



Desarrollo de un sistema prototipo para control y monitoreo de temperatura, humedad y emisión de gases en los depósitos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana que almacenan material explosivo

Cabezas Sánchez, Jhony Javier y Solis Toapanta, Steven Alexander

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización Y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,
Automatización y Control

Ph.D. Guamán Novillo, Ana Verónica

18 de marzo del 2021



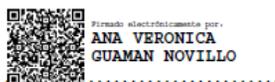
Curiginal

Document Information

Analyzed document	Tesis_Cabezas_Solis_18032021_final_para URKUN.pdf (D98837991)
Submitted	3/19/2021 3:27:00 AM
Submitted by	Guaman Novillo Ana Veronica
Submitter email	avero.guaman@gmail.com
Similarity	1%
Analysis address	avguaman.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://documen.site/download/bodega-de-almacenamiento-explosivos_pdf Fetched: 3/19/2021 3:31:00 AM	 1
W	URL: https://www.elcomercio.com/actualidad/defensa-junta-investigacion-explosion-latacu ... Fetched: 3/19/2021 3:31:00 AM	 1
W	URL: https://www.elcomercio.com/actualidad/bodega-armas-brigada-patria-latacunga.html Fetched: 3/19/2021 3:31:00 AM	 1
W	URL: https://www.eluniverso.com/2009/07/08/1/1447/temor-explosion-fabrica-municiones-ff ... Fetched: 3/19/2021 3:31:00 AM	 1
W	URL: https://www.larepublica.ec/blog/sociedad/2011/12/08/fuerte-explosion-en-cuartel-de ... Fetched: 3/19/2021 3:31:00 AM	 1



Ph. D. Guamán Novillo, Ana Verónica

Director de Tesis



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Desarrollo de un sistema prototipo para control y monitoreo de temperatura, humedad y emisión de gases en los depósitos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana que almacenan material explosivo**” fue realizado por los señores **Cabezas Sánchez, Jhony Javier y Solis Toapanta, Steven Alexander** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 18 de marzo de 2021



Firmado electrónicamente por:
**ANA VERONICA
GUAMAN NOVILLO**

Ph. D. Guamán Novillo, Ana Verónica

C. C. 1003996946



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Cabezas Sánchez, Jhony Javier** y **Solis Toapanta, Steven Alexander**, con cédulas de ciudadanía n° 1003168398 y n° 1724476419, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Desarrollo de un sistema prototipo para control y monitoreo de temperatura, humedad y emisión de gases en los depósitos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana que almacenan material explosivo**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 25 febrero de 2021

Cabezas Sánchez Jhony Javier

C.C.: 1003168398

Solis Toapanta Steven Alexander

C.C.: 1724476419



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Cabezas Sánchez, Jhony Javier** y **Solis Toapanta, Steven Alexander**, con cédulas de ciudadanía n° 1003168398 y n° 1724476419, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Desarrollo de un sistema prototipo para control y monitoreo de temperatura, humedad y emisión de gases en los depósitos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana que almacenan material explosivo**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 25 febrero de 2021

Cabezas Sánchez Jhony Javier

C.C.: 1003168398

Solis Toapanta Steven Alexander

C.C.: 1724476419

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, quienes me han motivado a cumplir mis metas y sueños, en especial a mi amada abuelita María Betsabé Sánchez Yáñez (+), quien me formó desde muy niño a ser un hombre de bien y a trabajar muy duro para lograr grandes cosas en la vida.

Jhony Javier Cabezas Sánchez

Dedico este trabajo a mi familia, quienes, con su esfuerzo, motivación, paciencia y cariño, me han formado como una persona íntegra y me han enseñado los principios, valores e ideas para conquistar los retos que impone la vida.

Steven Alexander Solis Toapanta

Agradecimiento

A mi madre Zoila, por seguir luchando en la vida a pesar de las adversidades que vive día a día, y por ser un ejemplo y motivación para mis hermanos.

A mis tíos, Maruja y Cristóbal, por ser personas que me han brindado su cariño y me han guiado por el camino del bien.

A mis profesores, quienes aportaron con sus conocimientos en todo el proceso de formación como ingeniero.

Jhony Javier Cabezas Sánchez

A mi Madre, por demostrarme la paciencia, el coraje y el amor, para no darme por vencido por mis objetivos y seguir apoyándome en cada adversidad.

A mi Padre, por darme el coraje, valentía e ideales que rigieron en mi estilo de vida para formarme como una persona íntegra y luchadora.

A mis profesores, quienes con su catedra y conocimiento aportaron en el proceso para convertirme en un profesional.

Steven Alexander Solis Toapanta

Índice de contenidos

Urkund.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Capítulo I.....	16
Antecedentes y justificación.....	16
Antecedentes.....	16
Justificación e Importancia.....	17
Alcance del Proyecto.....	18
Objetivos:.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Descripción del proyecto:.....	20
Capítulo II.....	22
Diseño del sistema de instrumentación y control.....	22
Fundamentación teórica de los explosivos.....	22
Normas para el almacenamiento.....	23
Divisiones y subdivisiones de clase 1.....	24
Grupos de compatibilidad.....	25
Clasificación de nivel de riesgo.....	27
Diseño del sistema de instrumentación.....	29
Selección hardware.....	30
Selección de los sensores.....	31

Temperatura.....	31
Humedad.....	32
Gases.....	32
Ajuste de lectura , amplificación y linealización de los sensores.....	34
LM35 Temperatura.....	34
TGS825 y TGS826.....	37
Filtrado de la señal de los sensores de gases.....	39
Modelo de Calibración - Regresión por mínimos cuadrados Parciales (PLS)	
egresión	41
Construcción del modelo.....	42
Determinación de nivel de riesgo	43
Diseño del sistema de control basado en reglas de decisión.....	44
Diagrama del control basado en reglas de decisión	48
Capítulo III.....	53
Implementación a escala del sistema de sensado	53
Características del prototipo	54
Escala prototipo 1:15.....	54
Especificaciones técnicas.....	60
Sistema de actuadores	61
Servomotor	61
Ventilador	63
Placa peltier.....	65
Banco de relés	66
Arduino	68
Fuente	70
Montaje.....	71
Programación Arduino.....	71
Labview	74
HMI.....	78
Capítulo IV.....	83
Pruebas y resultados.....	83
Pruebas	83

Temperatura y Humedad	84
Gases.....	85
Resultados	86
Resultados prueba N°4	87
Resultados prueba N°11	89
Análisis de factibilidad de aplicar en los depósitos	91
Factibilidad operativa.....	91
Factibilidad técnica y económica.....	92
Capítulo V.....	97
Conclusiones y recomendaciones	97
Conclusiones.....	97
Recomendaciones	98
Referencias.....	99

Índice de Tablas

Tabla 1. Compatibilidad de almacenamiento	27
Tabla 2. Clasificación de nivel de riesgos.....	28
Tabla 3. Tabla comparativa ARDUINO MEGA - NI myDAQ - RASBERRY Pi3	30
Tabla 4. Tabla comparativa de sensores de temperatura.....	31
Tabla 5. Potencia de los sensores químicos	37
Tabla 6. Características técnicas de los sensores químicos.....	38
Tabla 7. Rango de aceptación de alarmas	44
Tabla 8. Reglas de decisión para actuadores	48
Tabla 9. Combinación de niveles para toma de datos	50
Tabla 10. Especificaciones SG90 Micro Servo 9g	62
Tabla 11. Especificaciones Ventilador HC12S4010H	64
Tabla 12. Especificaciones placa peltier y ventilador	65
Tabla 13. Especificaciones Banco de Rele's.....	67
Tabla 14. Especificaciones Arduino Mega.....	68
Tabla 15. Especificaciones fuente alimentación.....	70
Tabla 16. Condiciones iniciales de temperatura y humedad para pruebas y resultados	84
Tabla 17. Tabla de resultados.....	86
Tabla 18. Costo aproximado para implementación	95

Índice de figuras

Figura 1. Sistema de instrumentación.....	29
Figura 2. Prueba de selección de sensores	33
Figura 3. Etapa de pre-amplificación.....	35
Figura 4. Diseño del Offset	36
Figura 5. Etapa de adición del Offset.....	37
Figura 6. Conexión de sensores de gas.....	39
Figura 7. Filtración de la señal de sensores químicos	41
Figura 8. Salida del nivel riesgo.....	43
Figura 9. Modelamiento señal dependiente sin programa.....	44
Figura 10. Modelo de la planta del depósito para el almacenamiento de explosivos	45
Figura 11. Controlador de selección múltiple	46
Figura 12. Sistema sin realizar el control	47
Figura 13. Resultados del controlador para las variables de temperatura, humedad y otros gases.....	47
Figura 14. Diagrama del sistema de control.....	48
Figura 15. Vectores de tiempo y amplitud.....	52
Figura 16. Polvorín tipo arco oval.....	54
Figura 17. Maqueta polvorín.....	56
Figura 18. Orden de apilamiento	58
Figura 19. Servomotor SG90.....	61
Figura 20. Ventilador HC12S4010H	64
Figura 21. Placa peltier	65
Figura 22. Banco de rele's	67
Figura 23. Arduino Mega	68
Figura 24. Fuente de voltaje	70
Figura 25. Flujograma de sensado de temperatura y humedad.....	72
Figura 26. Flujograma de sensado de gases	73
Figura 27. Flujograma de control.....	74
Figura 28. LabVIEW MathScript	75
Figura 29. Definición de rangos para los niveles	76
Figura 30. Flujograma de activación de actuadores	77
Figura 31. Flujograma de ingreso al HMI	78
Figura 32. Pantalla principal control y monitoreo	79

Figura 33. Pantalla monitoreo temperature, humedad y gases.....	80
Figura 34. Pantalla control de temperatura, humedad y gases	81
Figura 35. Temperaturas en función del tiempo prueba N°4.....	87
Figura 36. Humedad en función del tiempo prueba N°4.....	88
Figura 37. Nivel en función del tiempo prueba N°4.....	88
Figura 38. Temperatura en función del tiempo prueba N°11	89
Figura 39. Humedad en función del tiempo prueba N°11	90
Figura 40. Nivel en función del tiempo prueba N°11	90
Figura 41. Elementos principales para instalación.....	92
Figura 42. Sensor de temperatura PT1000.....	93
Figura 43. Sensor de humedad 6CTN4.....	94
Figura 44. Aire acondicionado	94
Figura 45. PLC SIEMENS S7-1200.....	94
Figura 46. Motor AC Bifásico.....	95

Resumen

La Fuerza Aérea Ecuatoriana dispone de bodegas (polvorines) para el almacenamiento de Alto Explosivo, los mismos que exigen un alto nivel de seguridad para evitar accidentes mortales. Esto ha motivado a realizar pruebas de concepto para la implementación de un sistema de monitoreo y control de humedad, temperatura y gases que se generan en cada depósito de almacenamiento de explosivos. Con esto se pretende mantener la estabilidad del material explosivo, permitiendo al usuario mantener un área segura y confiable de trabajo. La prueba de concepto para el monitoreo y control de los depósitos automatizados permitirá que el personal militar pueda manejar los parámetros adecuados para la preservación del material explosivo y generar condiciones seguras para el ingreso de los técnicos a estos depósitos cuando sea requerido. En sistema prototipo se incluirá un interfaz humano máquina, el mismo que permitirá al usuario vigilar los niveles de riesgo de mejor manera. El sensado y toma de datos de la temperatura, humedad y gases se lo realizará mediante sensores, actuadores y tarjetas de bajo costo por ser el prototipo. En el caso de implementarse el sistema se requerirá el presupuesto para la compra de todo el material y equipo con características industriales, de acuerdo a las ordenes técnicas que exigen para el almacenamiento de explosivos.

