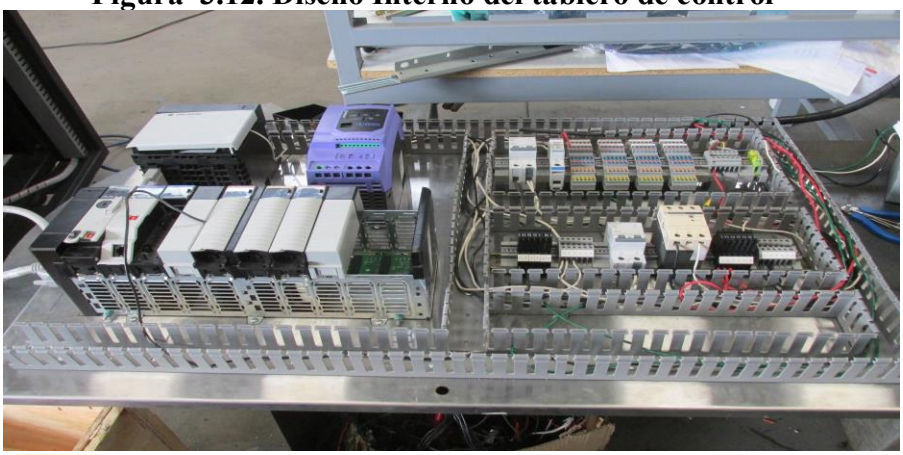
Posteriormente pasa al área de soldadura y ensamblaje y finalmente a realizar los acabados lisos en cada una de las uniones para asegurar el buen ajuste de tolerancias en las uniones y por último dar por terminado el proceso de fabricación.

Figura 3.11. Fabricación Tablero de control portátil

Tablero Final del proceso de fabricación en la empresa Energypetrol.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Después de la construcción del tablero se procede a la ubicación de los equipos en el doble fondo del tablero según el diseño realizado en AutoCAD con el fin de minimizar falencias.

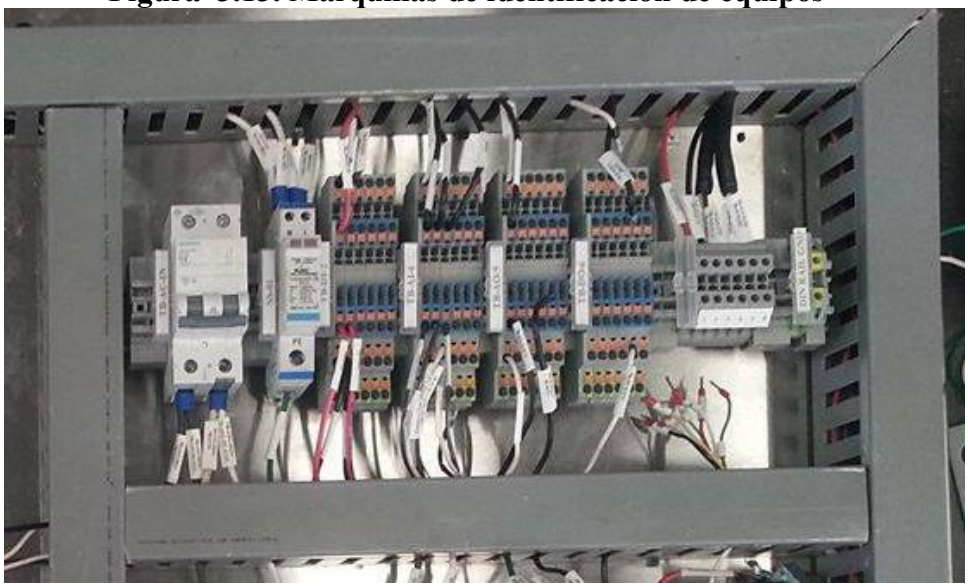
Figura 3.12. Diseño Interno del tablero de control



Ubicación de los equipos del tablero según su diseño.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Para la identificación de equipos electrónicos y de cada uno de los cables de conexionado descritos en los planos se ha utilizado marquillas plásticas para reconocer el cable y comprobar que el cableado está conforme al diseño del plano.

Figura 3.13. Marquillas de identificación de equipos



Se identifica a cada uno de los elementos y cables con marquillas plásticas en el tablero de control.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

3.5 Diseño del marco de puerta extensible

Las especificaciones y requerimientos que tiene la empresa para aplicar este sistema de pruebas de estanqueidad determinan las medidas mediante la siguiente tabla:

Tabla 3.14. Dimensiones marco de puerta extensible

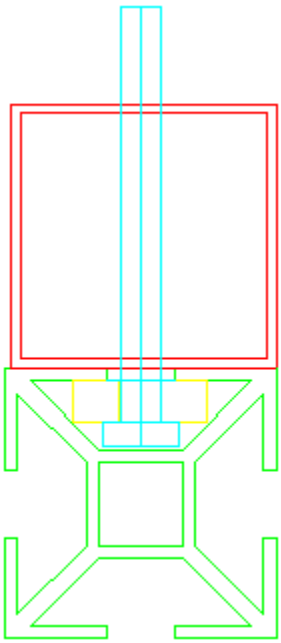
	Mínimo	Máximo
Ancho	0.81 m	1.40 m
Largo	1.61 m	2.90 m

Mediante la siguiente tabla se determina las dimensiones requeridas para el marco de puerta extensible.
Fuente: Energypetrol

Como ventaja el marco de aluminio también se ajuste a las diferentes longitudes de las puertas de entrada de los cuartos de control y en áreas urbanas.

En el diseño del marco de puerta extensible se consideran perfiles de aluminio, para esto es necesario determinar el diseño del marco de puerta extensible en AutoCAD como se muestra en la siguiente figura

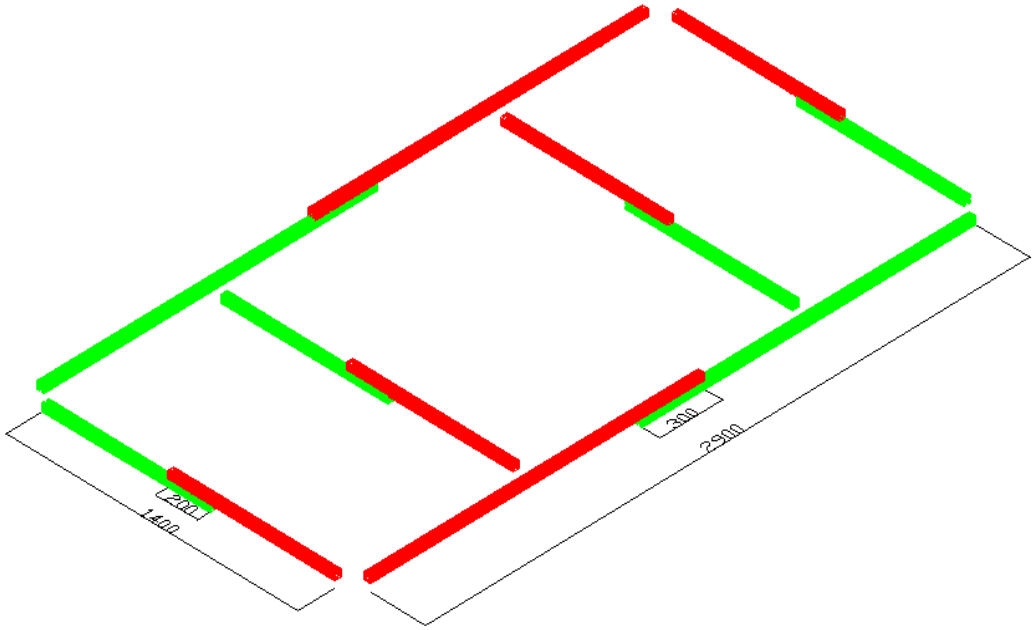
Figura 3.14. Diseño del marco de puerta extendible vista frontal



Se utiliza los rodamientos dentro de la perfilaría de aluminio para que el marco de puerta se pueda extender
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

En el funcionamiento del marco de puerta extensible se lo realiza por rodamiento o rulimanes de diámetro interno 5 mm, diámetro externo 16 mm, espesor 5mm el cual se desliza por dentro de un perfil guía (división de oficina) y permite que deslice el perfil externo (perfil cuadrado) por la superficie del perfil guía y se mantenga paralelo hasta alcanzar una longitud determinada soportando el torque que se genera por la unión de la perfilaría, estas distancias se consideran de 30 cm para los perfiles más grandes y 20 cm para los perfiles más pequeños, así se mantiene el perfil alineado y con fuerza de empuje en las uniones.

Figura 3.15. Diseño de marco de puerta extensible vista isométrica



Diseño del marco de puerta extensible con sus longitudes máximas en AutoCAD
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Al momento de unir todas las partes del marco de puerta extensible es necesario usar herrajes de tres piezas para la unión de los perfiles guías (división de oficina) mientras que para el perfil externo (perfil cuadrado) es necesario uniones cuadradas de esquina.

3.6 Implementación del marco de puerta extensible

La implementación del marco de puerta se lo realiza en base al diseño descrito anteriormente, además se realiza la confección del toldo de recubrimiento para que no exista fugas en el marco de esta forma se puede observar los resultados en la siguientes figuras.

Figura 3.16. Implementación de marco de puerta y toldo.

Implementación del marco de puerta extensible de aluminio con toldo.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Figura 3.17. Implementación de la estructura del marco de puerta.

Implementación del marco de puerta extensible de aluminio armado y listo para ser colocado.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

3.7 Asignación de canales del PLC

Para la lógica de programación se define las variables de control, se determina la adquisición de datos y el control de los actuadores como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.15. Variables de sensores y actuadores

Módulos PLC-01 Allen Bradley							
Entradas Digitales (1756-IB16)		**Entradas Analógicas (1756-IF16)**		**Salidas Analógicas (1756-OF8H)**		**Salidas Digitales (1756-0W16)**	
Canal 0	Pulsador Start	Canal 0	Velocidad de Aire	Canal 0	Variador de velocidad	Canal 0	Indicador de Start
Canal 1	Pulsador Stop	Canal 1	Diferencial de Presión	Canal 1	N/A	Canal 1	N/A
Canal 2	N/A	Canal 2	Temperatura	Canal 2	N/A	Canal 2	N/A

Tabla de variables definidas de los sensores y actuadores en cada uno de los canales del PLC.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Las señales de analógicas de 4-20mA que entregan los sensores, y la señal de control del variador de velocidad se deben ingresar dentro del PLC como variables de ingeniería según las especificaciones de cada sensor o actuador electrónico como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 3.16. Variables de Ingeniería

Entradas Analógicas				Salidas Analógicas	
Sensor Diferencial de Presión		Medidor de Velocidad		Variador de Velocidad	
4mA	0 Pascales	4mA	0 m/s	4mA	0 Hz
20mA	60 Pascales	20mA	20 m/s	20mA	60 Hz

Tabla de variables de ingeniería definidas de los sensores y actuadores.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

3.8 Puesta en marcha del variador de velocidad Optidrive E^2

El variador de velocidad se escogió por su alta capacidad en corriente a la salida puesto que el motor consume una corriente de 9.8 Amperios monofásica, es considerado un arrancador suave para motores monofásico además de tener una entrada de comunicación de 4-20 mA que facilita el control de velocidad del motor.

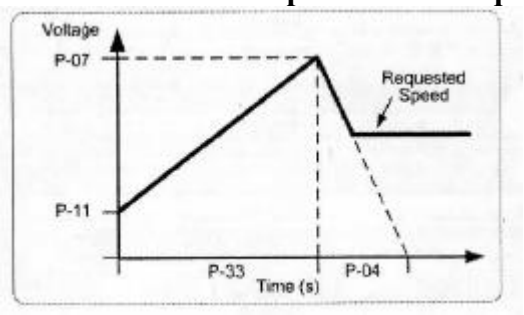
Primero se configuran los valores de inicio en el variador con el fin de que arranque el motor del ventilador axial, para esto se requieren las especificaciones a las que trabaja el motor del ventilador como se muestra en la figura.

Figura 3.16. Especificaciones del ventilador

Datos de la placa del ventilador axial de fabricación siemens
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Configurar bien los parámetros iniciales del motor no garantiza que el motor arranque suavemente con los valores por defecto de los demás parámetros, por tanto se debe determinar la rampa de arranque que se observa en la siguiente figura.

Figura 3.17. Ciclo de impulso de arranque



Ciclo de impulso de arranque para el variador de velocidad
Fuente: (Invertek Drive)

Este ciclo de impulso permite generar la rampa de arranque donde el motor sale de la inercia aplicándole energía al rotor en pequeños porcentajes mediante un determinado tiempo hasta llegar a su valor máximo de voltaje.

Para que el motor salga del estado de inercia se le aplica un porcentaje inicial de voltaje que es especificado en el parámetro P-11, donde va aumentando en el tiempo que esta

dado en segundos y establecido en el parámetro P-33, en este periodo de tiempo el motor tiene que alcanzar el voltaje máximo en la salida de 110 Vac ingresado en el parámetro P-07, después de haber alcanzado el voltaje máximo en la salida del variador instantáneamente varia el voltaje para la desaceleración del motor que debe ser especificado en el parámetro P-04 y poder alcanzar la velocidad requerida por el control PID.

Se ha tomado como referencia del fabricante los diferentes estados de inyección de voltaje al motor y tiempo de arranque hasta que el variador no determine ningún error de sobre voltaje o corriente.

Los valores de funcionamiento del variador descritos anteriormente se los puede observar en la tabla 3.2 y 3.3 para el arranque suave del motor o ventilador axial.

Tabla 3.17. Parámetros iniciales ingresados al variador

Parámetro.	Descripción	Valores mínimos y máximos	Valores Ingresados
P-01	Velocidad máxima	máximo 500Hz	50Hz (60Hz)
P-02	Velocidad mínima	0 Hz	0Hz
P-03	Tiempo de rampa de aceleración	0 a 600s	5s
P-04	Tiempo de rampa de desaceleración	0 a 600s	5s
P-05	Selección modo parada	0 : Paro por rampa 1 : Paro por libre 2 : Paro por rampa (parada rápida)	0
P-06	Reservado	Reservado	0
P-07	Voltaje nominal del motor	0, 20V,250V,500V	110 Vac
P-08	Corriente nominal del motor	corriente nominal del equipo en Amperios	8.3 A
P-09	Frecuencia nominal del motor	25Hz a 500Hz	60Hz
P-10	Velocidad nominal motor	0 a 30 000 rpm	1800 rpm
P-11	Refuerzo voltaje	Tamaño 1: 0.0 a 20.0% Tamaño 2: 0.0 a 15.0% Tamaño 3: 0.0 a 10.0% Máx voltaje de salida	20%
P-12	Selección modo control Terminal / Teclado / MODBUS / PI	0. Control Terminal 1. Control teclado – solo fwd 2. Control teclado fwd y rev 3. Control MODBUS con rampas de aceleración / Deceleración internas. 4. Control MODBUS con ajuste de rampa de aceleración / deceleración 5. Control PI 6. Control PI con entrada analógica 1 sumadora	0
P-13	Memoria de alarmas	Almacena las 4 últimas alarmas	Sólo lectura
P-14	Acceso menú extendido	Código 0 a 9 999	101

Tabla de parámetros iniciales ingresados en referencia a la hoja de datos del variador.
Fuente: (Invertek Drive, pág. 16)

Tabla 3.18. Parámetros avanzados del variador de velocidad

Parámetro.	Descripción	Valores mínimos y máximos	Valores Ingresados
P-16	Formato entrada analógica	0..10V, b 0..10V, 0..20mA, t 4..20mA, r 4..20mA, t 20..4mA r 20..4mA	t
P-32	Inyección DC en parada	Mínimo 0 máximo P-09	P-09
P-33	Tiempo de período de impulso de puesta en marcha.	Mínimo 0 Máximo 150s	10 s

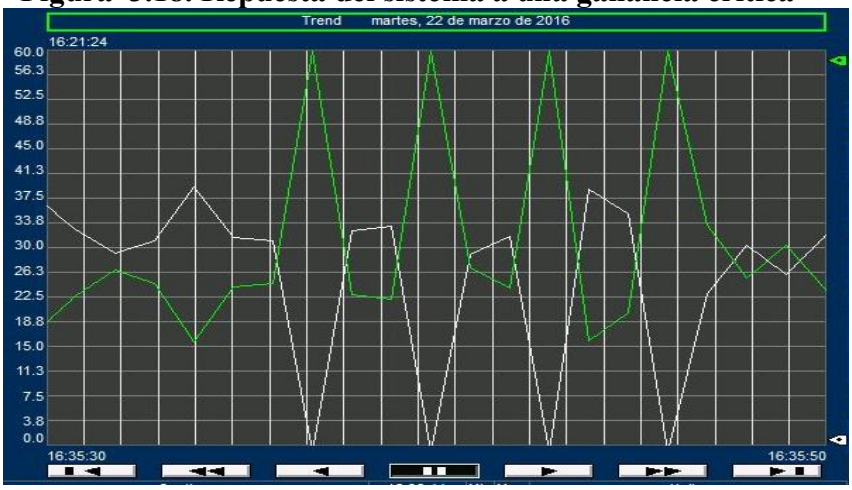
Tabla de parámetros avanzados ingresados con referencia a la hoja de datos del variador.
Fuente: (Invertek Drive, págs. 17,18)

3.9 Cálculos para la sintonización del sistema PI para la variable del diferencial de presión

La aplicación del método de Ziegler y Nichols nos permite obtener los valores de la ganancia proporcional, integral y derivativa, con lo cual permite controlar la salida del variador de velocidad del ventilador, para que mantenga una presión diferencial constante entre el recinto a prueba y el medio ambiento.

Aplicando dicho método se inicia con la variación de la ganancia proporcional hasta que el sistema oscile, se ha aplicado una ganancia crítica (Kc) igual a 1 y a su vez se ha determinado el periodo de oscilación Pc que es igual 5 segundos y se ha obtenido como resultado la siguiente figura.

Figura 3.18. Repuesta del sistema a una ganancia critica



Oscilación del sistema diferencial de presión, señal color blanco diferencial de presión, señal color verde revoluciones del variador.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Para el cálculo de los parámetros del controlador tenemos que:

$$\boldsymbol{Kp = Kc * 0.45 \ = 1 * 0.45} \qquad \text{Ecuación (3.13)}$$

$$\boldsymbol{Kp = 0.45}$$

$$\boldsymbol{Ti = \frac{Pc}{1.2} = \frac{5}{1.2}} \qquad \text{Ecuación (3.14)}$$

$$Ti = 4.166\ seg$$

$$Ti = 0.069\ min$$

Obtenidos los valores de ganancia proporcional y tiempo integral se procederá a calcular la ganancia integral para el sistema de control PI aplicando la tabla 2.2 se tiene:

$$\boldsymbol{Ki = \frac{Kc}{Ti} = \frac{1}{0.069}} \qquad \text{Ecuación (3.15)}$$

$Ki = 14.49$

Los parámetros calculados para la sintonización del sistema PI tiene como ganancia proporcional Kp=0.45 y Ki=14.49 y Kd=0 donde se tiene el siguiente resultado del sistema de control.

Figura 3.19. Respuesta del sistema de control PI

Sintonización del sistema PI para controlar la presión diferencial del recinto y el medio ambiente
Fuente: Jonathan Cahuasquí

3.10 Diseño de la lógica de control del sistema de pruebas de estanqueidad

El diseño de control del sistema de pruebas de estanqueidad se fundamenta en el procedimiento de integridad del recinto, apéndice C, de la norma NFPA-2001 edición 2012, mediante el siguiente diagrama de flujo para su implementación que se realiza en un PLC Allen Bradley y un HMI que se desarrolla con el software Factory-Talk View Site Edition.

Figura 3.20. Diagrama de Flujo del control del sistema

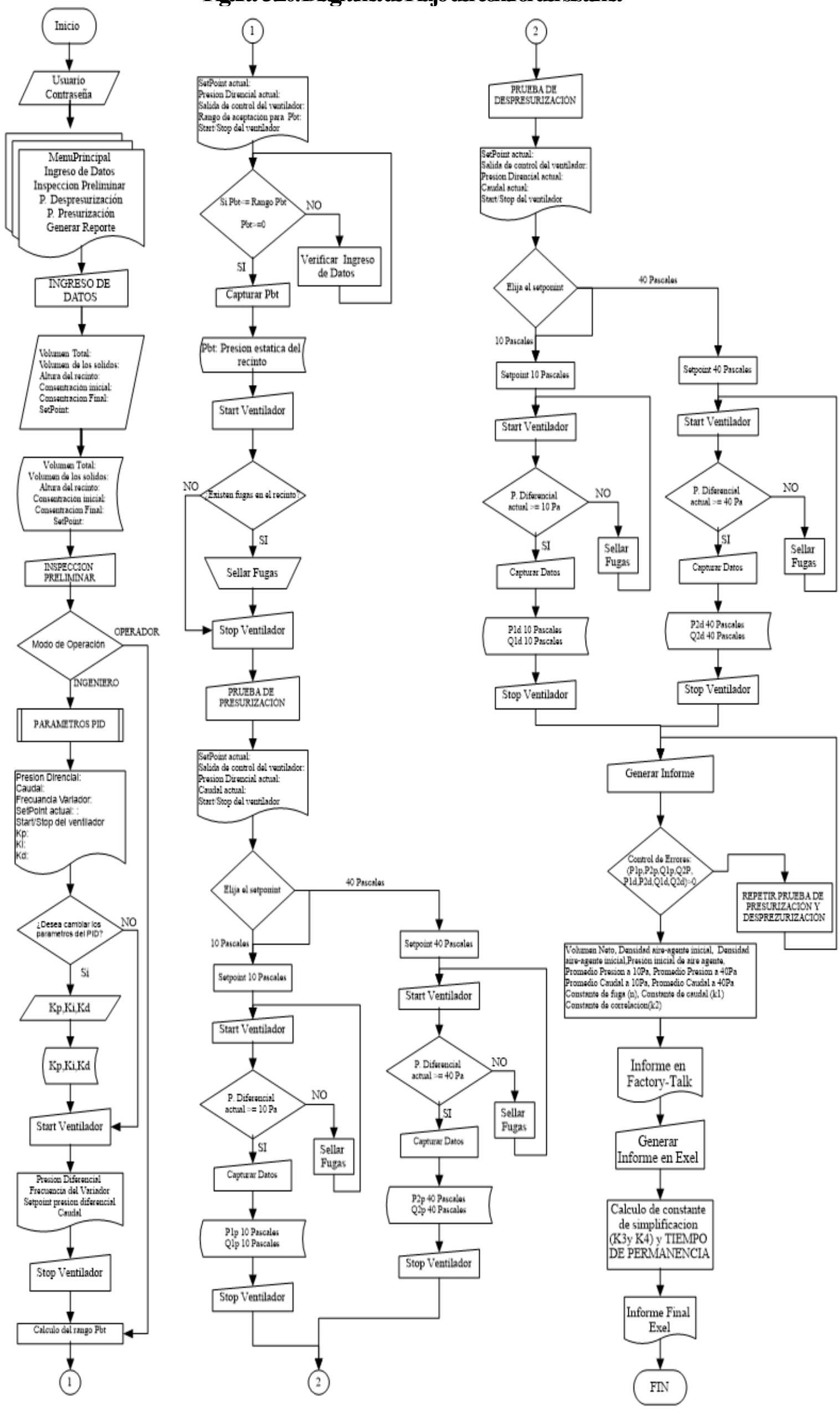


Diagrama de flujo para la lógica de control del sistema de pruebas de estanqueidad
Fuente: Jonathan Cahuasqui

3.11 Implementación de la interfaz del usuario

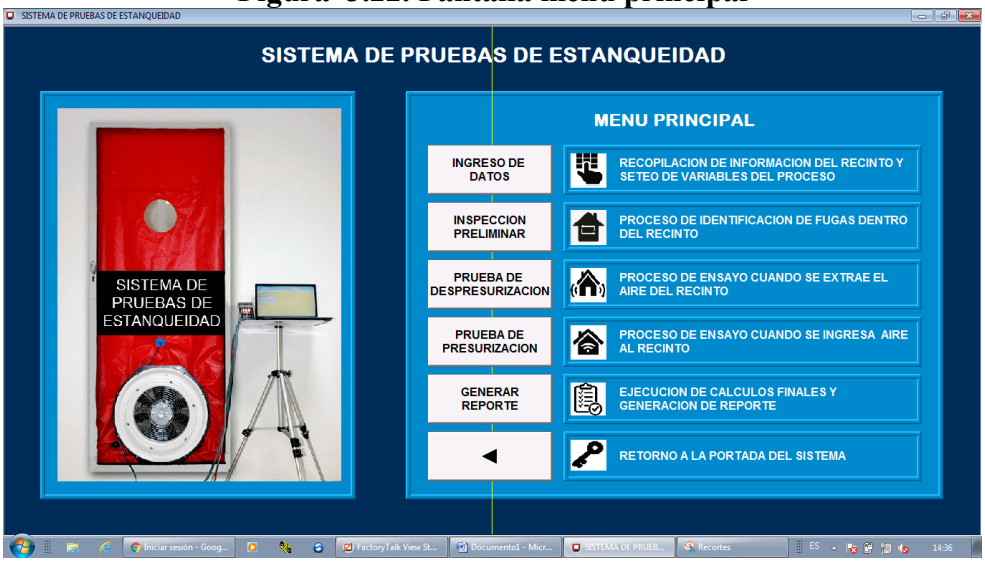
Para la interfaz del usuario del sistema de pruebas de estanqueidad se lo realiza en el software propio de la marca Allen Bradley, este es el Factory-Talk View Site Edition las ventajas del programa es la versatilidad de comunicación con el PLC ya que permite de manera automática la utilización de las variables que se encuentran definidas dentro del PLC sin tener que exportarlas, a continuación se presenta todas las pantallas que conforman el HMI.

Figura 3.21. Portada interfaz del usuario

Presentación de la portada con hora y fecha actualizada además de interfaz de ingreso al sistema.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

En esta pantalla se muestra la presentación del proyecto con la compañía auspiciadora y la universidad además de información complementaria como hora y fecha y también de ingreso al sistema.

Figura 3.22. Pantalla menú principal



Menú principal que permite al usuario navegar entre las diferentes pantallas
Fuente: Jonathan Cahuasquí

La pantalla de menú principal permite al usuario navegar entre las diferentes pantallas además posee una breve descripción de cada una de ellas.

Figura 3.23. Pantalla Ingreso de Datos

Pantalla para ingreso de los datos y variables del proceso.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Esta pantalla permite ingresar las variables descritas en el cuadro de información para iniciación de pruebas del sistema.

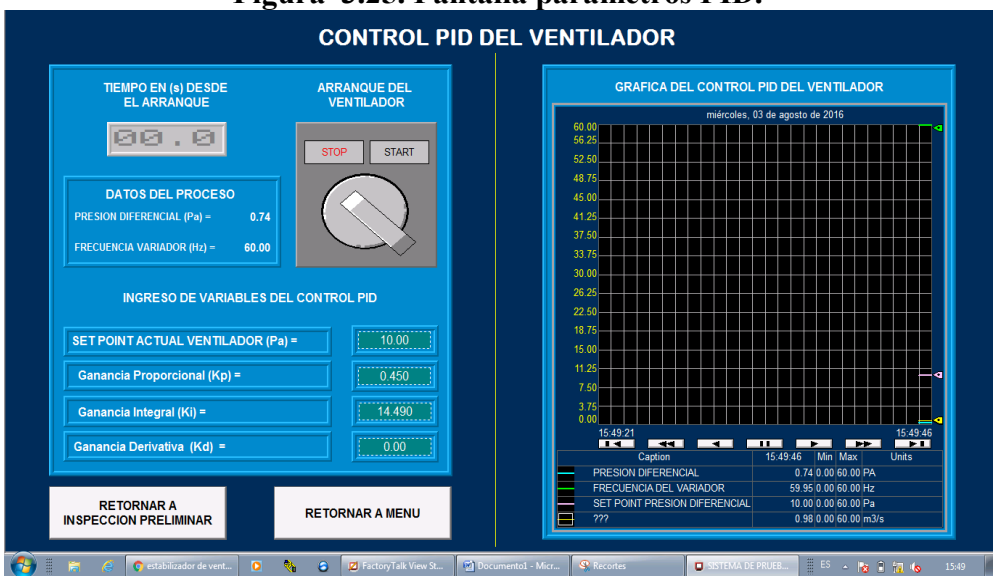
Figura 3.24. Pantalla inspección preliminar

Pantalla de inspección de fugas y captura de la presión estática del recinto.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Dicha pantalla permite tener un control del sistema de ventilación para presurizar o despresurizar el recinto además de la visualización de las variables de control.