PALABRAS CLAVE:

- **POLVORÍN**
- **EXPLOSIVOS**
- **ALMACENAMIENTO**

Abstract

The Ecuadorian Air Force has warehouses (powder magazines) for the storage of High Explosive, which require a high level of security to avoid fatal accidents. This has led to proof of concept for the implementation of a monitoring and control system for humidity, temperature and gases that are generated in each explosives storage tank. This is intended to maintain the stability of the explosive material, allowing the user to maintain a safe and reliable work area. The proof of concept for the monitoring and control of automated warehouses will allow military personnel to manage the appropriate parameters for the preservation of explosive material and generate safe conditions for technicians to enter these warehouses when required. The prototype system will include a human machine interface, which will allow the user to monitor risk levels in a better way. The sensing and data collection of temperature, humidity and gases will be carried out by means of sensors, actuators and low-cost cards because it is the prototype. In the case of implementing the system, the budget will be required for the purchase of all the material and equipment with industrial characteristics, according to the technical orders required for the storage of explosives.

KEYWORDS:

- **POLVORÍN**
- **EXPLOSIVES**
- **STORAGE**

Capítulo I

Antecedentes y justificación

Antecedentes

Ecuador ha sido testigo de varios accidentes relacionados al tema de destrucción de las bodegas (polvorines) donde se almacena armamento, municiones y explosivos. De acuerdo a los registros existentes en los medios de prensa: La Balbina 8 de julio de 1997 (El Comercio, 2016), se registró un saldo de 4 muertos, decenas de heridos; Riobamba 20 de noviembre del 2002 Brigada de Caballería Blindada N°11 “Galápagos” (Olmos, 2002), se registraron 10 muertos y 538 heridos, y grandes pérdidas materiales; Guayaquil 23 de marzo de 2003 Base Naval Sur (El Universo, 2003), fallece una persona y 28 resultaron heridas; Sangolquí 08 de julio de 2009 Fábrica de municiones “Santa Bárbara” (El Universo, 2009), con pérdidas materiales; Mitad del Mundo 08 de diciembre de 2011 Grupo de Intervención y Rescate de la Policía Nacional (La República, 2011), con pérdidas materiales; Latacunga 8 de noviembre de 2016 Bodega de armamento y munición de la Brigada de Fuerzas Especiales N° 9 (Moreta, 2016) , esta última generó la pérdida de una vida humana, cinco heridos con lesiones leves, y pérdidas materiales. Desde 1997 hasta el año 2016, existe una alta incidencia en la repetición de los accidentes con este tipo de materiales explosivos (TNT, dinamita, cordón detonante, pólvora), presentando riesgos en el proceso de almacenamiento de armas, municiones y explosivos, lo que influye directamente en los diferentes niveles de seguridad y control.

La Fuerza Aérea Ecuatoriana tomando en cuenta este tipo de eventos busca en forma constante mitigar estos incidentes, teniendo presente que de acuerdo a la Unión Española de Explosivos “Los almacenamientos prolongados en malas condiciones de humedad, temperatura y ventilación, pueden originar la desestabilización del explosivo y

en consecuencia su descomposición” (UNIÓN ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, 2002), originan una explosión. Luego de realizar una búsqueda bibliográfica en investigaciones relacionadas al control de temperatura y humedad, basándose en los trabajos realizados por: Estrella y Legarda (Luis & Legarda, 2010), Guamangallo (Guamangallo, 2002), y Vizuite Quevedo (Vizuite, 2003); de igual manera para investigaciones relacionadas con el control de gases, se tomara en cuenta los trabajos de: Ramírez Patajalo (Ramírez, 2016), Chano y Paucar (Chano & Paucar, 2015). Estos documentos hacen referencia al análisis del nivel de peligro e importancia de una vigilancia permanente y control de estos parámetros. Por lo tanto este proyecto facilitará las herramientas para la construcción de un prototipo que permitirá el control de temperatura, humedad y gases en el almacenamiento de explosivos.

Justificación e Importancia

La Fuerza Aérea Ecuatoriana dispone de bodegas (polvorines) para el almacenamiento de Alto Explosivo, los mismos que exigen un alto nivel de seguridad para evitar accidentes mortales. Las órdenes técnicas detallan métodos de almacenamiento que deben ser aplicados, entre los más importantes se tiene: Clasificación de los explosivos y grupos de compatibilidad, tipos de polvorines, distancia de seguridad y condiciones de almacenamiento. Todo este proceso se lo realiza de manera manual y de acuerdo a la experiencia del personal militar.

Esto ha motivado a realizar pruebas de concepto para la implementación de un sistema de monitoreo y control de humedad, temperatura y gases que se generan en cada depósito de almacenamiento de explosivos. Con esto se pretende mantener la estabilidad del material explosivo, permitiendo al usuario mantener el producto seguro y fiable.

La prueba de concepto para el monitoreo y control de los depósitos automatizados permitirá que el personal militar pueda manejar desde un cuarto de control los parámetros adecuados para la preservación del material explosivo y generar condiciones seguras para el ingreso de los técnicos a estos depósitos cuando sea requerido.

Alcance del Proyecto

El presente proyecto de titulación pretende delinear el control y monitoreo de la temperatura, humedad y emisión de gases dentro de un depósito de explosivos, mediante un prototipo que se detallará en una maqueta, que cumpla con las características necesarias para mantener un almacenamiento adecuado de explosivos y sea de beneficio para la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Se trabajará con una tarjeta de adquisición de datos y control de actuadores; se utilizará sensores que convierten la variable de temperatura y humedad en variables eléctricas, y sensores de gas para detección de Sulfato de Hidrógeno y Amonio respectivamente. Estos parámetros serán sensados en una base de datos conforme a los requerimientos del operario en tiempo real.

Se simulará un escenario de pruebas parecido a un polvorín¹ utilizando Labview, los datos generados en tiempo real, nos permita llevar un registro de almacenamiento para verificar cuando están en condiciones seguras y no seguras.

Se presentará una HMI para manejo del sistema, en el cual el operario podrá disponer de alertas visuales y sonoras, que permitan actuar a tiempo en el caso de existir un riesgo con el material almacenado.

¹ Lugar establecido para almacenar explosivos.

Finalmente se presentará el prototipo en una maqueta a escala de 1:15 y se realizará la adquisición de datos de entrada: gas (concentración del gas tóxico generado por material explosivo en referencia al aire), temperatura y humedad; el control se realizará mediante una interfaz gráfica, la misma que permitirá mantener las condiciones de almacenamiento. Todos los sensores, actuadores y circuitos al implementarse en un depósito de explosivos deben ser intrínsecamente seguros, diseñados para resistir y proteger de la energía liberada de un artefacto explosivo; y finalmente se evaluará los costos de implementación de un prototipo real dentro de un depósito de explosivos.

Objetivos:

Objetivo General

Implementar un sistema de control y monitoreo de temperatura, humedad y emisión de gases; conectado a una interfaz gráfica que represente un prototipo de depósito de material explosivo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones de temperatura, humedad y emisión de gases de acuerdo a las órdenes técnicas para el almacenamiento de explosivos.
- Diseñar un sistema prototipo que permita el control y sensado de la temperatura, humedad y gases dentro de un polvorín.
- Facilitar las actividades de supervisión del depósito mediante el diseño de una Interfaz Humano Máquina que muestre los valores en tiempo real de las condiciones físicas de temperatura, humedad y emisión de gases para la supervisión del depósito.

- Diseñar la estructura física del sistema prototipo que represente un depósito de material explosivo a escala.
- Realizar las pruebas de ensayo y funcionamiento.

Descripción del proyecto:

Este proyecto pretende un sistema de control y monitoreo de temperatura, humedad y emisión de gases, el mismo que se visualizará en una interfaz gráfica que representará un prototipo de depósito de material explosivo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Este proyecto pretende dar a conocer los costos y herramientas necesarias para la implementación a escala real dentro de un polvorín.

CAPÍTULO 2: Diseño del sistema de instrumentación y control

En este capítulo se detalla como se realizará la instrumentación y control del sistema y la interfaz de interacción que permitirá el control del mismo.

CAPÍTULO 3: Implementación a escala del sistema de sensado

En esta sección se detalla la implementación del prototipo a una escala 1:15, la misma que se desarrollará con la implementación de una maqueta.

CAPÍTULO 4: Pruebas y resultados

En este apartado se detallará las pruebas y resultados efectuadas en la ejecución de este proyecto.

CAPÍTULO 5: Conclusiones y recomendaciones

Finalmente, se detallará las conclusiones obtenidas en la ejecución de este proyecto y las recomendaciones que se dan para futuros trabajos.

Capítulo II

Diseño del sistema de instrumentación y control

En este capítulo se mencionará las normas técnicas, parámetros de almacenamiento para las variables físicas (temperatura, humedad y gases), compatibilidad, sistemas de instrumentación y sistema de control para realizar un correcto almacenamiento de explosivos en los polvorines de la Fuerza Aérea.

Fundamentación teórica de los explosivos

Las bodegas se usan para el almacenamiento de material explosivo como: TNT, pólvora, C-4, entre otros. Debido a los años transcurridos desde su fabricación, los explosivos presentan un alto índice de volatilidad por la combinación de estos materiales, lo que podría ocasionar una explosión o incendio con la presencia de alguna fuente iniciadora (UNIÓN ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, 2002).

Estos explosivos presentan inestabilidad principalmente cuando existe presencia de impurezas, humedad, temperaturas y tiempo de vida útil. Estos escenarios se dan cuando existe un almacenamiento inadecuado de los explosivos, por este motivo se deberían mantener las siguientes condiciones de almacenamiento adecuado.