En la siguiente pantalla se muestran los parámetros del PID y monitoreo de las variables de caudal y presión diferencial además de las lecturas de medición, esta pantalla solo se abre al ingresar en sesión ingeniero y no para el modo operador, y se puede modificar varios parámetros de respuesta del controlador PID.

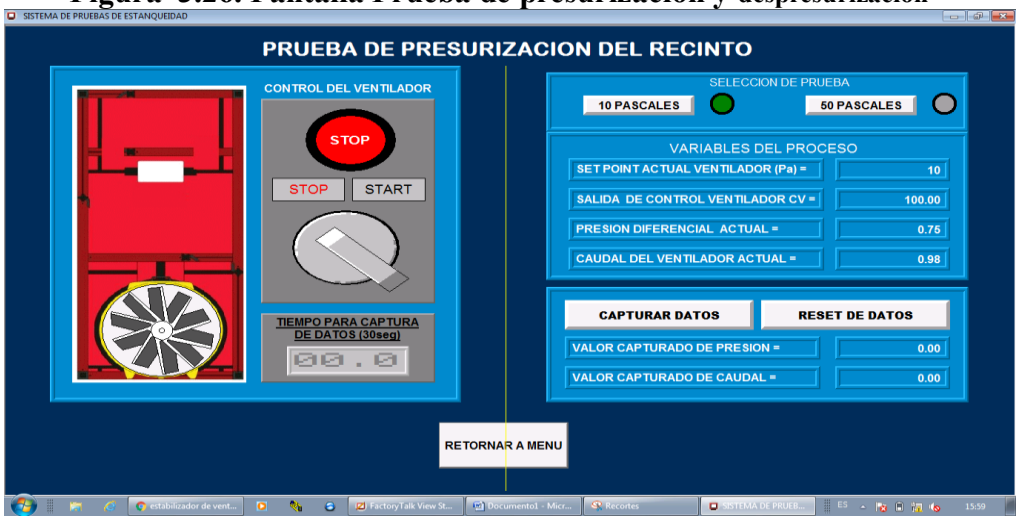
Figura 3.25. Pantalla parámetros PID.



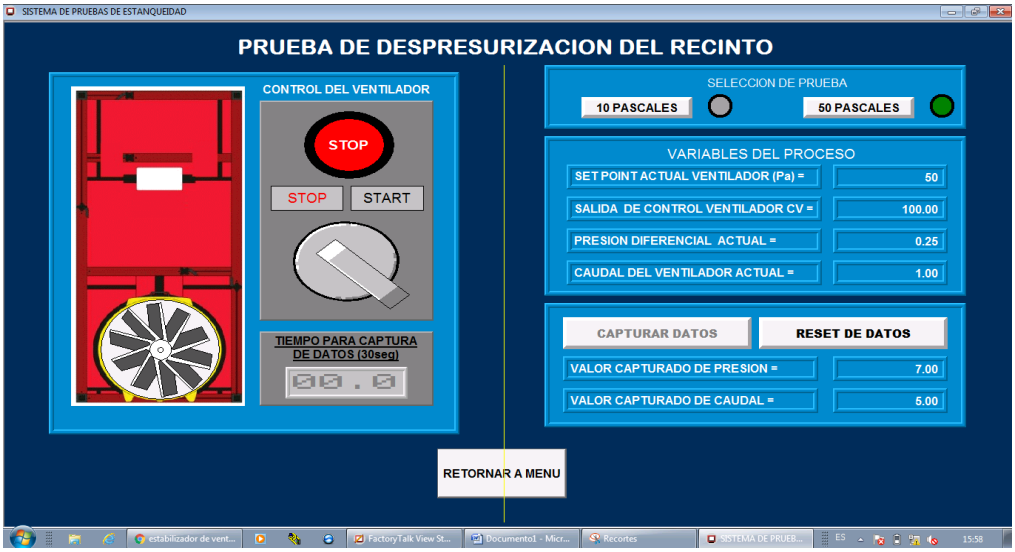
Pantalla de parámetros del PID permite un monitoreo de las señales del proceso y acceso solo con contraseña de ingeniero.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

La pantalla de prueba de presurización y despresurización permite controlar el encendido y apagado del ventilador para el registro de los datos de los instrumentos ya que se realiza esto para los dos procesos de inyección y extracción de aire las pantallas serán las mismas en diseño.

Figura 3.26. Pantalla Prueba de presurización y despresurización



a)



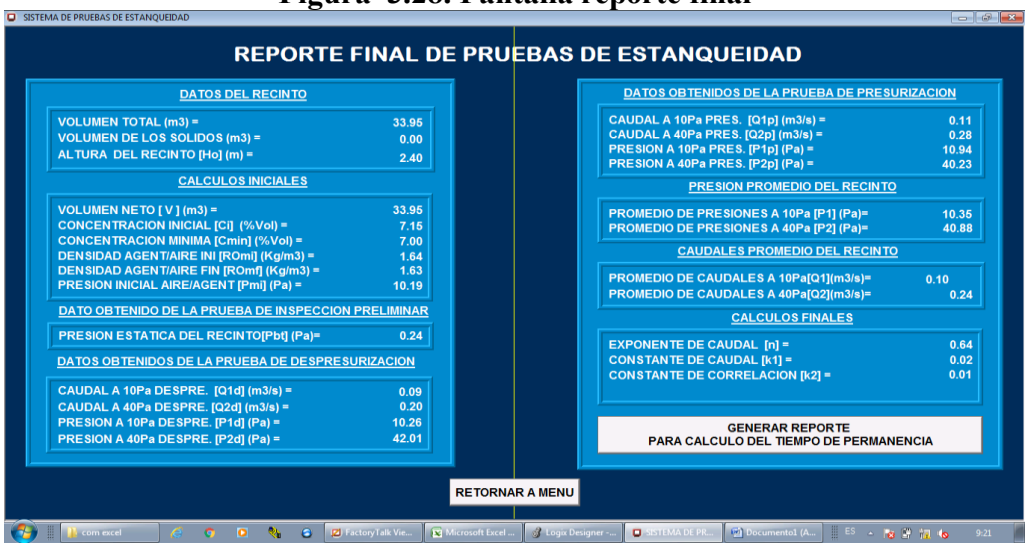
b)

a) Pantalla de prueba de presurización b) Pantalla de prueba de despresurización.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

En la pantalla generar reporte se presentan todos los registros de datos y cálculos del proceso del sistema mediante la aplicación de las diferentes fórmulas descritas en la

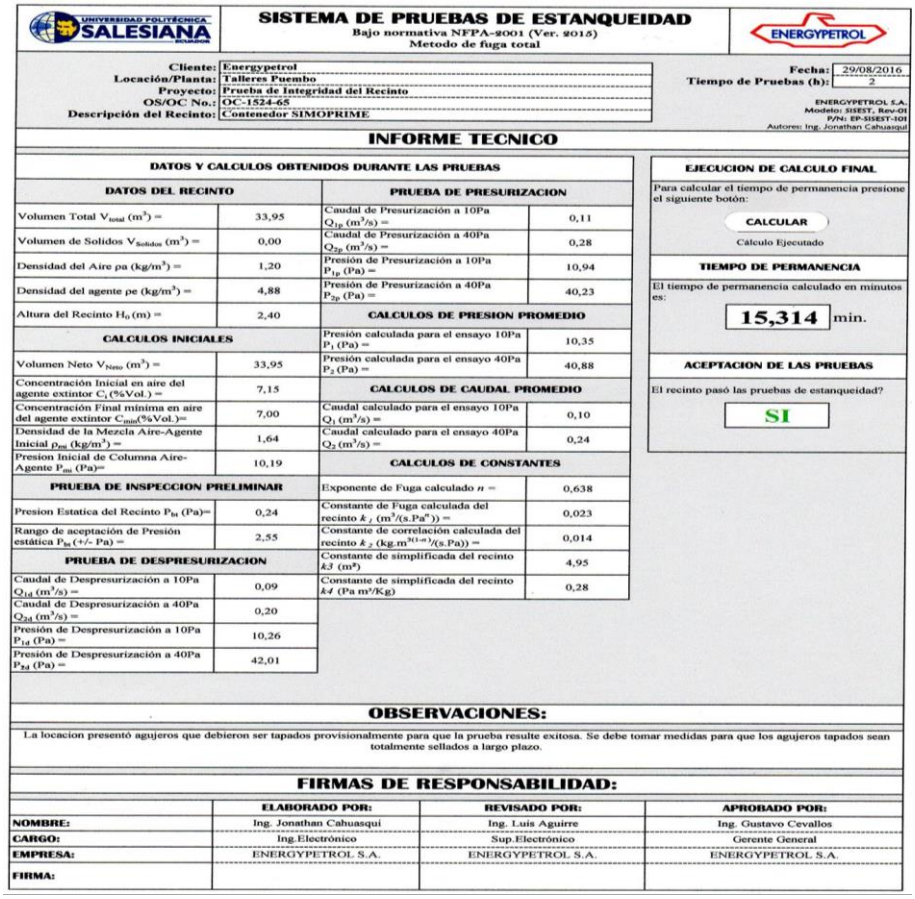
norma NFPA-2001 a su vez también generar un reporte en Microsoft Exel, incluyendo el tiempo de permeancia del gas extintor FM-200.

Figura 3.28. Pantalla reporte final



Pantalla reporte final describe todos los cálculos concerniente al recinto y la generación del reporte en Excel.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Figura 3.27. Reporte de Excel



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA — ECUADOR

SISTEMA DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD
Bajo normativa NFPA-2001 (Ver. 2015)
Metodo de fuga total

ENERGYPETROL

Cliente: Energypetrol
Locación/Planta: Talleres Puembo
Proyecto: Prueba de Integridad del Recinto
OS/OC No.: OC-1524-65
Descripción del Recinto: Contenedor SIMOPRIME

Fecha: 29/08/2016
Tiempo de Pruebas (h): 2

ENERGYPETROL S.A.
Modelo: SISEST, Rev-01
P/N: EP-SISEST-101
Autores: Ing. Jonathan Cahuasquí

INFORME TECNICO

DATOS Y CALCULOS OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS

DATOS DEL RECINTO		PRUEBA DE PRESURIZACION	
Volumen Total V_{total} (m^3) =	33,95	Caudal de Presurización a 10Pa Q_{1p} (m^3/s) =	0,11
Volumen de Solidos $V_{Solidos}$ (m^3) =	0,00	Caudal de Presurización a 40Pa Q_{2p} (m^3/s) =	0,28
Densidad del Aire ρa (kg/m^3) =	1,20	Presión de Presurización a 10Pa P_{1p} (Pa) =	10,94
Densidad del agente ρe (kg/m^3) =	4,88	Presión de Presurización a 40Pa P_{2p} (Pa) =	40,23
Altura del Recinto H_0 (m) =	2,40	**CALCULOS DE PRESION PROMEDIO**	
CALCULOS INICIALES		Presión calculada para el ensayo 10Pa P_1 (Pa) =	10,35
Volumen Neto V_{Neto} (m^3) =	33,95	Presión calculada para el ensayo 40Pa P_2 (Pa) =	40,88
Concentración Inicial en aire del agente extintor C_i (%Vol.) =	7,15	**CALCULOS DE CAUDAL PROMEDIO**	
Concentración Final mínima en aire del agente extintor C_{min}(%Vol.)=	7,00	Caudal calculado para el ensayo 10Pa Q_1 (m^3/s) =	0,10
Densidad de la Mezcla Aire-Agente Inicial ρ_{mi} (kg/m^3) =	1,64	Caudal calculado para el ensayo 40Pa Q_2 (m^3/s) =	0,24
Presion Inicial de Columna Aire-Agente P_{mi} (Pa)=	10,19	**CALCULOS DE CONSTANTES**	
PRUEBA DE INSPECCION PRELIMINAR		Exponente de Fuga calculado n =	0,638
Presion Estatica del Recinto P_{bi} (Pa)=	0,24	Constante de Fuga calculada del recinto k_1 ($m^3/(s.Pa^n)$) =	0,023
Rango de aceptación de Presión estática P_{bi} (+/- Pa) =	2,55	Constante de correlación calculada del recinto k_2 ($kg.m^{3(1-n)}/(s.Pa)$) =	0,014
PRUEBA DE DESPRESURIZACION		Constante de simplificada del recinto $k3$ (m^4)	4,95
Caudal de Despresurización a 10Pa Q_{1d} (m^3/s) =	0,09	Constante de simplificada del recinto $k4$ (Pa m^3/Kg)	0,28
Caudal de Despresurización a 40Pa Q_{2d} (m^3/s) =	0,20		
Presión de Despresurización a 10Pa P_{1d} (Pa) =	10,26		
Presión de Despresurización a 40Pa P_{2d} (Pa) =	42,01		

EJECUCION DE CALCULO FINAL

Para calcular el tiempo de permanencia presione el siguiente botón:

CALCULAR

Cálculo Ejecutado

TIEMPO DE PERMANENCIA

El tiempo de permanencia calculado en minutos es:

15,314 min.

ACEPTACION DE LAS PRUEBAS

El recinto pasó las pruebas de estanqueidad?