En temperatura de 4°C, la velocidad de descomposición es tan pequeña que los explosivos no se degradan significativamente. Cuando los explosivos están dentro de un polvorín las temperaturas pueden estar hasta 35°C, considerándose temperaturas seguras, pero si exceden ese valor se debe seguir las instrucciones preventivas de explosión (Mayor et al., n.d.).

Los explosivos son muy propensos a absorber la humedad del ambiente y ocasionar un desgaste produciendo lo que se llama exudación y corrosión, lo cual

deteriora los elementos eléctricos y electrónicos de las espoletas y misiles, así como los conjuntos pirotécnicos; es por eso que es importante mantener los depósitos secos y si en caso existiera humedad que no supere el 50 % de humedad relativa (Mayor et al., n.d.) y no sea menor al 30% de la humedad relativa ya que puede ocasionar problemas respiratorios en el personal que manipula los explosivos dentro de los polvorines. (Selecky, 2003).

Los explosivos generan gases por la descomposición, para lo cual se realizará vigilancia constante especialmente si se percibe olor a alcohol-éter (generado por la descomposición de la pólvora negra), o vapores de nitrógeno que generan olor a picante, acre y desagradable (por la descomposición de los explosivos que contienen nitrocelulosa).

Normas para el almacenamiento

Para el almacenamiento se tomará en cuenta las principales normas técnicas que exige el manual de seguridad (KANTAR, 2011) lo cual se clasificará de la siguiente manera: nueve clases de peligro más una categoría no regulada, trece grupos de compatibilidad, cinco grupos de sensibilidad y un número entre paréntesis.

- Clase 1. Representa la característica predominante de peligro de explosión de un elemento, son artefactos explosivos
- Clase 2. Gas comprimido
- Clase 3. Líquido inflamable
- Clase 4.1 Sólido inflamable
- Clase 5.1 Oxidante

- Clase 6.1 Materiales venenosos
- Clase 8 Materiales corrosivos.

Estas clases son asignadas de acuerdo al peligro predominante. Si los materiales se almacenan por separado no se necesita usar la compatibilidad, excepto si lo realizan en un sitio al aire libre.

Divisiones y subdivisiones de clase 1

En la clase 1 están considerados las municiones y explosivos, entre los principales y de mayor uso en el almacenamiento se dividen de la siguiente manera:

- Explosión en masa. - El principal peligro es una detonación en masa a causa de una iniciación pequeña, causando daños severos a objetos adyacentes los materiales que causan este efecto son: cordón detonante, minas antitanques, dinamita, TNT y explosivos de alta potencia.
- Explosión no masiva, producción de fragmentos. – Estos elementos se quemarán y explotarán progresivamente arrojando fragmentos, los materiales que causan este efecto son: munición de tanque, munición de mortero, misiles y armas ligeras antitanque.
- Fuego masivo, explosión menor o fragmento. – Estas explosiones se generan por la ruptura de contenedores a presión que se encuentra principalmente en los motores de misiles, los materiales que causan este efecto son: propulsores 155mm, bengalas, bombas de iluminación, bombas incendiarias.

- Fuego moderado, sin explosión o fragmento significativo. – En esta división los elementos generan un peligro de incendio, los materiales que causan este efecto son: munición de armas de calibre menor.

Todas estas consideraciones son tomadas del manual de almacenamiento y transporte de explosivos (KANTAR, 2011).

Grupos de compatibilidad

Es importante también mencionar los grupos de compatibilidad en el almacenamiento que se detalla a continuación:

- Grupo A.- La mayor parte de explosivos iniciadores sensibles al calor, fricción o percusión se los usa como elementos para confeccionar iniciadores en un tren explosivo.
- Grupo B.- Detonadores y artefactos iniciadores similares que no contienen dos o más mecanismos de seguridad independientes.
- Grupo C.- La mayor parte de propulsores, cargas de propulsión, artefactos que contienen propulsores y munición con explosivo deflagrante.
- Grupo D.- Pólvora negra, altos explosivos (High Explosives) (HE) y municiones que contienen alto explosivo sin su propio medio de iniciación y sin carga propulsora o artefactos que contienen un explosivo iniciador y contienen dos o más características de seguridad independientes. Ejemplos: la mayoría de tipos de trinitrotolueno (TNT), composición B, pólvora negra, RDX o PETN, bombas, proyectiles, unidades de bombas de racimo (Clúster Bomb Units), cargas de profundidad y torpedos.

- Grupo E.- Municiones que contienen alto explosivo sin su propio medio de iniciación y con carga propulsora.
- Grupo F.- Municiones que contienen alto explosivo con su propio medio de iniciación y con carga propulsora.
- Grupo G.- Fuegos artificiales, municiones de iluminación, incendiarias y de humo, incluyendo las de HC o lacrimógenas.
- Grupo H.- Municiones que contienen, explosivos como fósforo blanco (WP) u otros materiales pirotécnicos. Las municiones en este grupo contienen cargadores que son espontáneamente inflamables cuando son expuestos a la atmósfera.
- Grupo J.- Municiones que contienen explosivos y líquidos o geles inflamables, este grupo contiene líquidos o geles inflamables que no son espontáneamente inflamables cuando son expuestos al agua o a la atmósfera.
- Grupo K.- Municiones que contienen explosivos y agentes químicos tóxicos.
- Grupo L.- Municiones no incluidas en otros grupos de compatibilidad. Municiones que tienen características que no permitan almacenar con diferentes municiones.
- Grupo N.- Municiones que contienen únicamente sustancias detonantes extremadamente insensibles.
- Grupo S.- Municiones que no presentan un riesgo significativo.

La doctrina americana ha permitido tomar todas estas precauciones y a la vez motivar a implementar nuevos métodos de control (KANTAR, 2011). En la tabla 1 se muestra los grupos de compatibilidad que usan al momento de almacenar explosivos.

Tabla 1.*Compatibilidad de almacenamiento (KANTAR, 2020)*

GRUPO	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	N	S
A	X	Z											
B	Z	X	Z	Z	Z	Z	Z					X	X
C		Z	X	X	X	Z	Z					X	X
D		Z	X	X	X	Z	Z					X	X
E		Z	X	X	X	Z	Z					X	X
F		Z	Z	Z	Z	X	Z					Z	X
G		Z	Z	Z	Z	Z	X					Z	X
H								X					X
J									X				X
K										Z			
L											*		
N		X	X	X	X	Z	Z					X	X
S		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X

Nota: En la tabla se muestra la compatibilidad para el almacenamiento de explosivos.

Clasificación de nivel de riesgo

En la tabla 2, se explica los rangos de las variables (temperatura, humedad y gases), y su respectiva clasificación de acuerdo al riesgo que representa. Además se presenta la acción a tomarse de acuerdo al nivel de riesgo. Los niveles de riesgo actualmente no están normados, sin embargo se ha considera estos niveles de riesgo de acuerdo a la normativa técnica para el almacenamiento.

Tabla 2.*Clasificación de nivel de riesgos*

Clasificación Nivel de Riesgos						
Temperatura	Humedad Relativa	Gases	Clasificación de riesgo	Nivel	Acción frente al riesgo	
4 °C a 22 °C	30 % a 50 %	Presencia mínima	Aceptable	1	Puede omitirse la corrección.	la
22 °C a 35 °C	Menor a 30 %	Presencia moderada	Posible	2	No es emergencia pero debe ser corregido el riesgo.	el
mayor a 35 °C	Mayor a 50 %	Presencia moderada	Notable	3	Corrección urgente.	necesaria

Nota: En la tabla se presenta los niveles de riesgo de acuerdo a la condición de almacenamiento.

De acuerdo al manual para almacenamiento de explosivos (KANTAR, 2011) se ha adoptado una escala de riesgo donde el nivel 1 corresponde a una clasificación de riesgo aceptable, en este nivel se puede omitir cualquier tipo de acción o corrección en el almacenamiento de explosivos. El nivel 2 corresponde a una clasificación de riesgo posible, en la cual no se considera emergencia, pero debe ser corregido el riesgo. El nivel 3 pertenece a una clasificación de riesgo notable, por lo tanto, es necesario una corrección urgente.

Es importante mencionar que por motivos de seguridad en la manipulación de explosivos el parámetro máximo a considerar en un riesgo notable (nivel 3), es el valor

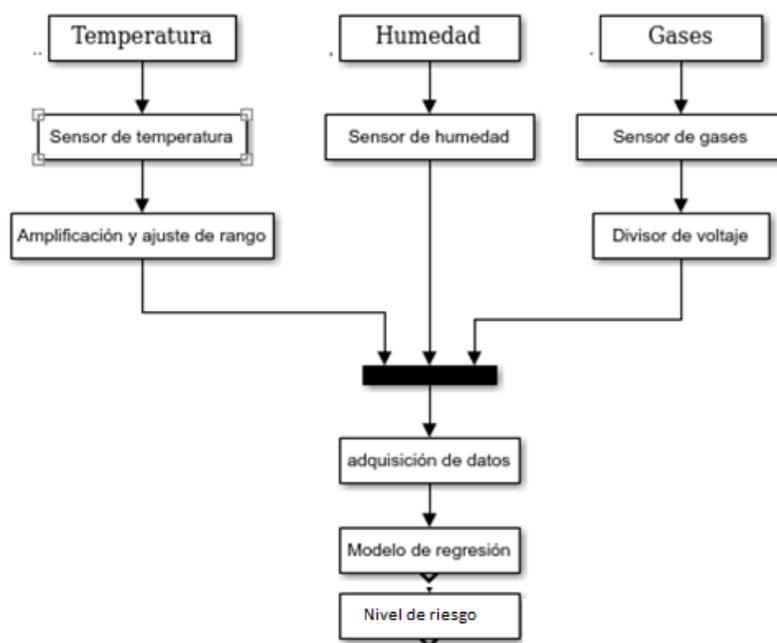
límite para mantener un almacenamiento seguro, considerando que al momento de llegar a estos límites se realizará un control en el sistema para regresar a un nivel aceptable (Nivel 1).

Diseño del sistema de instrumentación

El sistema de instrumentación está compuesto por la medición de tres variables físicas: temperatura, humedad y gases con su respectivo acondicionamiento. Estas variables son adquiridas mediante una tarjeta arduino la misma que mantiene una comunicación con el software Labview, en el cual se integró el modelo de regresión, cuyas salidas serán los niveles de riesgo. Estas salidas se mostrarán en un HMI para que el operario pueda monitorizar, como se muestra en la figura 1.

Figura 1.

Sistema de instrumentación



Nota: En la figura se puede observar la instrumentación general de las variables físicas.

Selección hardware

Con la finalidad de realizar una simulación de un prototipo de polvorín y en busca de simplificar el mismo, se pueden utilizar sensores digitales y analógicos cuyas variables están entre 0 VDC y 5 VDC, con alimentación entre 0 VDC y 5 VDC. Con estos requerimientos se selecciona la tarjeta de adquisición de datos basados en la tabla 3.