SI

OBSERVACIONES:

La locacion presentó agujeros que debieron ser tapados provisionalmente para que la prueba resulte exitosa. Se debe tomar medidas para que los agujeros tapados sean totalmente sellados a largo plazo.

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

	ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Ing. Jonathan Cahuasquí	Ing. Luis Aguirre	Ing. Gustavo Cevallos
CARGO:	Ing.Electrónico	Sup.Electrónico	Gerente General
EMPRESA:	ENERGYPETROL S.A.	ENERGYPETROL S.A.	ENERGYPETROL S.A.
FIRMA:			

Pantalla reporte final de Excel describe todos los cálculos concerniente al recinto además del tiempo de permanencia del gas extintor FM-200.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

3.12 Implementación del sistema de inyección y extracción de aire

Ya que en el sistema se utiliza un transmisor de velocidad de aire o también llamado termo anemómetro para determinar el caudal, se debe considerar la instalación de la sonda para que mida el flujo de aire laminar y no turbulento que entrega el ventilador.

Para la instalación de la sonda es necesario tener en cuenta las consideraciones de la norma española "*NTP-668 Medición del caudal en sistemas de extracción localizada*" (Oller, 2004, pág. 5) donde indica que para una exitosa medición se debe colocar la sonda 10 diámetros aguas abajo y 4 diámetros aguas arriba.

El sistema de inyección y extracción de aire es portable y no se puede colocar la sonda a una distancia de 5 metros aguas abajo y dos metros aguas arriba como dicta la norma española, por esta razón mediante pruebas de medición a base de prueba y error se coloca a una distancia de 1metro aguas abajo y 1 metro aguas arriba obteniendo una óptima respuesta en la medición del flujo laminar que entrega el ventilador con un tubo de acople.

Figura 3.29. Sistema de inyección y extracción de aire

Es un ventilador axial y un tubo industrial de diámetro similar al del ventilador.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

La sonda debe fijarse en el tubo para una buena toma de datos del flujo laminar y posicionarse en el centro del diámetro del tubo.

CAPITULO 4

ANÁLISIS PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS

La meta del sistema de pruebas de estanqueidad es ser más rentable que el de otras marcas comerciales. Por lo tanto se realiza un análisis de costos donde se muestran los costos directos e indirectos de la fabricación del sistema.

4.1.1 Costos directos

Los costos directos con los montos de dinero que se cargan directamente a la fabricación del sistema, es decir es el costo real de los materiales para la manufacturar un producto.

Para el sistema de pruebas de estanqueidad se definen los costos directos de los materiales para:

- Instrumentos de control
- Sistema de inyección y extracción de aire
- Sistema eléctrico
- Estructuras mecánicas

Los instrumentos de control, sistema de inyección y extracción de aire, sistema eléctrico, estructuras mecánicas, son montos de dinero que corresponden a los valores reales de los de los materiales adquiridos por la empresa ENERGYPETROL para la construcción de sistema de pruebas de estanqueidad.

Estos montos de dinero fueron analizados en una plantilla APU (Análisis de Precios Unitarios) donde el costo total directo es de 4394,02, estos valores los proporciono el departamento de adquisición de la empresa Energypetrol y se los puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Análisis precios unitarios

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SISTEMA DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ÍTEM No. :	UNIDAD ÍTEM:	HOJA No.:
CAPITULO No. :		FECHA:

DESCRIPCIÓN ÍTEM:

Análisis de precios unitarios del proyecto sistema de pruebas de estanqueidad en base a las exigencias de la norma NFPA-2001

MATERIALES DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
TRANSMISOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	1	N/A	285,00	285,00
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	1	N/A	125,00	125,00
TRANSMISOR DE VELOCIDAD	1	N/A	910,00	910,00
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	1	N/A	125,00	125,00
VENTILADOR AXIAL	1	N/A	387,69	387,69
TABLERO DE CONTROL	1	N/A	350,00	350,00
BORNERAS DE TRES PISOS CON PORTA FUSIBLE	24	N/A	4,75	114,00
BORNERAS DE PORTA FUSIBLES	12	N/A	2,50	30,00
BORNERAS DE PASO UNIVERSAL	18	N/A	2,00	36,00
BOTONES SIEMENS	2	N/A	15,80	31,60
BARRA DE COBRE ESTAÑADO	1	N/A	5,50	5,50
BREAKERS 16 AMPERIOS	2	N/A	41,00	82,00
FUENTE DE 24 VOLTIOS	1	N/A	56,00	56,00
CANALETAS 40X60	2	N/A	8,40	16,80
CABLE AWG #16	20	M	0,50	10,00
CABLE AWG #12	20	M	0,65	13,00
TERMINALES DE PUNTA	1	M	4,40	4,40
PERFIL DE ALUMINIO CUADRADO	1	M	40,00	40,00
PERFIL DE ALUMINIO ESPECIAL	1	M	44,50	44,50
TELA PERMEABLE	4	M	9,80	34,30
Allen-Bradley 1762-IF2OF2	1	N/A	296,88	296,88
MicroLogix 1100	1	N/A	515,63	515,63
TUBO INDUSTRIAL PVC	1	N/A	55,00	55,00
	SUBTOTAL			3.568,30
	IVA		14%	499,56
	SUB-TOTAL MATERIALES			4.067,86

HERRAMIENTA Y EQUIPO	UTILIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
LAS HERRAMIENTAS PROVEE LA EMPRESA ENERGYPETROL			NO APLICA	NO APLICA
LAPTOP HP CON WINDOWS 7	CAMPO	1	NO APLICA	NO APLICA
	SUB-TOTAL HERRAMIENTA Y EQUIPO			
TRANSPORTE		UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
ENVIÓ DE SENSORES DIFERENCIAL DE PRESIÓN		1	183.03	183,04
ENVIÓ DE SENSOR DE VELOCIDAD DE AIRE		1	143.11	143,12
	SUB-TOTAL TRANSPORTE			326,16
MANO DE OBRA	RENDIMIENTO	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
NO INCLUYE LA MANO DE OBRA			NO APLICA	NO APLICA
	SUB-TOTAL MANO DE OBRA			
OBSERVACIONES :				
COSTO DIRECTO TOTAL				**4.394,02**

Se proporciona los valores de costos para obtener el precio total de fabricación del sistema de estanqueidad.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

4.1.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos se relacionan a los gastos indirectos de producción pero estos montos no son aplicables directamente al producto, para el sistema de pruebas de estanqueidad no se aplica el costo de mano de obra puesto que la compañía auspiciadora provee todos los equipos y herramientas e insumos o materiales necesarias para su fabricación.

4.2 Pruebas y Resultados

En este apartado se realizan las pruebas respectivas para verificación del sistema de pruebas de estanqueidad y su funcionamiento para lograr certificar el recinto con la predicción del tiempo de estanqueidad.

El recinto es un contenedor de los talleres de la empresa Energypetrol S.A ya que es de similar características a los cuartos de control ubicados en los campos petroleros.

Debido a que el sistema se basa en las ecuaciones de la norma NFPA-2001 es necesario conocer su comportamiento con el fin de conocer los valores mínimos y máximos de las pruebas de ensayo del recinto y los valores que satisfacen el cumplimiento de la norma utilizando también los datos del diseño del sistema.

Los datos que se obtendrán del informe de diseño del sistema contra incendios son la concentración a la que se descargara el agente FM-200 para poder iniciar con la prueba.

Figura 4.1. Reporte del sistema contra incendios

Enclosure Report

Elevation: 2850 m (relative to sea level)

Atmospheric Correction Factor: 0,69

Enclosure 1 PRUEBA

Enclosure Temperature:		Number of Nozzles:	1
Minimum:	9,0 C	Width:	2,34 m
Maximum:	19,0 C	Length:	5,94 m
Max. Concentration:	7,15 %	Height:	2,40 m
Design Concentration:		Volume:	33,36 m ³
Adjusted:	6,91 %	Non-permeable:	0,00 m ³

El reporte del sistema contra incendios del contenedor a prueba.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Mínimos y máximos del caudal medido a una presión constante dentro del recinto con esto tenemos que:

Tabla 4.2. Mediciones mínimas y máximas de caudales.

	Presión a 10 Pa		Presión a 40 Pa		Promedio de caudales		Exponente de fuga	Tiempo de permanencia
	Caudal Q1p	Caudal Q1d	Caudal Q2p	Caudal Q2d	caudal de 10Pa	caudal de 40Pa	(n)	
Mínimo	0,09	0,09	0,18	0,18	0,09	0,18	0.49	16.09
Máximo	0,19	0,19	0,61	0,61	0,19	0,61	0,84	10.01

En la tabla se define los valores máximos y mínimos de las mediciones de caudal para una presión constante.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Mediante esta tabla se observa que las mediciones de caudal a una presión diferencial constante no deben exceder el límite del exponente de fuga puesto que en la norma dice: “El exponente de fuga n esta normalmente entre 0.48 y 0.85” (NFPA-2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2015, pág. 125), además valores mayores a este rango de aceptación del sistema de pruebas de estanqueidad daría una alerta de error en cuando se genera el reporte en la pc-station. Por lo tanto la norma también limita a un tiempo de permanencia en base a los parámetros del exponente de fuga de 10 minutos como mínimo.

Entonces se puede determinar que mientras mayor caudal de aire ingrese o se extraiga del recinto, este posee mayores áreas de fuga porque no puede mantenerse a una presión constante dentro del mismo.

4.2.1 Prueba de estanqueidad del contenedor

La prueba de estanqueidad se realiza en los talleres de la empresa ENERGYPETROL en los cuartos de control que poseen las mismas características del contenedor a prueba, se ingresan los datos correspondientes:

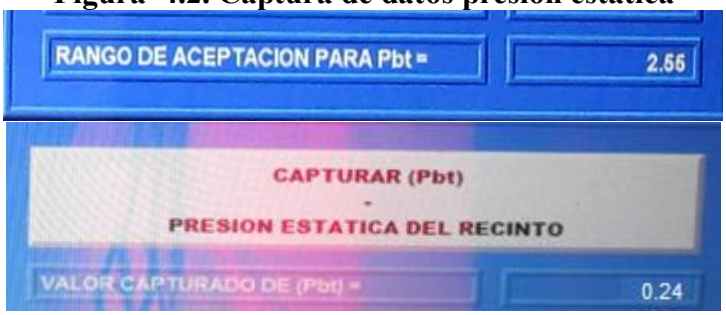
Tabla 4.3. Tabla ingreso de datos

Volumen Total	33.95 m^3
Volumen de solidos	0 m^3
Concentración inicial	7.15 %
Concentración final	7%
Setpoint	10 Pa

En la tabla se define los valores de ingreso al sistema de pruebas de estanqueidad.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Al momento de realizar la prueba de inspección preliminar se realiza la toma de datos de la presión estática a la que se encuentra el recinto en condiciones normales, la captura de datos entrega un valor de 0.25 Pascales en un rango de 2.55 Pascales, este resultado se encuentra dentro del rango permitido en la norma, que señala lo siguiente: "El rango de aceptación para Pbt (presión estática) debe ser el 25% de la presión inicial de columna calculada y tiene que encontrarse entre un rango de 0 a 5 pascales" (NFPA-2001, Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems, 2015, pág. 123) este valor se refleja en la pc-station con esto se garantiza el valor de la presión estática del recinto.

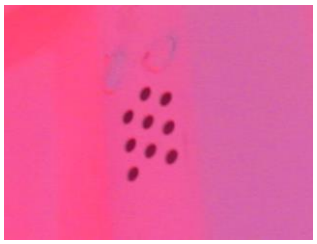
Figura 4.2. Captura de datos presión estática



Captura de la presión estática en base al rango de aceptación para Pbt.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Al realizar la detección de fugas dentro del contenedor mediante una máquina de humo cuando el ventilador se encuentra encendido he inyectándole aire al recinto, se detecta una fuga significativa que es una rejilla de ventilación de aire, al momento de una descarga real del sistema contra incendios esta rejilla deberá ser sellada por esta razón tienen que ser notificada al final de la prueba a la autoridad competente.

Figura 4.3. Detección de fugas



Fuga de aire por rejilla de ventilación.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Ya selladas las fugas se procede a realizar las siguiente prueba de presurización o despresurización donde se toma un rango de medición de caudal entre 10 y 50 pascales como máximo de la presión referencial según la potencia del ventilador, estas pruebas se las puede realizar indistintamente del orden en las que se las lleve a cabo.

Se realiza la prueba a 10 Pascales y a 40 pascales para no forzar el consumo de corriente en el variador de velocidad por el motor monofásico que posee el ventilador axial.

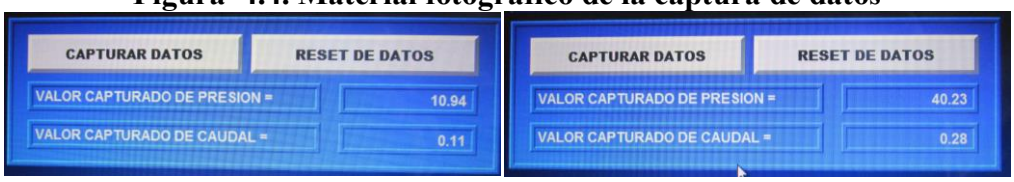
En las pruebas de presurización se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4.4. Mediciones de prueba de presurización

Presión (Pa)	Caudal (m3/s)	Frecuencia (Hz)
10.94	0.11	30.27
40.23	0.28	53.28

Mediciones de la prueba de presurización inyectando aire al recinto.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Figura 4.4. Material fotográfico de la captura de datos



a. b.

a) Captura de datos a 10 pascales b) captura de datos a 40 pascales.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Para la prueba de despresurización del contenedor se obtienen los siguientes datos:

Tabla 4.5. Mediciones de prueba de despresurización

Presión (Pa)	Caudal (m3/s)	Frecuencia (Hz)
10.26	0.09	19.44
42.01	0.20	53.28

Mediciones de la prueba de despresurización extrayendo aire del recinto.
Elaborado Por: Jonathan Cahuasquí

Figura 4.5. Material fotográfico de la captura de datos

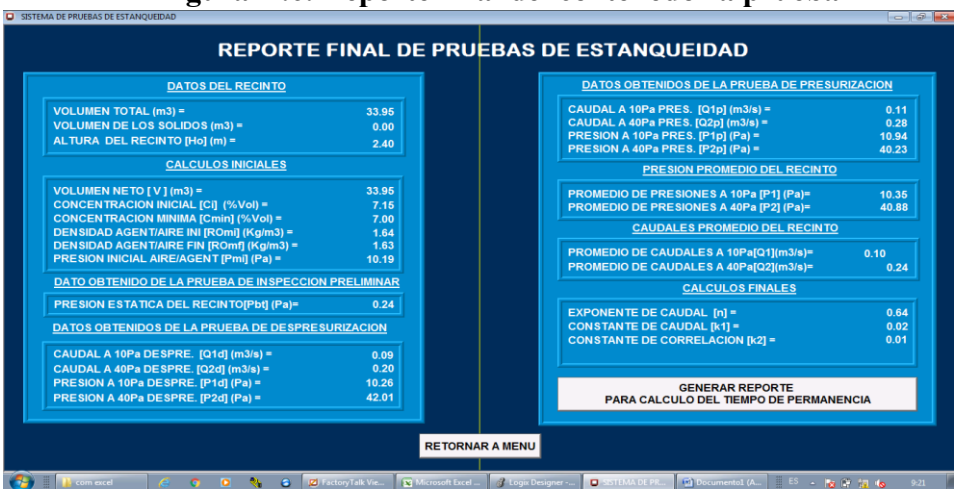
a. b.

a) Captura de datos a 10 pascales b) captura de datos a 40 pascales.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Al finalizar la toma de datos se generara el reporte respectivo con los cálculos aplicando las ecuaciones del capítulo 1 desde la ecuación 1 hasta la 9.

El informe de las pruebas realizadas es el siguiente.

Figura 4.6. Reporte final del contenedor a prueba

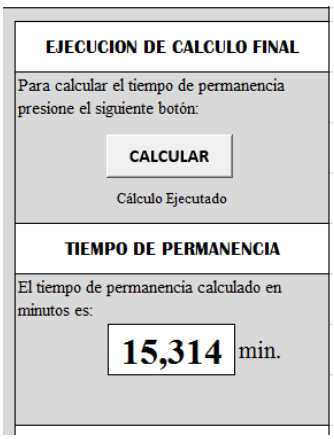


.

Reporte final realizado en Factory-Talk del contenedor sujeto a la prueba de estanqueidad
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Posteriormente se genera un informe anexo de Excel donde se transfieren los datos capturados y calculados de todas las pruebas realizadas al contenedor, con estos datos se procede a calcular el tiempo de permanencia aplicando las ecuaciones 10, 11, 12 ejecutando los macros del Excel predice el tiempo de permanencia en minutos.

Figura 4.7. Calculo del tiempo de permanencia del contenedor a prueba



Predicción del tiempo de permanencia en informe del Excel.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

4.3 Resultados de la prueba de estanqueidad al contenedor a prueba

El principal resultado del sistema de pruebas de estanqueidad es el informe en Excel que se expone a la autoridad competente y se verifican los datos obtenidos con los parámetros que describe la norma NFPA-2001 para tener la veracidad de la información y de la prueba de estanqueidad.

Los parámetros de la norma sobre el exponente de fuga calculado (n) debe tener un valor entre 0.48 y 0.85, y el valor calculado en el reporte final es de 0.63 por lo tanto se cumple con normalidad. La predicción del tiempo de permanencia del recinto se resuelve en 15.314 minutos, cumpliendo así con el tiempo establecido de la norma de 10 minutos como mínimo para que garantice que el sistema contra incendios extinga el fuego.

Como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 4.8. Informe final aprobado por la autoridad competente

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

SISTEMA DE PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD

Bajo normativa NFPA-2001 (Ver. 2015)
Metodo de fuga total

ENERGYPETROL

Cliente:	Energypetrol
Locación/Planta:	Talleres Puembo
Proyecto:	Prueba de Integridad del Recinto
OS/OC No.:	OC-1524-65
Descripción del Recinto:	Contenedor SIMOPRIME

Fecha: 29/08/2016
Tiempo de Pruebas (h): 2

ENERGYPETROL S.A.
Modelo: SISEST, Rev-01
P/N: EP-SISEST-101
Autores: Ing. Jonathan Cahuasquí

INFORME TECNICO

DATOS Y CALCULOS OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS

DATOS DEL RECINTO		PRUEBA DE PRESURIZACION	
Volumen Total V_{total} (m^3) =	33,95	Caudal de Presurización a 10Pa Q_{1p} (m^3/s) =	0,11
Volumen de Solidos $V_{Solidos}$ (m^3) =	0,00	Caudal de Presurización a 40Pa Q_{2p} (m^3/s) =	0,28
Densidad del Aire ρa (kg/m^3) =	1,20	Presión de Presurización a 10Pa P_{1p} (Pa) =	10,94
Densidad del agente ρe (kg/m^3) =	4,88	Presión de Presurización a 40Pa P_{2p} (Pa) =	40,23
Altura del Recinto H_0 (m) =	2,40	**CALCULOS DE PRESION PROMEDIO**	
CALCULOS INICIALES		Presión calculada para el ensayo 10Pa P_1 (Pa) =	10,35
Volumen Neto V_{Neto} (m^3) =	33,95	Presión calculada para el ensayo 40Pa P_2 (Pa) =	40,88
Concentración Inicial en aire del agente extintor C_i (%Vol.) =	7,15	**CALCULOS DE CAUDAL PROMEDIO**	
Concentración Final mínima en aire del agente extintor C_{min}(%Vol.)=	7,00	Caudal calculado para el ensayo 10Pa Q_1 (m^3/s) =	0,10
Densidad de la Mezcla Aire-Agente Inicial ρ_{mi} (kg/m^3) =	1,64	Caudal calculado para el ensayo 40Pa Q_2 (m^3/s) =	0,24
Presion Inicial de Columna Aire-Agente P_{mi} (Pa)=	10,19	**CALCULOS DE CONSTANTES**	
PRUEBA DE INSPECCION PRELIMINAR		Exponente de Fuga calculado n =	0,638
Presion Estatica del Recinto P_{bi} (Pa)=	0,24	Constante de Fuga calculada del recinto k_1 ($m^3/(s.Pa^n)$) =	0,023
Rango de aceptación de Presión estática P_{bi} (+/- Pa) =	2,55	Constante de correlación calculada del recinto k_2 ($kg.m^{3(1-n)}/(s.Pa)$) =	0,014
PRUEBA DE DESPRESURIZACION		Constante de simplificada del recinto $k3$ (m^2)	4,95
Caudal de Despresurización a 10Pa Q_{1d} (m^3/s) =	0,09	Constante de simplificada del recinto $k4$ (Pa m^3/Kg)	0,28
Caudal de Despresurización a 40Pa Q_{2d} (m^3/s) =	0,20		
Presión de Despresurización a 10Pa P_{1d} (Pa) =	10,26		
Presión de Despresurización a 40Pa P_{2d} (Pa) =	42,01		

EJECUCION DE CALCULO FINAL

Para calcular el tiempo de permanencia presione el siguiente botón:

CALCULAR

Cálculo Ejecutado

TIEMPO DE PERMANENCIA

El tiempo de permanencia calculado en minutos es:

15,314 min.

ACEPTACION DE LAS PRUEBAS

El recinto pasó las pruebas de estanqueidad?

SI

OBSERVACIONES:

La locacion presentó agujeros que debieron ser tapados provisionalmente para que la prueba resulte exitosa. Se debe tomar medidas para que los agujeros tapados sean totalmente sellados a largo plazo.

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD:

	ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Ing. Jonathan Cahuasquí	Ing. Luis Aguirre	Ing. Gustavo Cevallos
CARGO:	Ing.Electrónico	Sup.Electrónico	Gerente General
EMPRESA:	ENERGYPETROL S.A.	ENERGYPETROL S.A.	ENERGYPETROL S.A.
FIRMA:			

Predicción del tiempo de permanencia en el informe del Excel.
Fuente: Jonathan Cahuasquí

Ya que la prueba de estanqueidad se realizó para un recinto de la propia empresa auspiciante el informe técnico fue revisado por el supervisor del proyecto ING. Luis Aguirre que después de la demostración de la prueba del sistema de estanqueidad aprobó el informe generado de forma que el contenedor está certificado para el sistema contra incendios para el agente FM-200.

CONCLUSIONES

- El sistema de pruebas de estanqueidad cumple con la Norma NFPA-2001 con todos los aspectos reglamentarios en sus ecuaciones para los cálculos, procedimiento para adquirir datos, sensores y actuadores utilizados y el sistema de control definidos en los planos de diseño.

- Se logró un diseño similar a los sistemas de pruebas de estanqueidad comerciales, que constan del panel de control, la puerta extensible con su respectivo toldo hermético y un ventilador axial, pero el costo de fabricación del sistema de pruebas es de 4394,02 dólares en referencia al sistema de pruebas de estanqueidad extranjero cuyo valor es de 10030 dólares, teniendo como resultado que el desarrollo de este trabajo en la empresa Energypetrol es más rentable.

- El sistema implementado en este proyecto tiene mayor consistencia que un sistema extranjero porque se rige a una sola norma (NFPA-2001), mientras que los otros hacen uso de varias normas para justificar sus cálculos, de esta forma se alcanza uno de los principales objetivos del proyecto.

- El algoritmo PID programado en el PLC Allen Bradley permitió realizar el control de la variación de velocidad del ventilador axial, para alcanzar un setpoint de presión diferencial de acuerdo al volumen de la locación, con un máximo de 1000 m^3 especificado en la norma NFPA-2001.

- La implementación de la interfaz HMI se desarrolló en una computadora portátil para dotar al sistema de una mayor supervisión de las variables de control y la factibilidad de la transferencia de datos del programa Factory Talk View, hacia EXCEL el cual permite la realización de los informes de resultados dirigidos a gerencia y la predicción de tiempo de permanencia.

- El desarrolló las pruebas que se pueden observar en los informes anexos, y conforme a la norma que establece: “La presión estática medida del recinto no debe sobrepasar el 25% de la presión inicial de columna calculada”, teniendo como resultado que la presión inicial de columna calculada (P_{mi}) es de 10.19 Pa y el 25% de la misma es de 2.55 Pa. La presión estática medida (P_{bt}) del recinto es de 0.24 Pa siendo un valor menor a la presión inicial de columna cumpliendo con el parámetro obligatorio del procedimiento del sistema de pruebas de estanqueidad.

- El desarrollo de las pruebas se puede observar en los informes anexos, y conforme a la norma establece que: “El exponente de fuga calculado debe encontrarse en un rango de 0.48 y 0.85”, donde se obtuvo el exponente de fuga calculado en el recinto de 0.638 con el cual se determina el tiempo de permanencia calculado dentro de la locación cerrada del agente extintor en: 15.314 minutos, por lo tanto cumple todos los parámetros obligatorios del procedimiento del sistema de estanqueidad.

- En la primera prueba real se alcanzaron valores erróneos debido a los orificios de escape de ventilación, esto suele suceder por no seguir el protocolo de control de fugas que consiste en identificar las aberturas del recinto para que la locación tenga un sellado hermético. Para la segunda prueba se alcanzó el 100% de efectividad.

- El presente trabajo garantiza la efectividad de un Sistema Contra Incendios al realizar un adecuado control de fugas del recinto y calcular el tiempo de permanencia que tendrá el agente extintor FM-200 frente a una alarma de fuego real sin que haya posibilidad de una re-ignición. Además evita realizar la descarga real innecesaria lo que produce un efecto invernadero a la atmosfera y se lo debe liberar solo si existe una alarma de fuego real para no producir daños ambientales. Además realizar una prueba real involucra un gasto significativo al desperdiciar el FM-200.

RECOMENDACIONES

- Para la aplicación del sistema de pruebas de estanqueidad se recomienda tener conocimiento sobre los sistemas contra incendios desde su diseño hasta su construcción, para que se pueda reconocer la información que es aplicable al sistema de estanqueidad.

- Se debe tomar en cuenta las fugas encontradas durante la aplicación de las pruebas del sistema de estanqueidad en locaciones cerradas para que una vez finalizada la prueba, la autoridad competente realice el sellado correspondiente del recinto para mejorar el funcionamiento futuro del sistema contra incendios.

- Es necesario la utilización de la norma NFPA-2001 actualizada para las posteriores aplicaciones del sistema de estanqueidad ya que pueden surgir cambios en los parámetros del sistema que favorezcan la predicción del tiempo de establecimiento del recinto

- En el desarrollo de la prueba de estanqueidad se puede considerar el uso de otros agentes extintores existentes en el mercado para futuras aplicaciones del sistema.

- La venta conjunta del sistema contra incendios y el sistema de pruebas de estanqueidad permite tener mayores beneficios para las diferentes empresas puesto que la comprobación de integridad del recinto se la puede realizar cada cierto periodo de tiempo y tener mayor garantía de protección de los bienes materiales.

REFERENCIAS

Automation, R. (2012). *Manual de usuario.* Estados Unidos.

Contact, P. (2011). *Phoenix Contact.* Germany: Flachsmarktstr. 8.

Electric, S. (2000). *Schneider Electric.* Toronto: SquareD. Obtenido de Schneider Electric.

France-Paratonnerres. (2011). *Our Products for the indirect lightning protection.* Francia: Parc Ester Technopole.

Invertek Drive. (s.f.). *OPTIDRIVE E2 SINGLE PHASE.* España: Granollers.

Mazzone, V. (MARZO de 2002). *Universidad Nacional de Quilmes.* Virginia.

Miranda, C. V. (2012). *Sistemas de Control Continuos y Discretos.* España: Paraninfo S.A.

NFPA-2001. (2012). *Estándar sobre Sistemas de Extinción de Incendios con Agentes Limpios.* Quincy: DOCUMENTOS NFPA.