Tabla 3.

Tabla comparativa ARDUINO MEGA - NI myDAQ - RASBERRY Pi3 (Luis & Legarda, 2010)

Requerimientos prototipo	ARDUINO MEGA	NI myDAQ	RASPBERRY Pi3
Entradas analógicas	Si	Si	No
Entradas digitales	Si	Si	Si
Comunicación labview	Si	Si	Si
Voltaje de alimentación	5VDC	5VDC	5VDC
Costo	20 USD	150 USD	70 USD

Nota: En la tabla se muestra los requerimientos necesarios para la selección de la tarjeta de selección de datos.

Con el análisis realizado en la tabla 3, se toma como mejor opción el ARDUINO MEGA debido a su bajo costo y la disponibilidad de entradas y salidas analógicas, además no necesita un sistema operativo externo para su funcionamiento. Sin embargo es necesario aclarar que para la implementación real se debe analizar usar otro tipo de tarjeta de adquisición.

Selección de los sensores

En la elaboración de este prototipo se trabaja con tres variables: temperatura, humedad, y gases. Para lo cual se explicará a continuación los criterios para la selección de cada uno de los sensores.

Temperatura

Tomando como primera variable la temperatura se presenta en la tabla 4, la comparación entre diversos sensores en el mercado:

Tabla 4.

Tabla comparativa de sensores de temperatura

Parámetro	LM35	PT100
Alimentación	4-20 VDC	5VDC
Salida	Analógica	Analogica
Rango	0-100 °C	-25-250 °C
Sensibilidad	10 mV	0.0045ohm/°C
Precisión	0.3-0 °C	0.3-0 °C
Tiempo de respuesta	10ms	100ms
Costo	3 USD	120 USD

Nota: En la tabla se puede identificar las características de sod tipos de sensores de temperatura.

Como se observa en la tabla 4, se puede ver que existen varias características similares entre un LM35 y un PT100, pero la característica preponderante para escoger el sensor LM35 es por su bajo costo, y al presentar las características necesarias para trabajar en el prototipo se ha elegido este sensor.

Humedad

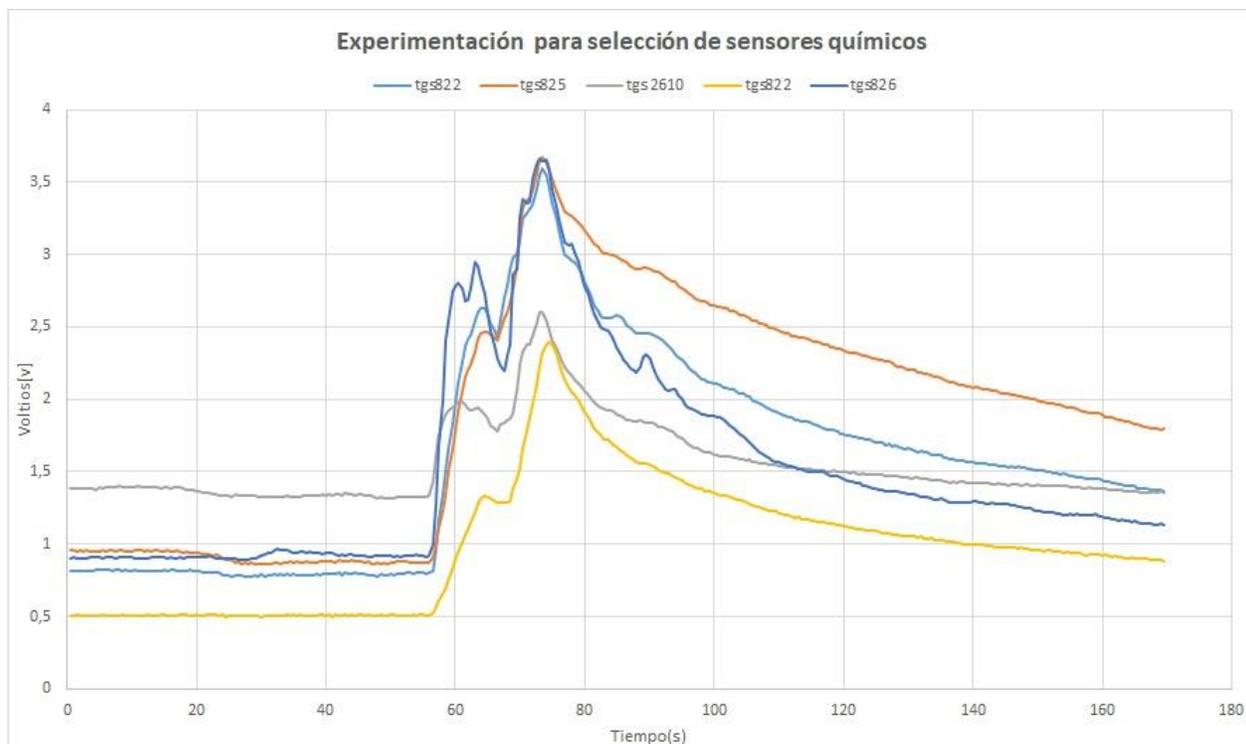
El sensor DH11 se utiliza para medir la humedad debido a que posee un rango de medición del 20% al 90% RH, con una precisión de 5% RH, la instrumentación que posee, la factibilidad de conectarse con arduino y su bajo tiempo de respuesta. Son las principales características por las que se ha elegido este sensor.

Gases

Para la selección de sensores químicos se tomó como referencia el trabajo de titulación (Jácome, 2018), para lo cual se realizará pruebas con la placa PCB operativa en la cámara de gases. En esta cámara de sensado de explosivos de TNT, cordón detonante, mecha lenta y pólvora en base doble; se usaban los sensores TGS825 y TGS826. Para este trabajo se realizó pruebas experimentales para determinar su respuesta y seleccionar el hardware con mejor respuesta y un diseño más simple.

Figura 2.

Prueba de selección de sensores



Nota: Recuperado de (Jácome, 2018)

Se realizó una investigación experimental basada en la observación de los resultados generados en la figura 2, con esto se determinó que los sensores TGS825 y TGS826 presentan mayor sensibilidad de reacción a gases emanados por los materiales explosivos.

En referencia los datos técnicos de los sensores químicos, TGS825 (Figaro Engineering Inc, 2004), TGS826 (Figaro Engineering Inc, 2014), TGS822 (Figaro Engineering Inc, 2015) y TGS2610 (Information, n.d.). Se determina que las mejores resistencias son las de los sensores TGS825 y TGS826, debido a que actúan a 50 ppm

correspondientemente y que el sensor TGS826 detecta amonio, hidrógeno y etanol, lo cual permite tener una mayor capacidad de detección de gases.

- a. En base a la investigación no experimental y en referencia a los datasheet's de los sensores químicos se utilizarán los sensores TGS825 y TGS826 en la etapa prototipo, y en la etapa real se utilizará sensores industriales tipo electroquímico. Se realizan las tomas de datos con sus respectivas repeticiones y se analizan los valores de tiempo de establecimiento y amplitud de los sensores químicos TGS-825 y TGS-826. Para lo cual se ejecuta los siguientes procedimientos en el software MATLAB:

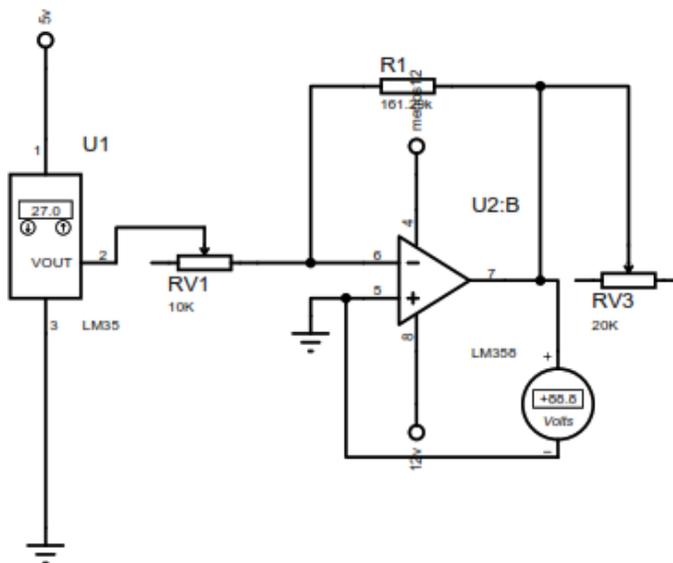
Ajuste de lectura , amplificación y linealización de los sensores

Dados que los sensores LM35 y TGS825 y TGS826 necesitan tener instrumentación para poder adquiridos por la tarjeta de control se plantea la siguiente solución:

LM35 Temperatura

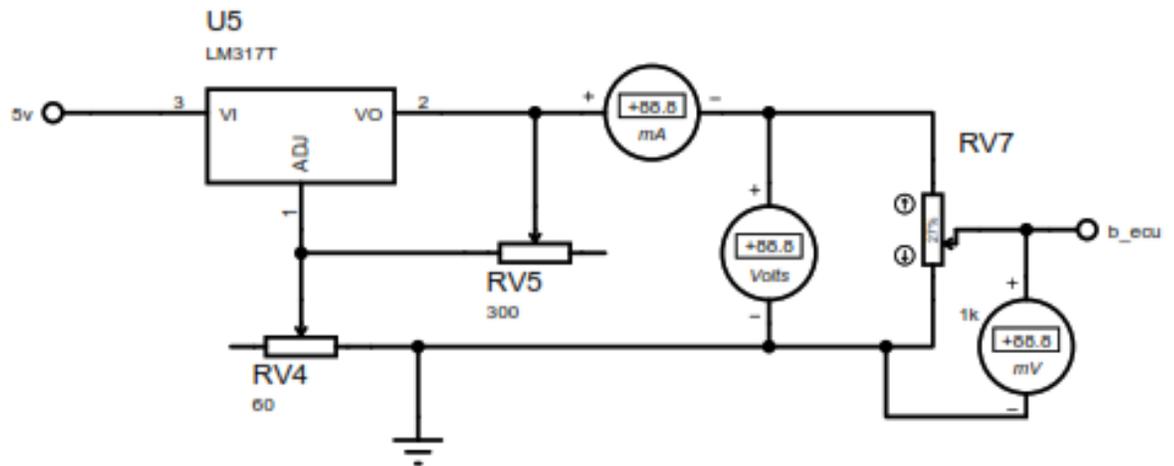
Para determinar la temperatura se requiere una amplificación y ajuste de rangos, con el fin de evitar problemas de ruidos eléctricos;

La señal que proviene del sensor LM35 se amplifica 161 veces por medio del amplificador operacional LM358, como se muestra en la figura 3.