NFPA-2001. (2015). *Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.* Quincy: NFPA STANDARDS.

Oller, N. C. (2004). *NTP 668: Medición del caudal en sistemas de extracción localizada.* España.

PROCOBRE. (2012). *Conductrores Elèctricos.* Chile: International Copper Association.

SENSOCON. (2005). *Digital Differential Pressure Gauge.* United States: Industrial Webworks, LLC.

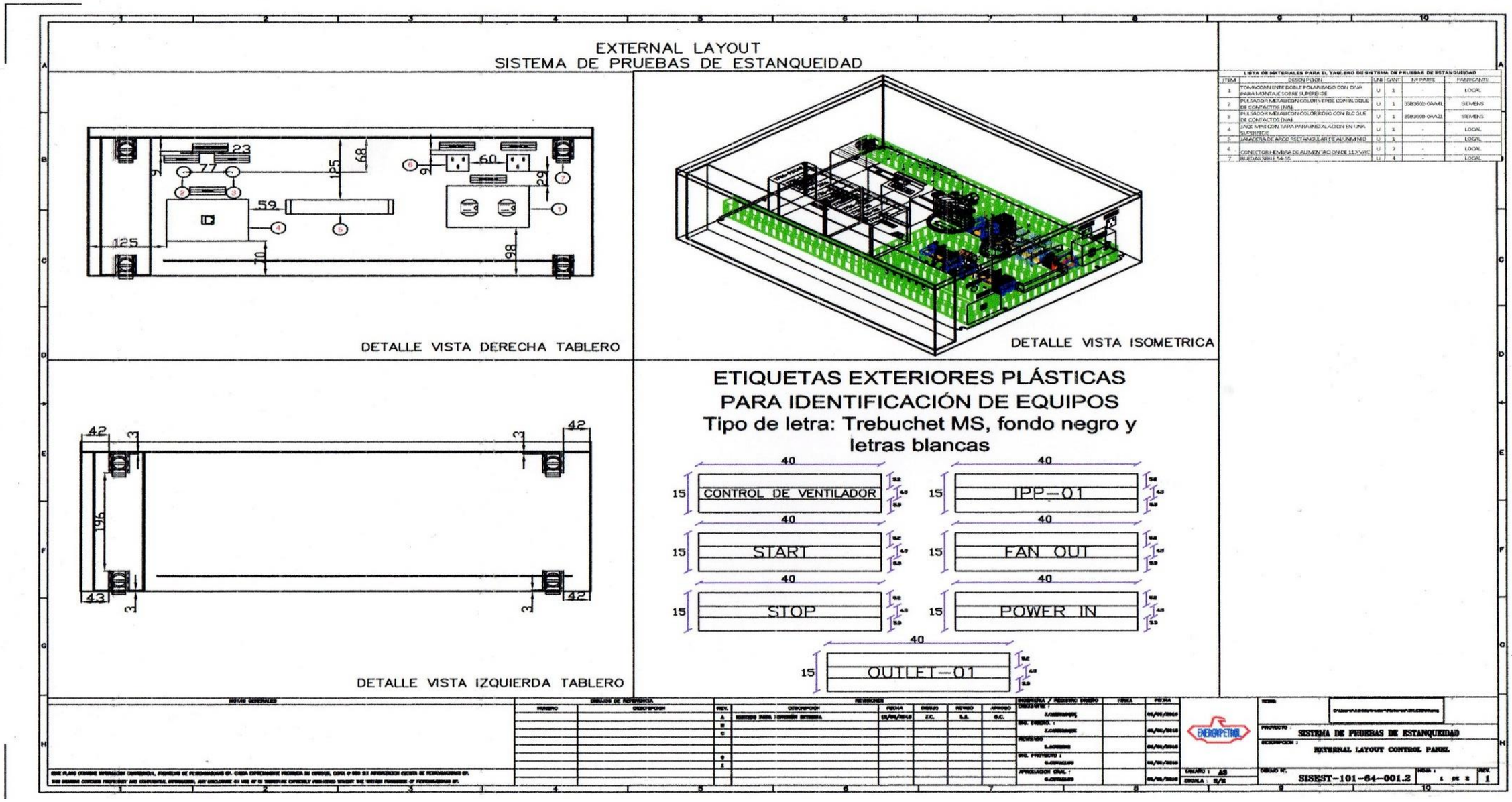
SENSOCON. (2005). *Multi Range Air Velocity / Temperature / Pressure Transmitter.* United States: Industrial Webworks, LLC.

Siemens. (2014). *Lista de Precios.* Nuremberg, Alemania: Siemenes.

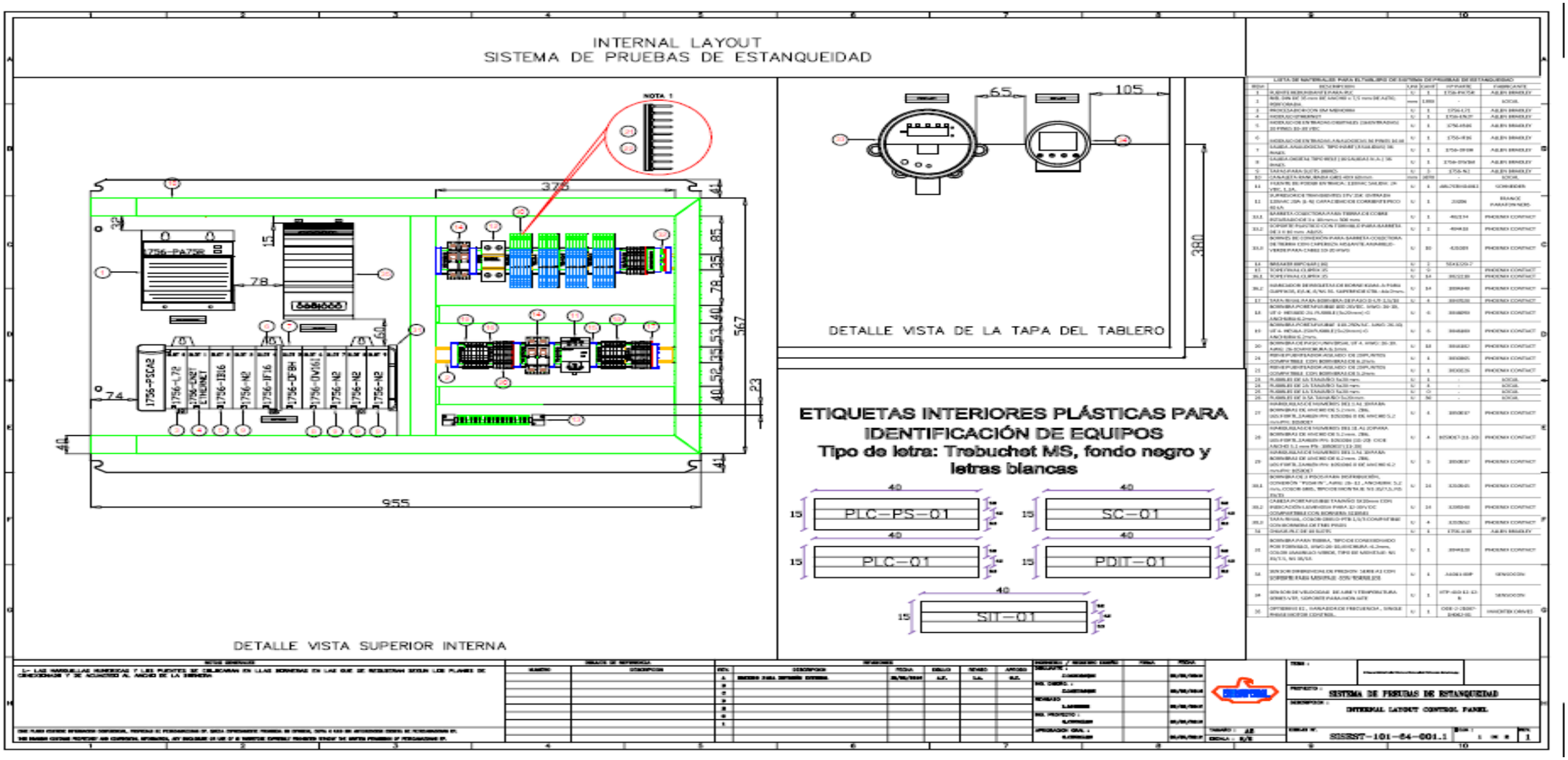
ANEXOS

Anexo 1. Tablero de Control.

1.1 Diseño Externo

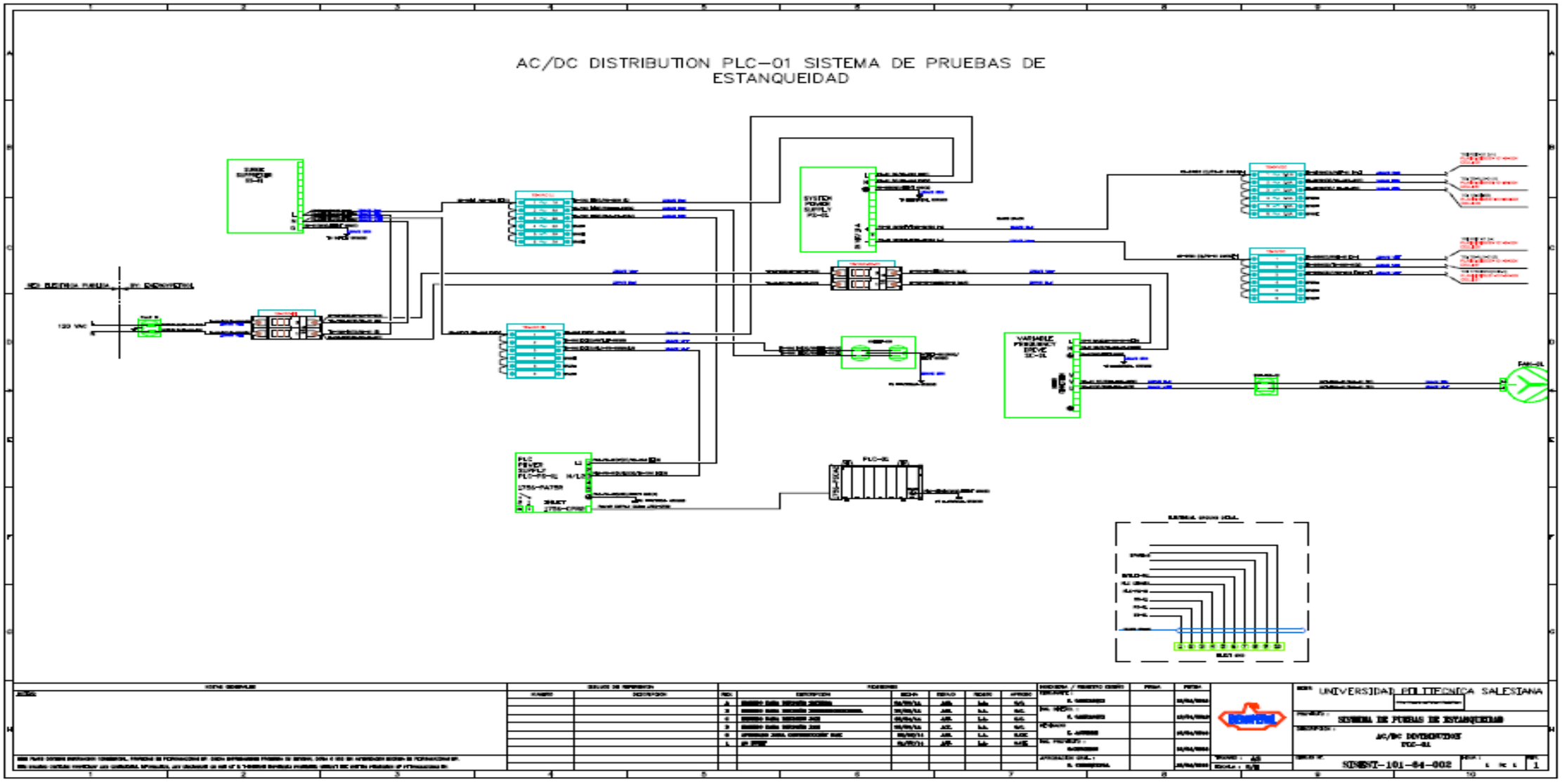


1.2 Diseño Interno.

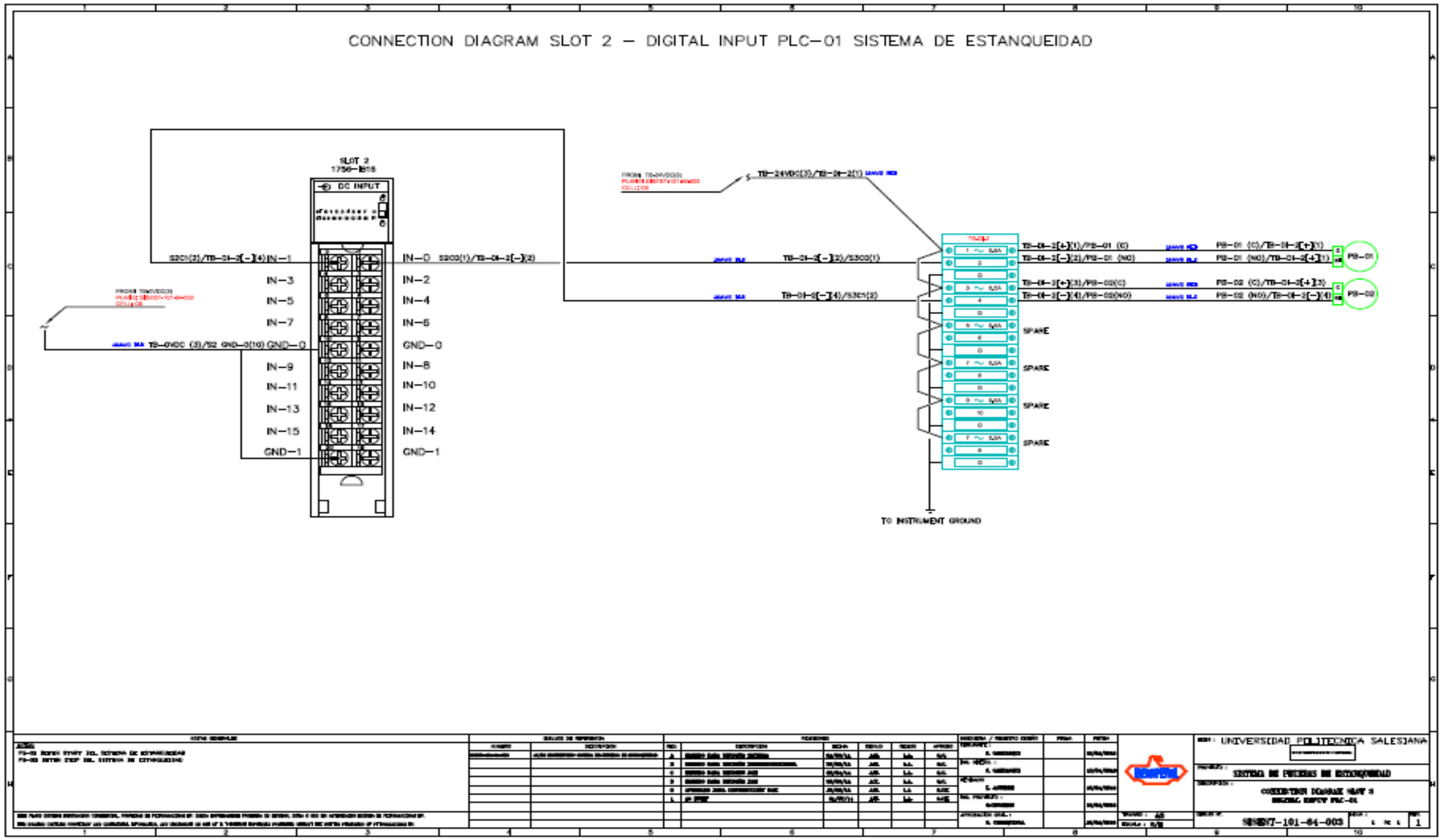


Anexo 2. Planos de Conexionado.