Figura 3.*Etapa de pre-amplificación*

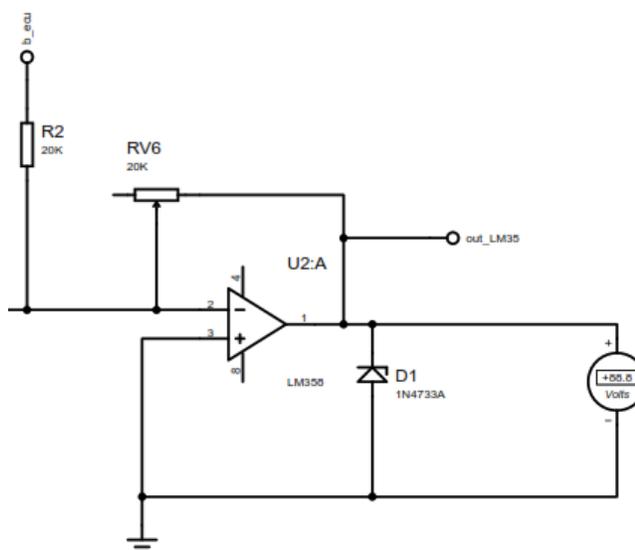
Nota: Recuperado de (Jácome, 2018)

Se puede observar en la figura 4, una vez obtenida la señal amplificada se debe realizar un sumador de voltaje para estar entre los rangos establecidos de medición, para lo cual se realizará el offset con el LM317T (LM317T, n.d.), que hará el trabajo de un regulador de tensión ajustable y permite la protección contra sobrecalentamiento en la placa.

Figura 4.*Diseño del Offset*

Nota: Recuperado de (Jácome, 2018)

Una vez obtenida la señal pre-amplificada y el Offset, se realiza un sumador de voltaje con el amplificador operacional LM358, obteniendo la conversión de los valores de temperatura en un rango 4 °C a 35 °C, teniendo como valores de voltaje de 0 V a 5 V, para la linealización del sensor y su posterior lectura por parte de la tarjeta de control. Además, en la figura 5 se pueden identificar que para la protección de la placa de adquisición de datos (Arduino), utilizamos el diodo Zener 1N4733A, para la sobretensión de voltaje.

Figura 5.*Etapa de adición del Offset**Nota:* Recuperado de (Jácome, 2018)**TGS825 y TGS826**

Para la calibración de los sensores químicos que están en el prototipo se debe considerar la potencia total consumida de los mismos, de esta manera no se generará un cambio de temperatura en el lugar de almacenamiento. Para lo cual se considera las especificaciones técnicas del fabricante (Figaro Engineering Inc, 2004) y (Figaro Engineering Inc, 2014), las cuales se mostrarán en la tabla 8.

Tabla 5.*Potencia de los sensores químicos*

Ord.	Modelo	Potencia mW
1	TGS-825	660 mW
2	TGS-826	833 mW
Potencia total		1493 mW

La alimentación adecuada se debe calcular mediante la corriente y la potencia de los sensores químicos.

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1493}{5} = 0,298 [A]$$

Con este valor 0,298 [A] permite concluir que la corriente administrada al sistema de los sensores químicos debe ser aproximada a 0,3 [A] o mayor.

Para las características de sensibilidad que fueron proporcionados por los datasheet y con la respuesta de voltaje, se determinó los valores de la resistencia R_L , como se muestra en la siguiente tabla 6.

Tabla 6.

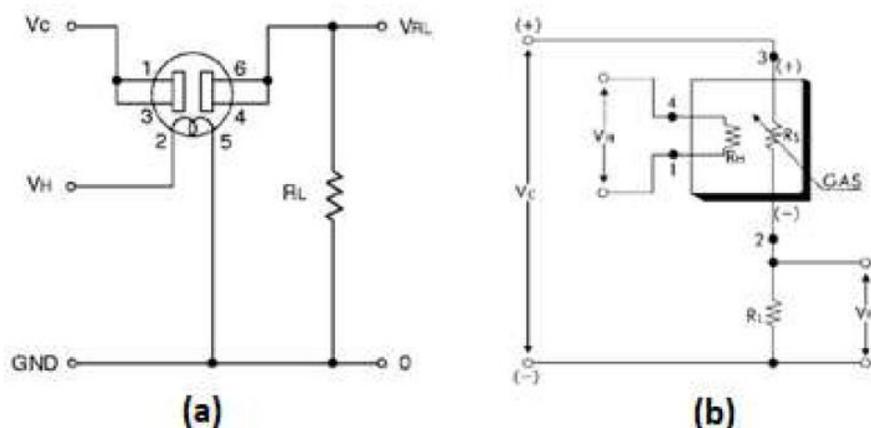
Características técnicas de los sensores químicos

Ord.	Modelo	Voltaje de Heather V_H	Voltaje de acondicionamiento V_C	Resistencia de carga R_L
1	TGS-825	5 [V]	5 [V]	9,33 [kΩ]
2	TGS-826	5 [V]	5 [V]	8 [kΩ]

La adquisición de las señales se realiza en la lectura de la tarjeta de control, y es por programación que se hace el reajusto de los sensores antes posibles perturbaciones sin embargo las resistencias de carga deben de estar conectadas a los sensores como se aprecia en la siguiente figura 6.

Figura 6.

Conexión de sensores de gas



Nota: Recuperado de (Jácome, 2018)

El esquema general de toda la conexión del sistema de instrumentación se muestra en el Anexo 8.

Filtrado de la señal de los sensores de gases

Para el análisis de la señal es necesario disminuir ruido que podrían haber alterado las características de la respuesta de los sensores químicos. Al pasar esta señal por el convertidor análogo-digital de la tarjeta Arduino Mega, también se amplifica el ruido para lo cual se utiliza un filtro digital cuya función es discriminar rangos de frecuencias. Para lo cual se utilizó un filtro de suavizado de la señal para evitar detectar picos pequeños y altos que se confundan con los componentes de las señales. El algoritmo empleado para este efecto es el filtro Savitzky-Golay (Luo et al., 2005), que realiza su función mediante polinomios que se aplican a los datos, para ello se debe tener en cuenta los coeficientes del polinomio. Para este trabajo se utilizó el filtro (SG) con el siguiente polinomio:

$$y_i = a_0 + a_1 \left(\frac{x - x_i}{\Delta x} \right) + a_2 \left(\frac{x - x_i}{\Delta x} \right)^2 + a_3 \left(\frac{x - x_i}{\Delta x} \right)^3$$

donde

a_i : Coeficientes del polinomio

x_i : Representa el punto donde se filtrará

Δx : Representa el espaciamiento para cada punto

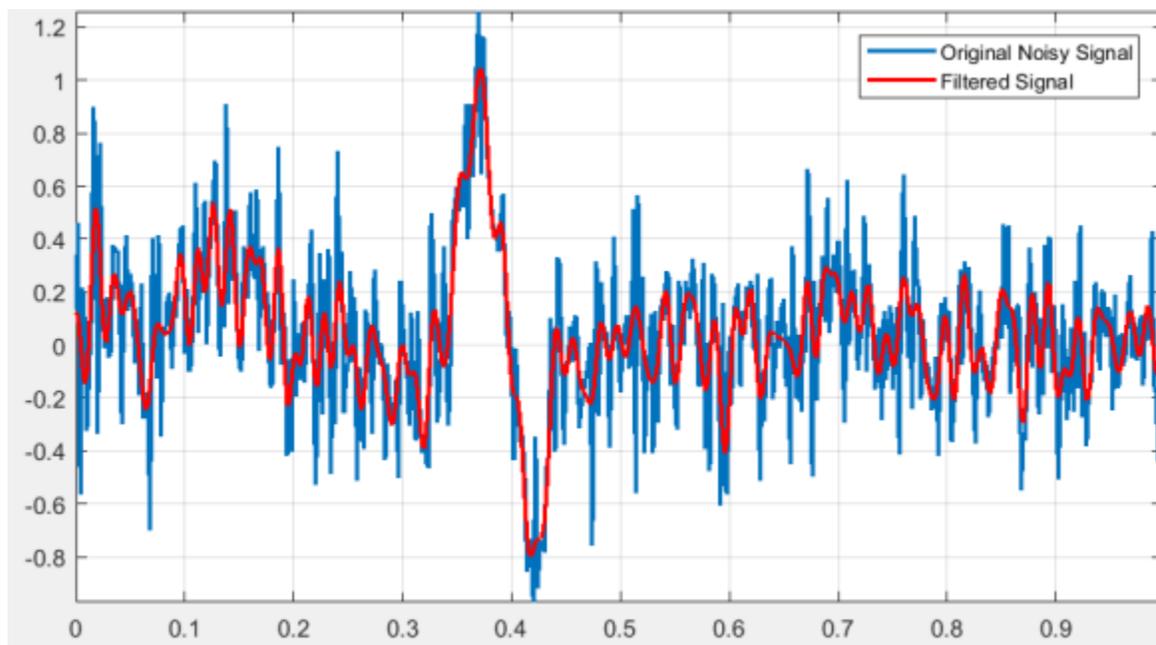
Este polinomio en forma general se le puede establecer de la siguiente manera:

$$p_i(x) = \sum_{i=0}^{Order} a_i \left(\frac{x - x_i}{\Delta x} \right)^i$$

Utilizando la función de Matlab `sgolayfilt(x,order,framelen)` donde x es el vector de datos, `order` es el orden que debe ser menor al número de datos de `framelen` y `framelen` es la longitud de fotograma o de espaciamiento entre los puntos. Para lo cual se toma los siguientes valores: `Order=3` y `Framelen=15`. Obteniendo como resultado la filtración de la figura 7.

Figura 7.

Filtración de la señal de sensores químicos



Modelo de Calibración - Regresión por mínimos cuadrados Parciales (PLS)

Regresión

La regresión de mínimos cuadrados identifica la relación que se desarrolla entre matrices donde X es la respuesta de los sensores y Y son los niveles de riesgo. Se usa esta técnica como reajuste de los datos que se presentan con la finalidad de mitigar el efecto de multicolinealidad en la estimación de los parámetros de la regresión y así no tener inestabilidad en el desarrollo de los modelos. De acuerdo a (Valuados & Gaviria Peña, 2016).

La multicolinealidad se desarrolla al presentar gran cantidad de variables, y lo que se intenta hacer es reducir dichas variables al linealizarlas por esto se desarrolla el método de componentes principales o PCR. (Valuados & Gaviria Peña, 2016).

Se podría utilizar la metodología PCR (regresión por componentes principales) donde se analiza las componentes principales para utilizarlas como variables explicativas de la matriz de respuesta Y. El problema surge debido a que no existe garantías que las componentes analizadas en X den como resultados a la matriz Y.

La regresión PLS (regresión por mínimos cuadrados) soluciona la multicolinealidad en los casos donde el número de entradas es distinto al número de salidas, ya que soluciona este inconveniente en este tipo de modelos.