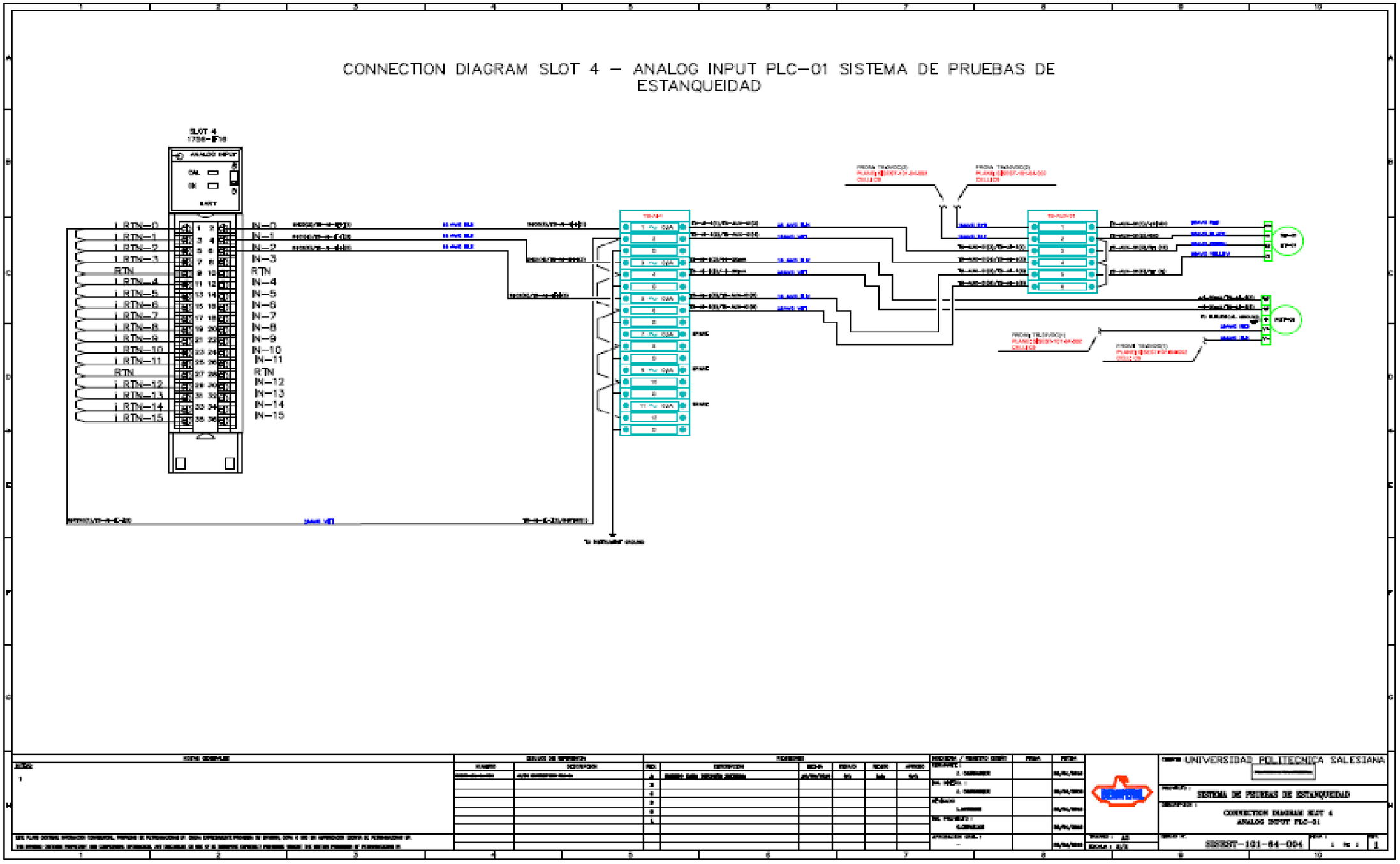
2.1 Distribución AC/DC



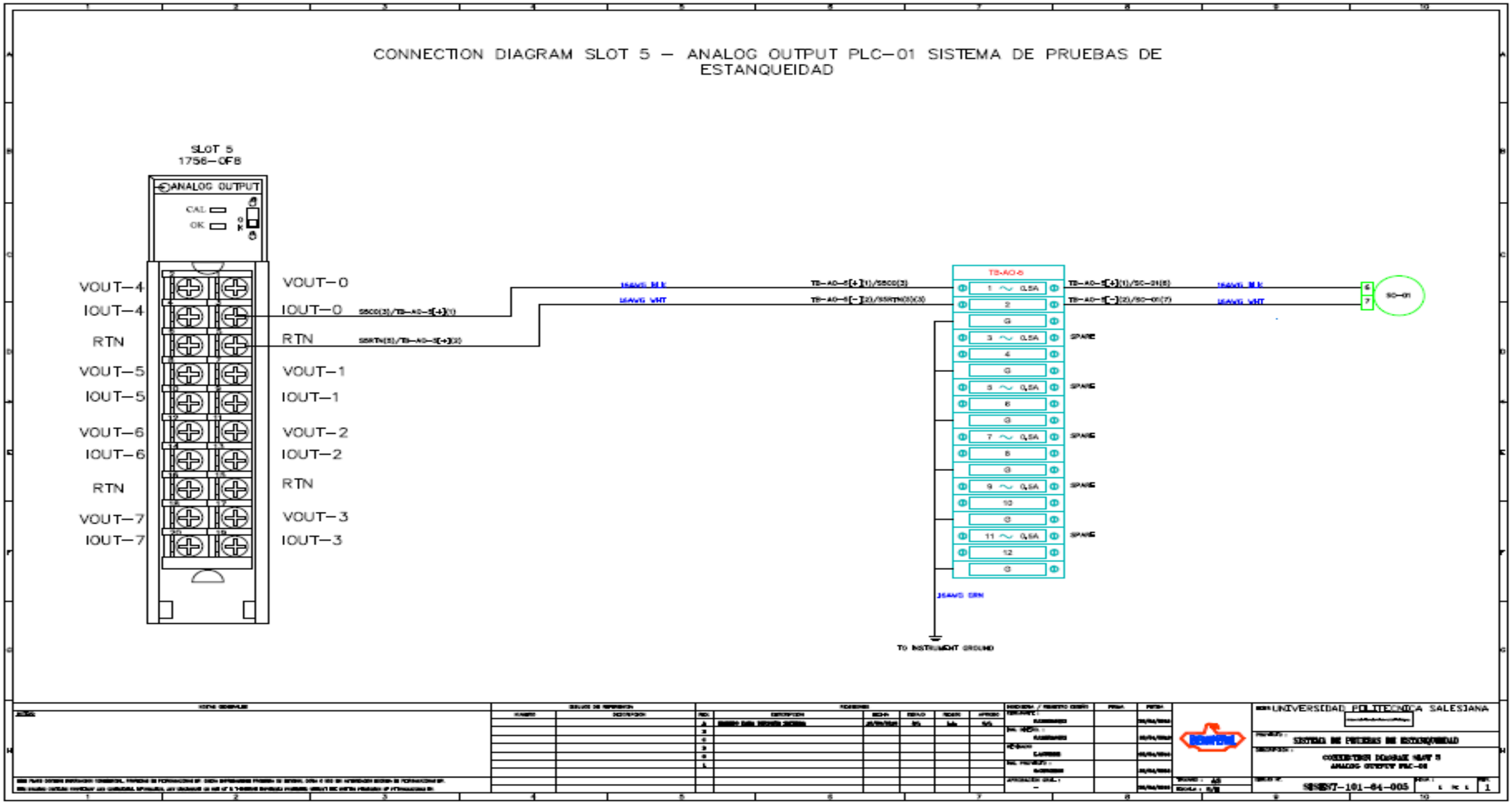
2.2 Conexionado Entradas Digitales



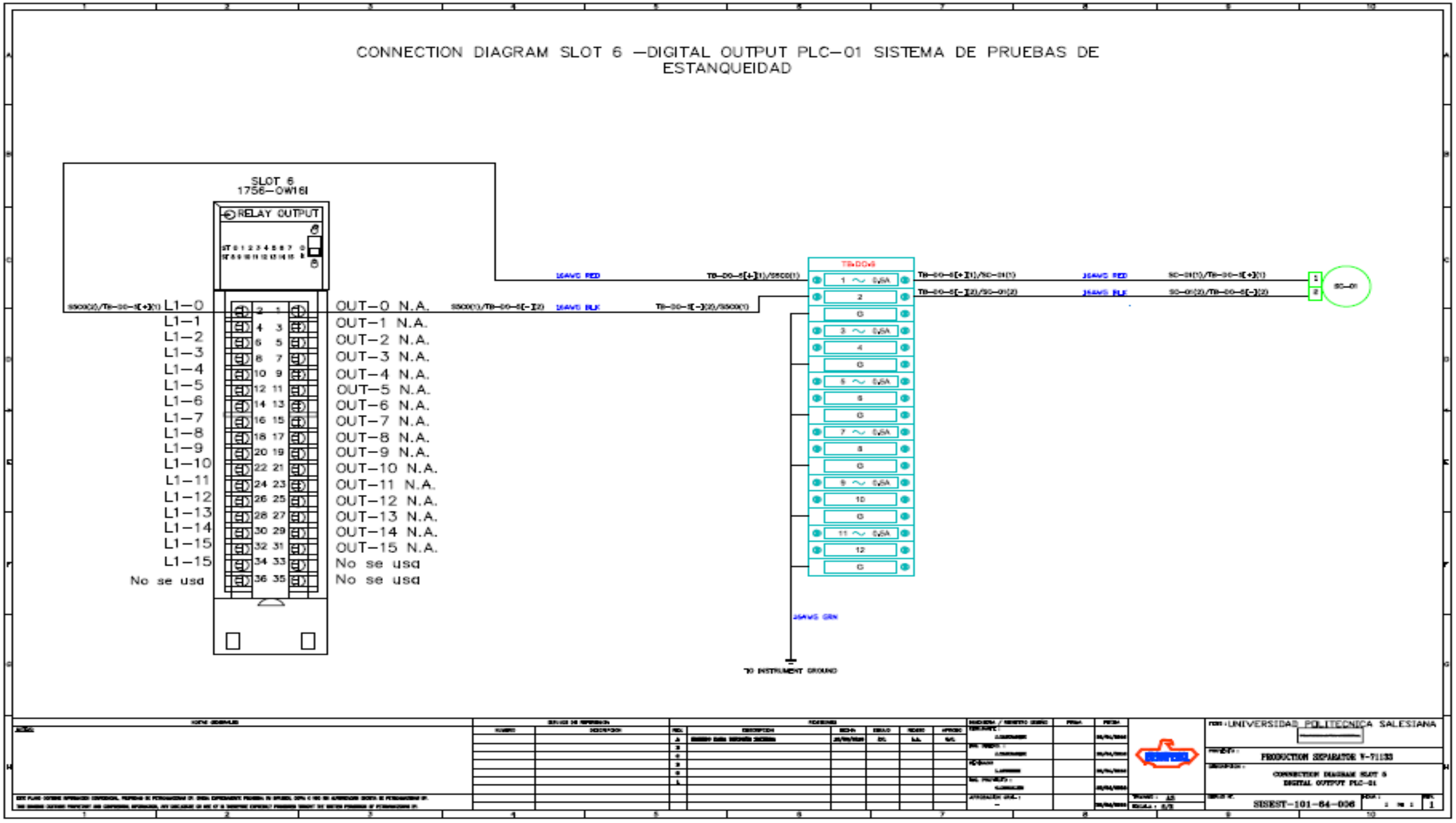
2.3 Conexionado Entradas Analógicas



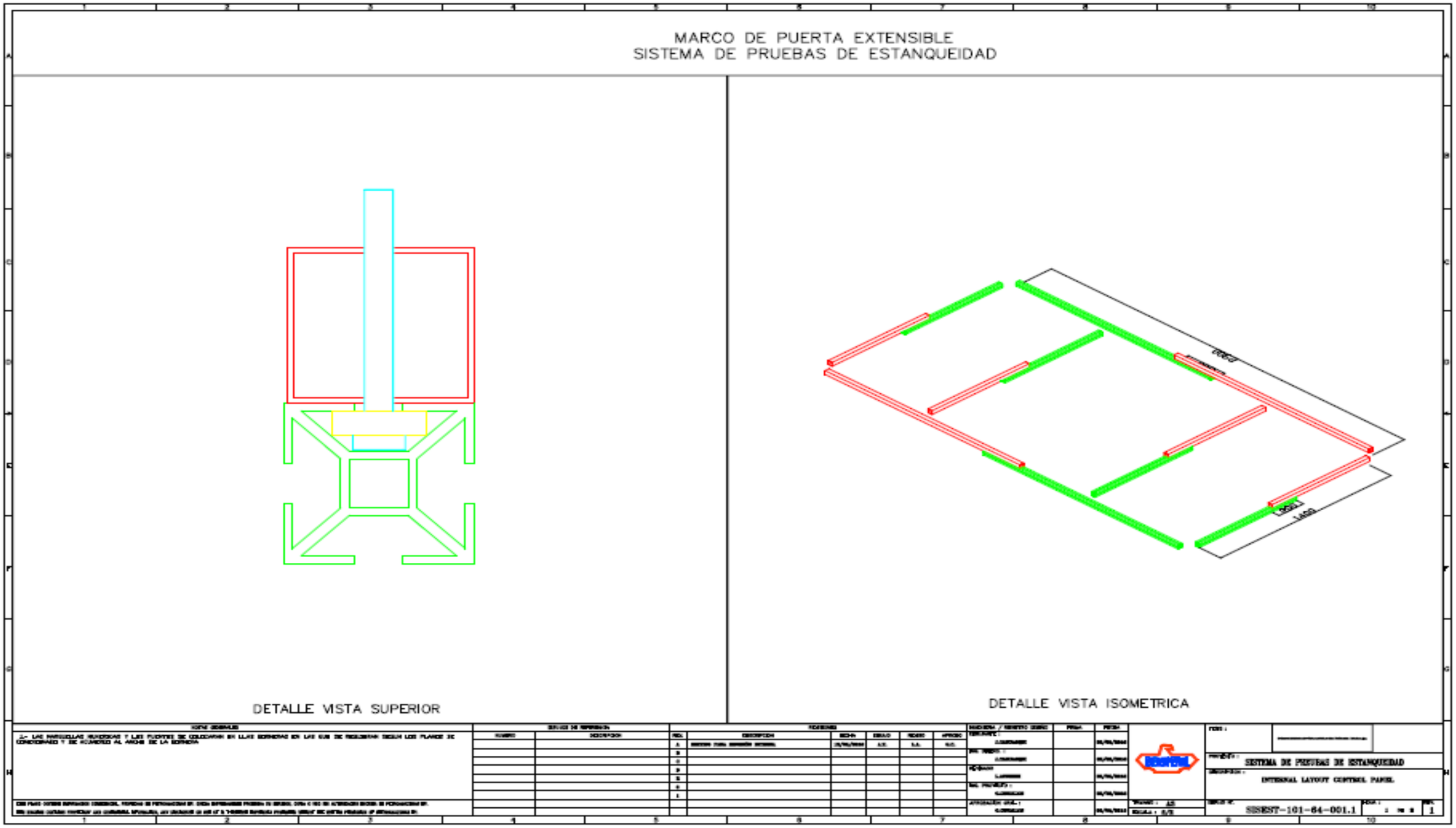
2.4 Conexionado Salidas Analógicas



2.5 Conexionado Salidas Digitales



Anexo 3. Planos del Marco de Puerta Extensible



Anexo 4. Certificados de Calibración

4.1 Certificado de calibración del sensor diferencial de presión

SENSOCON

Calibration Date: 09-Mar-16
Serial Number: 18911
Model: A1011-00P

Accuracy: 0.50%
Voltage: 24 VDC

Calibration Certificate

Test Point Values and actual Readings (Display, Output)

		Gauge Display (PA)			4-20 mA Output Values		
	Test Point #	Values	Display	Deviation % F.S.	Values	Output	Deviation % F.S.
As Calibrated							
Cal. ID: 19468	1	-60.0	-59.6	0.333%			
	2	-30.0	-30.0	0.000%			
	3	0.00	0.00	0.000%	4.00	4.06	0.198%
	4	30.0	29.9	-0.083%	12.00	12.05	0.143%
	5	60.0	60.0	0.000%	20.00	20.12	0.372%
	6	30.0	30.0	0.000%	12.00	12.12	0.385%
	7	0.00	0.00	0.000%	4.00	4.06	0.176%
	8	-30.0	-29.9	0.083%			
	9	-60.0	-59.6	0.333%			
Cal. ID: 18912	1	-60.0	60.0	100.000% *			
	2	#Error	#Error				
	3	0.00	0.00	0.000%	4.00	4.06	0.173%
	4	#Error	#Error				
	5	60.0	59.8	-0.167%	20.00	20.13	0.405%
	6	#Error	#Error				
	7	#Error	#Error				
	8	#Error	#Error				
	9	#Error	#Error				

Notes:

C Friend 3/9/16

Standards Used in Calibration

Standards use in this calibration are traceable to SI units of measurements through N.I.S.T or recognized international standard organizations. All calibrations are performed in ambient conditions of 23 +/-4 deg. C and 20-80% relative humidity.

Sensocon Inc. * PO Box 518 * Highland City, FL 33846 * (863) 248-2800

5181

SENSOCON

Calibration Certificate

Calibration Date: 28-Jan-16
Serial Number: 19138
Model: A1011-00P

Accuracy: 0.50%
Voltage: 24 VDC

Test Point Values and actual Readings (Display, Output)

		Gauge Display (PA)			4-20 mA Output Values		
	Test Point #	Values	Display	Deviation % F.S.	Values	Output	Deviation % F.S.
As Calibrated							
Cal. ID: 19138	1	-60.0	-60.2	-0.167%			
	2	#Error	#Error				
	3	0.00	0.00	0.000%	4.00	4.06	0.188%
	4	#Error	#Error				
	5	60.0	59.9	-0.083%	20.00	20.10	0.301%
	6	#Error	#Error				
	7	#Error	#Error				
	8	#Error	#Error				
	9	#Error	#Error				

Notes:

CFriend 3/9

Standards Used in Calibration

Standards use in this calibration are traceable to SI units of measurements through N.I.S.T or recognized international standard organizations. All calibrations are performed in ambient conditions of 23 +/-4 deg. C and 20-80% relative humidity.

4.2 Certificado de Calibración Medidor de Velocidad de Aire

Sensocon, Inc.
P.O. Box 518 • Highland City, FL 33846
Phone: (863) 248-2800 • Fax: (863) 248-2798
www.sensocon.com

Calibration Report

Instrument type	VTP-410-12-12-R
Serial number	TF121-1603028
Calibration Range	0-20 M/S
Measurement at ambient temperature	20℃±5℃
Accuracy class	±1%

Calibration Certification

No.	Standard Air Velocity (m/s)	Air Velocity (m/s)	Remark
1	0.00	0.00	
2	1.04	0.99	
3	5.04	5.07	
4	10.03	10.06	
5	15.04	15.10	
6	20.05	20.03	

Surveyor Nancy Russo Date 2016-3-4

Anexo 5. Informe de Diseño del Sistema Contra Incendios

Kidde Fire Systems

Kidde Fire Systems - Flow Calculation Software v4.0.0 (FM-200)
UL: EX4674 / Component of FM Approved System

File Name: JJJJJJ.FC4

Consolidated Report

Customer Information

Company Name: KJLJLKJ
Address:

Phone:
Contact:
Title:

Project Data

Project Name:
Designer:
Number:
Account:
Location:
Description: XZXZX

Enclosure Report

Elevation: 2850 m (relative to sea level)
Atmospheric Correction Factor: 0,69

Enclosure 1 PRUEBA

Enclosure Temperature:		Number of Nozzles:	1
Minimum:	9,0 C	Width:	2,34 m
Maximum:	19,0 C	Length:	5,94 m
Max. Concentration:	7,15 %	Height:	2,40 m
Design Concentration:		Volume:	33,36 m ^{3}
Adjusted:	6,91 %	Non-permeable:	0,00 m ^{3}

Calculation Date/Time: jueves, 18 de agosto de 2016, 16:07:28
Copyright (c) JENSEN HUGHES, Inc. Licensed to: Kidde-Fenwal
Key ID: 557596202

Kidde Fire Systems

Consolidated Report

Parts Report

Total Agent Required: 13,00 kg

Container Name: 16 L Cylinder (Part: 90-100040-001)

Number of Containers: 1

Nozzle	Type	Nozzle Area	Part Number
E1-N1	360°	105,10 mm²	90-194024-161

Pipe & Fittings	Type	Diameter	Length	Elbows (90)	Elbows (45)	Tees	Unions
	80T	20 mm	1,70 m	2	0	0	0

Other Objects	Name	Quantity	Part Number
	40mm Flex Hose - 90° Bend	1	283898
	40 mm Check Valve	1	870152

System Acceptance Report

*** WARNING - The data in this project may have been changed after the calculations were performed.**

System Discharge Time:	8,8 seconds
Percent Agent In Pipe:	19,9%
Percent Agent Before First Tee:	0,0%
Dead Volume:	0,0% (0,00 kg)
Enclosure Number:	1
Enclosure Name:	PRUEBA
Minimum Design Concentration:	6,70%
Adjusted Design Concentration:	6,91%
Predicted Concentration:	6,91%
Maximum Expected Agent Concentration:	7,15% (At 19,0 C)

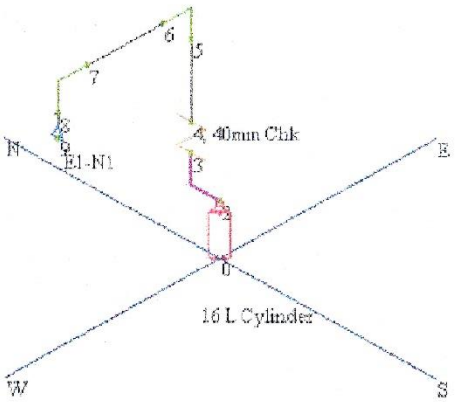
Calculation Date/Time: jueves, 18 de agosto de 2016, 16:07:28

Copyright (c) JENSEN HUGHES, Inc. Licensed to: Kidde-Fenwal

Key ID: 557596202

Consolidated Report

1 - Isometric View-Node



Key ID: 557596202

Anexo 6. Carta de finalización del proyecto.

ENERGYPETROL

Ingeniería – Consultoría
Supervisión – Ventas
Construcción – Operaciones
Mantenimiento – Servicio

Dirección: Calle José Puerta N39-155 y Av. Eloy Alfaro
Teléfonos: (593) 2 2923 064 / 2 2923 115 / 2 2922 187
Fax: (593) 2 2923 064 Ext. 106
Móvil: (593) 0984 905909 / 0999 221325
e-mail: energypetrol@energypetrol.net
Página Web: www.energypetrol.net

PARA TODO TIPO DE PROYECTOS PETROLEROS ESPECIALES E INDUSTRIALES

Quito a, 31 de Agosto de 2016

Ing. Alejandra Fernández
DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Presente:

De mi consideración:

Por medio de la presente. Yo, Ingeniera Gabriela Cevallos, en calidad de Presidente de la empresa ENERGYPETROL S.A. quisiera comunicarle a su distinguida institución que el Sr. Jonathan Moisés Cahuasquí Molina con C.I.: 171939572-3, culminó la realización del proyecto técnico de titulación denominado "Diseño y construcción de un sistema portátil de pruebas de estanqueidad para locaciones cerradas, en base a las exigencias de la norma NFPA 2001", desarrollado para nuestra empresa, bajo las siguientes condiciones:

- La propiedad intelectual del sistema a desarrollarse será de la empresa ENERGYPETROL, en su calidad de auspiciante y propietario de los equipos, por tanto nos reservamos el derecho de utilizar y comercializar el sistema así como de realizar a futuro las modificaciones y amplificaciones que se considere conveniente.
- La información que se genere en el proyecto será clasificada y podrá ser divulgada solo con autorización expresa de nuestra parte.

Atentamente:

ENERGYPETROL S.A.
RUC 1791403916001

Ing. Gabriela Cevallos
Presidenta
ENERGYPETROL S.A.

Anexo 7. Carta del supervisor del proyecto

ENERGYPETROL

Ingeniería – Consultoría
Supervisión – Ventas
Construcción – Operaciones
Mantenimiento – Servicio

Dirección: Calle José Puerta N39-155 y Av. Eloy Alfaro
Teléfonos: (593) 2 2923 064 / 2 2923 115 / 2 2922 187
Fax: (593) 2 2923 064 Ext. 106
Móvil: (593) 0984 905909 / 0999 221325
e-mail: energypetrol@energypetrol.net
Página Web: www.energypetrol.net

PARA TODO TIPO DE PROYECTOS PETROLEROS ESPECIALES E INDUSTRIALES

Quito a, 30 de Agosto de 2016

Ing. Alejandra Fernandez
DIRECTORA DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Presente:

De mi consideración:

Por medio de la presente. Yo, Luis Fabricio Aguirre con C.I: 1714202155, en calidad de Ingeniero electrónico de la empresa ENERGYPETROL S.A. certifico que supervisé al Sr. Jonathan Moisés Cahuasquí Molina con C.I.: 171939572-3, en el desarrollo y ejecución del proyecto técnico de titulación para Ingeniería Electrónica denominado "Diseño y construcción de un sistema portátil de pruebas de estanqueidad para locaciones cerradas, en base a las exigencias de la norma NFPA 2001" hasta su finalización.

Atentamente:

Ing. Luis Fabricio Aguirre
Ingeniero Electrónico
ENERGYPETROL S.A.