Construcción del modelo

Se basa en las propiedades del algoritmo NIPALS, en donde se considera como una consistencia de relación externa entre las matrices X e Y individuales y una relación interna uniendo ambas matrices.

La relación externa para la matriz X:

$$X = TP' + E = \sum t_h p'_h + E$$

T: Matriz de puntuación X: $((n) \times (a))$

P': Matriz de carga X: $((a) \times (m))$

E: Valor residual

t_h : Columna del vector de la matriz de puntuación X: $((n) \times (1))$

p'_h : Fila del vector de la matriz de carga de X: $((1) \times (m))$

Relación externa para la matriz Y:

$$Y = UQ' + F^* = \sum u_h q'_h + F^*$$

U: Matriz de puntuación en Y: $((n) \times (a))$

Q': Matriz de carga en Y: $((a) \times (p))$

F^* : Residual de Y

u_h : Columna del vector de la matriz de puntuación Y: $((n) \times (1))$

q'_h : Fila del vector de la matriz de carga de Y: $((1) \times (p))$

Determinación de nivel de riesgo

En la figura. 8, se puede observar como actúa la regresión frente a las variables independientes (matriz X), dando como respuesta la señal modulada en color azul. Mediante esta gráfica se puede definir los rangos de cada nivel de aceptación. Debido a que el coeficiente de regresión que se obtiene del plsregress, devuelve una matriz $(p + 1)$, no se puede multiplicar directamente con la matriz independiente, para lo cual se analiza el BETA y se vuelve a realizar la modelación con la siguiente fórmula.

$$Y_{fittrain} = TrainData * Beta$$

Figura 8.

Salida del nivel riesgo

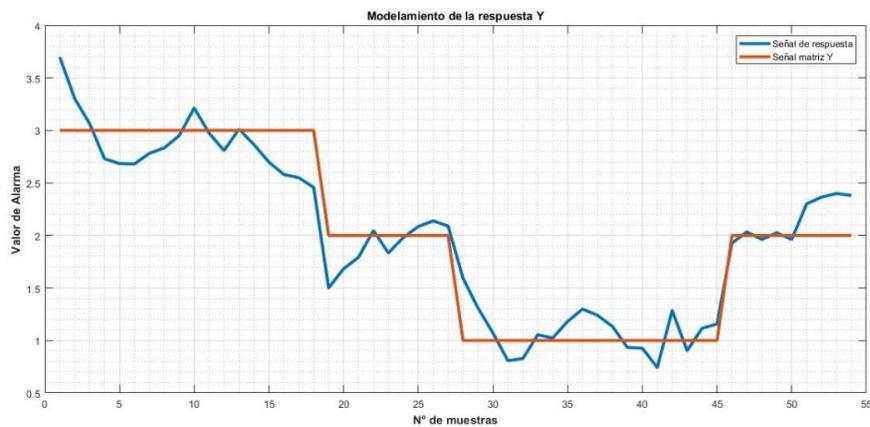
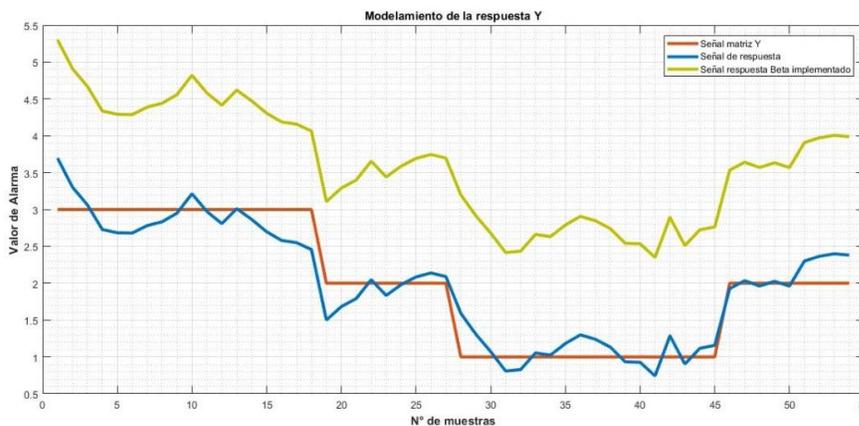


Figura 9.

Modelamiento señal dependiente sin programa



Mediante la figura 9., se definirá los rangos de operación de los niveles de alarma. Estos se definirán en la tabla 7, de acuerdo al nivel que presente el prototipo de polvorín será el riesgo que se debe controlar.

Tabla 7.

Rango de aceptación de alarmas

ALARMAS	RANGOS
Nivel 1	0 a 3,1
Nivel 2	3,1 a 4,1
Nivel 3	4,1 a 5,3

Diseño del sistema de control basado en reglas de decisión

La implementación de un control digital facilita el desarrollo de algoritmos, estrategias de decisión, al igual que brinda mayor precisión al momento de realizar operaciones dentro de los diversos sistemas.

El diseño de un controlador se basa en su robustez y eficacia, al utilizar un control digital se tiene mayor facilidad en momento de aplicar estrategias y corregir errores por ende se mitigan las posibles perturbaciones que se presenten en el sistema es por esto que se trabajó con el desarrollo de un control digital, en el siguiente apartado se explica las consideraciones que se tomaron en cuenta.

El control por reglas de decisión está basado en la implementación de conjuntos difusos, que permitan modelar las ambigüedades presentadas en los sistemas; al colocar una lógica difusa con toma de decisiones se desea efectuar un control de rapidez, capaz de responder a las perturbaciones que el sistema pueda presentar, (*Control Por Reglas de Decisión*, n.d.), al desarrollar un control para temperatura y humedad dentro de un polvorín se prioriza la respuesta del mismo ante perturbaciones, ya que su precisión debe ser lo más exacta posible antes de posibles accidentes, es así que tomando en cuenta todos estos antecedentes se plantea la implementación de un control basado en reglas de decisión. Como se muestra en la figura 10 y 11.

Figura 10.

Modelo de la planta del depósito para el almacenamiento de explosivos

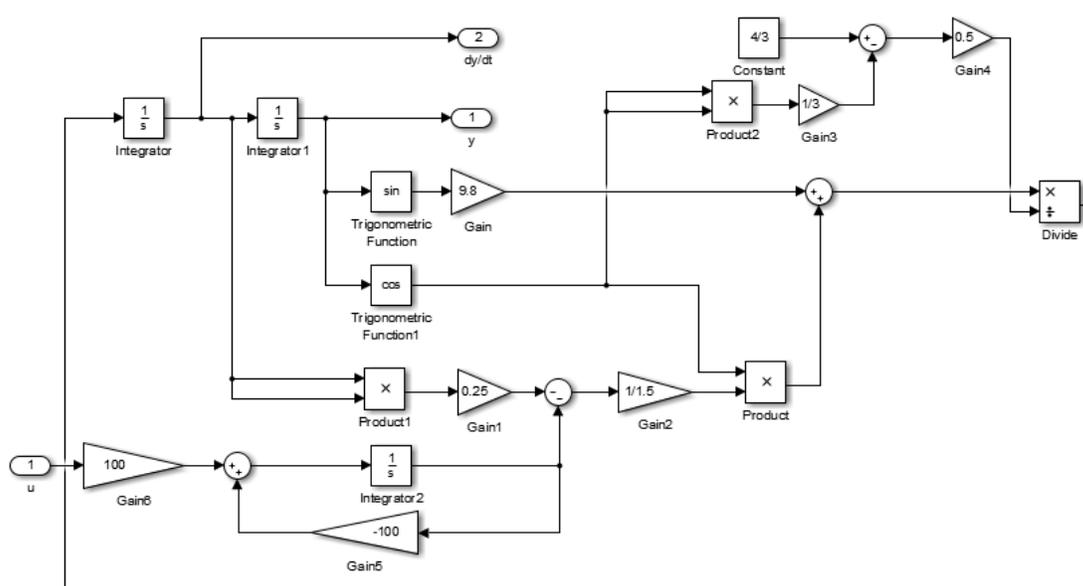
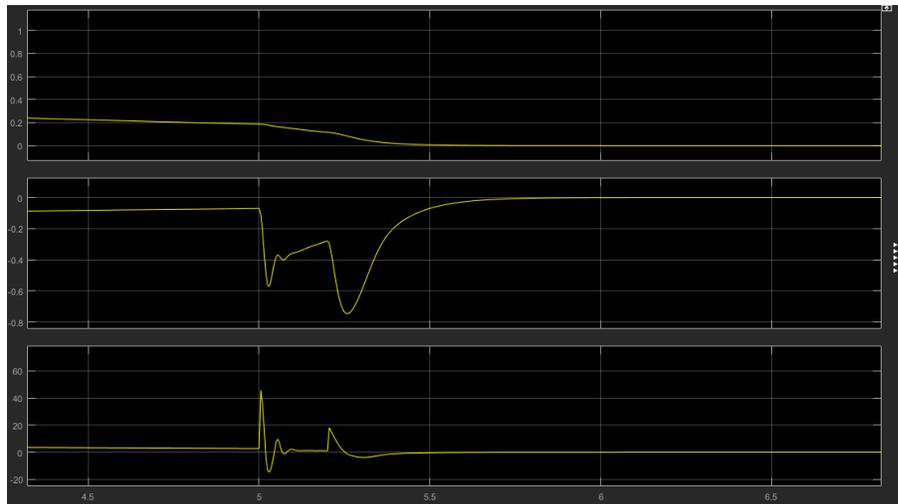


Figura 12.

Sistema sin realizar el control

**Figura 13.**

Resultados del controlador para las variables de temperatura, humedad y otros gases

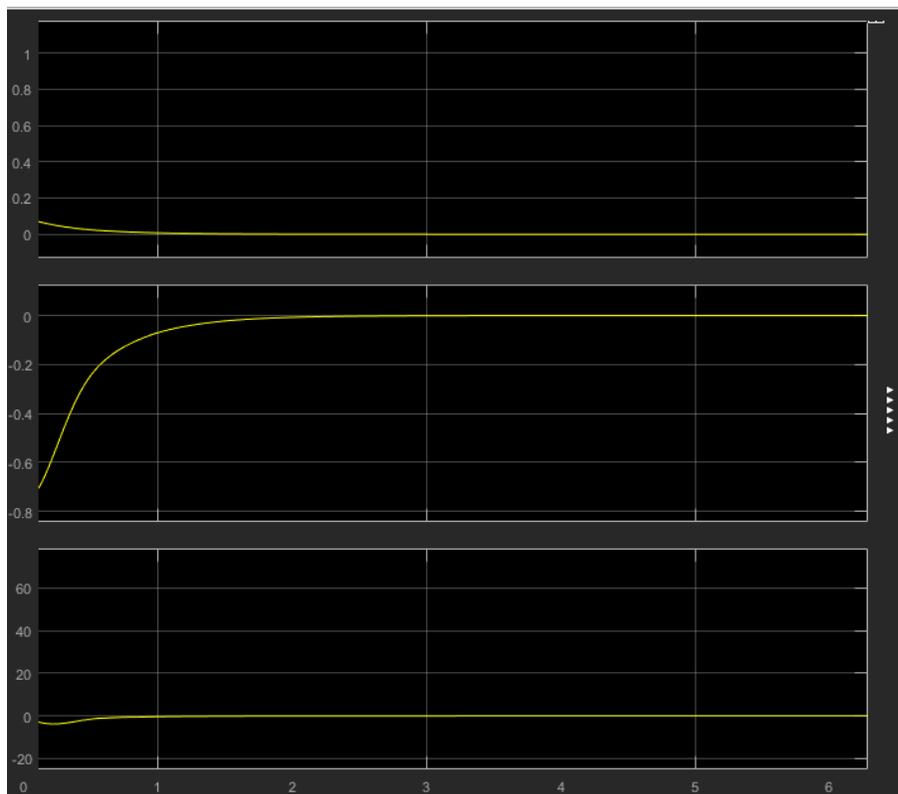
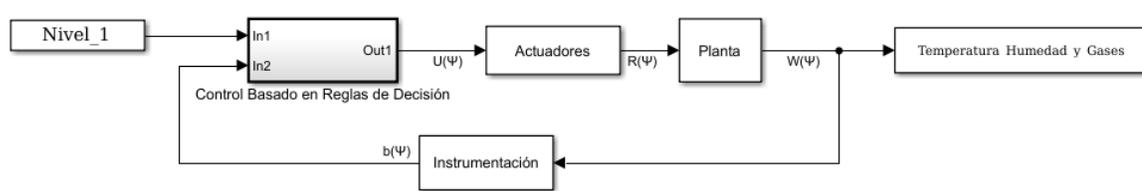


Diagrama del control basado en reglas de decisión

Figura 14.

Diagrama del sistema de control



En la figura 14, se determina el setpoint para mantener las condiciones de almacenamiento aceptables dependiendo a la tabla de nivel de peligrosidad es el nivel 1 o condición(aceptable) como muestra en la tabla 8. En el control basado en reglas de decisión se realiza la comparación del nivel requeridos con el nivel de riesgo calculado por la instrumentación para posterior proceder a enviar la señal de activación a los actuadores, de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 8.

Reglas de decisión para actuadores

Nivel	Acciones a realizar	Activación de actuadores			
		Ventilación (Ventilador)	Puertas (Servomotor)	Damper (Servomotor)	Refrigeración (placa peltier)
Primer nivel	No se requiere activar (se encuentra en condiciones aceptables)	OFF	OFF	OFF	OFF

Segundo nivel	Se requiere activar dispositivos que realicen aumento de la humedad relativa, la disminución de la temperatura y la disminución de la presencia moderada de gases (se encuentra en condiciones posibles).	ON	OFF	ON	OFF
Tercer nivel	Se requiere activar dispositivos que realicen disminución de la humedad relativa, disminución de la temperatura y la disminución de la presencia moderada de gases (se encuentra en condiciones notables).	ON	ON	ON	ON

Para el modelamiento del control basado en reglas de decisión se realizará la adquisición de datos en diferentes condiciones para poder establecer todos los rangos de operación del lugar de almacenamiento.

Con la placa de adquisición de datos ARDUINO MEGA, se realizó la toma de los valores de temperatura, humedad y gases; en intervalos de 45 [ms] aproximadamente. Para los gases, debido a que los sensores químicos entra en un estado de saturación el intervalo se divide en dos partes, 15 [ms] para sensado y 30 [ms] para ventilación de la

cámara de gases, además estas señales analógicas es recogida en el conversor análogo-digital del Arduino Mega, luego se procede a transformar en la escala de (0-5)[v] para poder ser recogida y estudiada en el ordenador. En la temperatura y humedad se toma un valor cada 45 [ms], debido a que su estado de transición es lento.

Este proceso se lo realizará en 15 tomas de valores, con 3 repeticiones aleatorias de cada una, de tal manera que se pueda permanecer en los diferentes niveles de humedad, temperatura y gases. El procedimiento es el siguiente:

- b. Se determina el nivel en el cual se va a tomar los datos, de acuerdo a la tabla 9.

Tabla 9.

Combinación de niveles para toma de datos

Ord.	Temperatura	Humedad	Gases
1	máxima	máxima	mínima
2	máxima	mínima	mínima
3	máxima	mínima	media
4	máxima	mínima	máxima
5	media	máxima	media
6	media	máxima	máxima
7	media	media	mínima
8	media	media	media
9	media	media	máxima

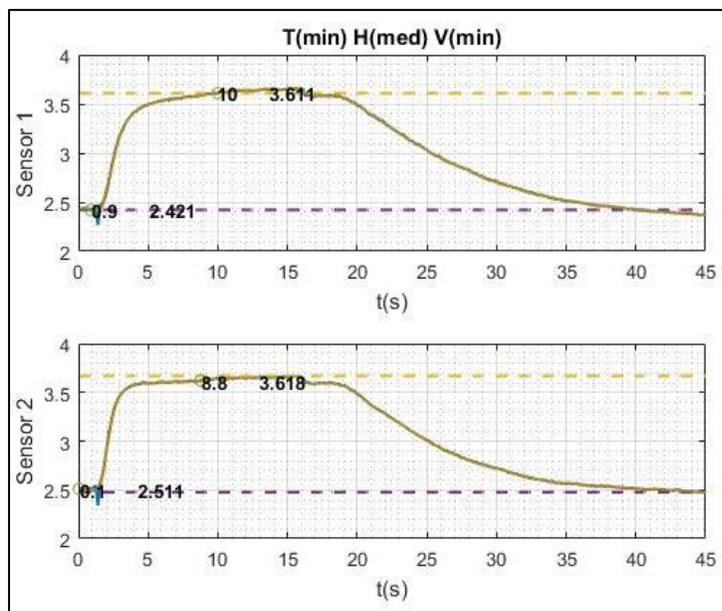
10	mínima	mínima	mínima
11	mínima	mínima	media
12	mínima	mínima	máxima
13	media	mínima	mínima
14	media	mínima	media
15	media	mínima	máxima

c. Se realizan las tomas de datos con sus respectivas repeticiones y se analizan los valores de tiempo de establecimiento y amplitud de los sensores químicos TGS-825 y TGS-826. Para lo cual se ejecuta los siguientes procedimientos en el software MATLAB:

- Identificación de la posición en vector gases, de los valores mínimos y máximos mediante el software Matlab. Se busca el pico alto y bajo de la señal mediante el comando find para poder analizar la amplitud de la señal.
- Mediante el pico alto encontrado y amplitud de la señal se analiza el tiempo de establecimiento de la señal
- En la figura 15, se realiza las operaciones en los vectores de tiempo y amplitud respectivamente.

Figura 15.

Vectores de tiempo y amplitud



- d. Mediante análisis con respecto a las órdenes técnicas definimos los niveles de alarma de cada toma de dato. VER ANEXO 1.
- e. Mediante una regresión de mínimos cuadrados parciales (plsregress), con el software MATLAB encontramos la relación fundamental entre: los valores tomados de temperatura, humedad, el tiempo de establecimiento de los gases y la amplitud de los mismos; con los niveles de alarma establecidos anteriormente.

Realiza la Regresión de mínimos cuadrados parciales donde PCTVAR contiene el porcentaje de varianza explicado por el modelo, y BETA contiene la matriz predictora.

Capítulo III

Implementación a escala del sistema de sensado

En este capítulo se tratará sobre la implementación de la maqueta basado en un polvorín tipo arco oval como muestra la figura 16, a escala 1:15, de acuerdo a modelos americanos que se encuentran diseñados en los depósitos de municiones y explosivos. Dependiendo de las especificaciones técnicas que se mencionan en los boletines, se considerará el uso de los actuadores acorde al tamaño del prototipo. Para el sensado de las variables: temperatura, humedad y gases, se tomará en consideración las condiciones ambientales del lugar de almacenamiento. El HMI se lo realizará en el software LABVIEW (*LabVIEW - NI*, n.d.), debido a que maneja un lenguaje de programación visual gráfico amigable con el usuario, además que es compatible con el software arduino, el mismo que se utiliza la tarjeta de adquisición de datos arduino mega.

Características del prototipo

Escala prototipo 1:15

Figura 16.

Polvorín tipo arco oval



Cálculo del volumen de la parte oval

$$A_{\frac{1}{2}eclipse} = \frac{1}{2} * \pi * r_1 * r_2$$

$$A_{\frac{1}{2}eclipse} = \frac{1}{2} * \pi * 1,6m * 3,9m = 9,801769 m^2$$

$$V_{control \frac{1}{2}eclipse} = L * A$$

$$V_{control \frac{1}{2}eclipse} = 28m * 19,6035m^2 = 274,4495 m^3$$

Cálculo del volumen de la parte en forma de prisma

Largo: $L = 28 m$

Ancho: $A = 7,8 m$

Altura: $H = 2,6433 m$

$$V_{control prisma} = L * A * H$$

$$V_{control prisma} = 28 m * 7,8 m * 2,6433 m = 577,29672 m^3$$

Cálculo del volumen total

$$V_{control\ total} = V_{control\ \frac{1}{2}eclipse} + V_{control\ prisma}$$

$$V_{control\ total} = 274,4495\ m^3 + 577,29672\ m^3$$

$$V_{control\ total} = 851,7463\ m^3$$

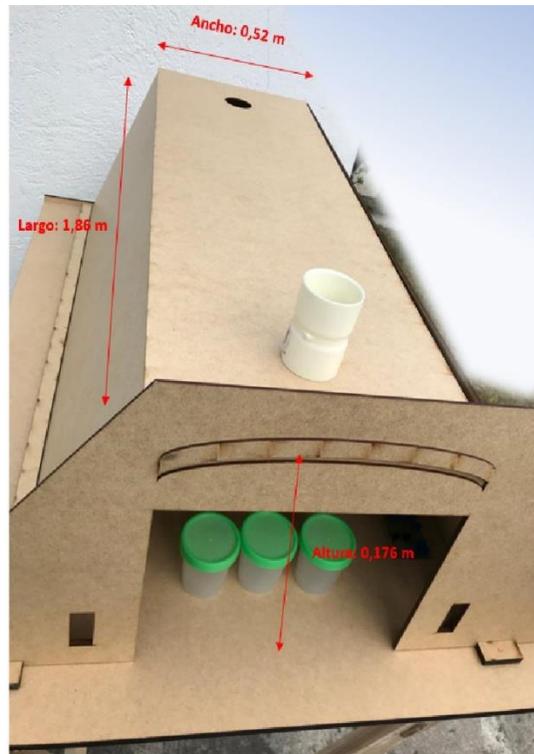
Según la normativa INEN 2216:2013 (2216:2013 & Uso, n.d.) en el numeral 4.18 acerca de las disposiciones específicas de almacenamiento, nos comenta que no se debe permitir almacenamiento de explosivos que superen el 70% de la capacidad del polvorín.

Debido a que el volumen del eclipse es una barrera de protección, para el almacenamiento solo se considerará el volumen de la parte en forma de prisma, como se observa en la figura 17.

$$V_{maximo\ de\ almacenamiento} = V_{control\ prisma} * 70\%$$

$$V_{maximo\ de\ almacenamiento} = 577,3\ m^3 * 70\% = 404,11\ m^3$$

Cálculo del volumen escalado de la parte en forma de prisma:

Figura 17.*Maqueta polvorín*

Largo: $L_{1:15} = 28 \text{ m}/15$

$$L_{1:15} = 1,866 \text{ m}$$

Ancho: $A_{1:15} = 7,8 \text{ m}/15$

$$A_{1:15} = 0,52 \text{ m}$$

Altura: $H_{1:15} = 2,6433 \text{ m}/15$

$$H_{1:15} = 0,176 \text{ m}$$

$$V_{\text{control prisma ESCALADO}} = L_{1:15} * A_{1:15} * H_{1:15}$$

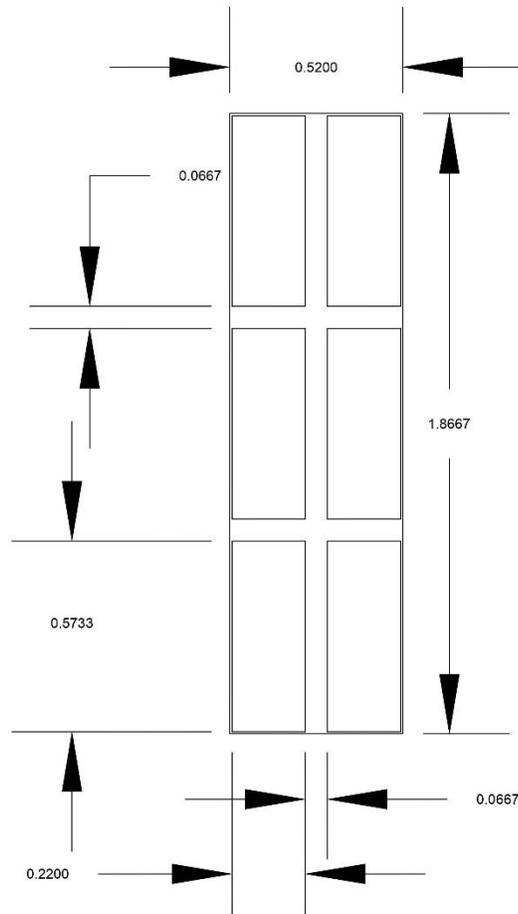
$$V_{\text{control prisma ESCALADO}} = 1,866 \text{ m} * 0,52 \text{ m} * 0,176 \text{ m} = 0,171 \text{ m}^3$$

Se procede a multiplicar el volumen por el 70% de capacidad permitida de almacenamiento por la normativa INEN

$$V_{\text{maximo de almacenamiento}_{1:15}} = V_{\text{control prisma ESCALADO}} * 70\%$$

$$V_{\text{maximo de almacenamiento}_{1:15}} = 0,171 \text{ m}^3 * 70\% = 0,1197 \text{ m}^3$$

Para almacenamiento las cajas de explosivos deben estar apiladas máximo hasta una altura de 1,6 m se realiza los cálculos para definir en 3 rangos las mediciones del volumen de los explosivos. Además, en la figura 18 se observa que debe existir una separación de 0,1 metro de separación entre las paredes y los explosivos apilados. Por lo tanto, para calcular el máximo volumen de explosivos que se va a utilizar para las pruebas son los siguientes:

Figura 18.*Orden de apilamiento*

Calculo de cada apilamiento:

Altura en 1,6.m: $H_{1,6:15} = 1,6 \text{ m}/15$

$$H_{\frac{1,6}{15}} = 0,10667 \text{ m}$$

Largo: $L_{1,6} = (28 \text{ m} - 2\text{m} - 0,2\text{m})/3$

$$L_{1,6} = 8,6 \text{ m}$$

Ancho: $A_{1,6} = (7,8 \text{ m} - 0,2\text{m} - 1\text{m})/2$

$$A_{1,6} = 3,3 \text{ m}$$

Escalamiento de la medición:

$$L_{\frac{1:6}{15}} = \frac{8,6 \text{ m}}{15} = 0,5733 \text{ m}$$

$$A_{\frac{1:6}{15}} = \frac{3,3 \text{ m}}{15} = 0,22 \text{ m}$$

Volumen:

$$V_{\frac{1:6}{15}} = L_{\frac{1:6}{15}} \times A_{\frac{1:6}{15}} \times H_{\frac{1:6}{15}}$$

$$V_{\frac{1:6}{15}} = 0,5733 \text{ m} \times 0,22 \text{ m} \times 0,10667 \text{ m}$$

$$V_{\frac{1:6}{15}} = 0,01345 \text{ m}^3$$

Capacidad Permitida:

$$V_{\frac{1:6}{15}} = 0,01345 \text{ m}^3 * 70\% = 0,00941 \text{ m}^3 = 9410 \text{ cm}^3$$

Para tomar el máximo volumen vamos a tomar 4 apilamientos con mezcla de explosivos entre pólvora, cordón detonante, pentolita y TNT. El volumen medio se toma la mitad del máximo número de apilamientos, es decir 2 apilamientos y el mínimo volumen es de un apilamiento.

$$\text{Máximo: } V_{Max} = 9410 \text{ cm}^3 \times 4 = 37640 \text{ cm}^3$$

$$\text{Medio: } V_{Med} = 9410 \text{ cm}^3 \times 2 = 18820 \text{ cm}^3$$

$$\text{Mínimo: } V_{Min} = 9410 \text{ cm}^3$$

Especificaciones técnicas

La maqueta se ha realizado en material MDF, para simular de acuerdo a la escala requerida y por la facilidad que brinda para realizar cortes a escala, debido a su uniformidad y homogeneidad en todo su espesor no presenta problemas para realizar cortes ni molduras, además que presenta mejores prestaciones frente al fuego moderado.

La maqueta representa a un polvorín permanente sin bermas² de protección debido a que se utiliza en periodos prolongados. De acuerdo a la norma INEN 2216 en el numeral 4. 18 . 7 “Los polvorines deben mantenerse cerrados y vigilados en todo momento”, por lo cual mediante un servomotor³ que se abren y cierran, se realiza la simulación de puertas y los conductos de aire (damper⁴) .

En base a la normativa INEN 2216 en el numeral 4.18.8 en donde dice que “A los polvorines sólo tendrán acceso las personas autorizadas para almacenar o retirar explosivos”, para cumplir con esta normativa en la entrada principal instalamos un servomotor el cual nos da el acceso para poder ingresar o retirar los explosivos de prueba que se realizan en la maqueta.

Debido a que se trabaja con sustancias inflamables en forma de gas y/o polvo obteniendo una atmosfera Explosiva dentro de la maqueta se debe tomar medidas de seguridad al momento de manipular dicho equipo.

Todos los sistemas eléctricos, electrónicos y cableado se lo realiza por fuera del polvorín para no afectar a las condiciones internas de almacenamiento.

² Es un espacio llano, cornisa, o barrera elevada que separa dos zonas, evitando una cadena explosive.

³ Es un motor al cual se le puede controlar su posición y velocidad de giro en un momento dado.

⁴ Es una placa que regula el flujo de aire dentro de un conducto, chimenea o caja.

El techo de la maqueta se lo realizó de MDF mas ligero debido a que si se presenta una explosión en las pruebas la onda expansiva choque en las paredes laterales y escape por la pared superior, evitando causar daño a las personas que trabajan en el proyecto.

Sistema de actuadores

Servomotor

Se utilizan para representar el funcionamiento de los motores en el sistema de ventilación, como se muestra en la figura 19. Dumper's: con la utilización de los servomotores el sistema permite abrir y cerrar las compuertas frontales pequeñas, esto permitirá el ingreso de flujo de aire externo para obtener una ventilación en el interior del prototipo; Compuerta principal: con el empleo de los servomotores se realizará la ventilación previa para el ingreso de los operarios; Extractor de aire: el servomotor se activara para expulsar al exterior los gases acumulados en el interior y controlar la humedad y temperatura en el interior del prototipo. La función en este proceso es de abrir la compuerta en el momento que el ventilador empiece su funcionamiento.

Figura 19.

Servomotor SG90



Tabla 10.*Especificaciones SG90 Micro Servo 9g*

Parámetros	Características
Alimentación	SG90 Micro Servo 9g 4.8 V (~5V)
Par de bloqueo	1.8 kgf.cm
Velocidad de operación	0.1s /60 grados
Tipo del motor	3 polos DC
Rango de rotación	180°
Pulso de ciclo	ca.20 ms
Ancho de pulso	500- 2400 us

Nota: Recuperado de (TowerPro, 2020)

Cálculo de la potencia de cada servomotor

$$\text{Momento} = 1,8\text{kgf} \cdot \text{cm} = 1,8\text{kgf} \frac{10\text{ N}}{1\text{kgf}} * 1\text{cm} \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} = 0,18\text{ N/m}$$

$$\text{Angulo en radianes} = 60^\circ \frac{\pi\text{ rad}}{180^\circ} = 0,3333\pi\text{ rad}$$

$$\text{Angulo en radianes} = 1,047\text{ rad}$$

$$\text{Velocidad Angular} = \frac{\text{Angulo}}{\text{Tiempo}} = \frac{1,047\text{ rad}}{0,1\text{ s}}$$

$$\text{Velocidad Angular} = 10,47\text{ rad/s}$$

$$Potencia = Momento * Velocidad Angular$$

$$Potencia = 0,18 \frac{N}{m} * 10,47 \frac{rad}{s}$$

$$Potencia = 1,885 [W]$$

$$Intensidad = \frac{Potencia}{Voltaje}$$

$$Intensidad = \frac{1,885 [W]}{4,8 [v]}$$

$$Intensidad = 0,4 [A]$$

La activación de los servomotores se lo realiza mediante la conexión directa a un banco de relés debido a que necesita una potencia de 1,885 [W]. Esto permite que el sistema tenga una alimentación independiente, evitando la caída de tensión, disminución de ruido en el sistema de sensado y permitiendo la protección para la tarjeta arduino.

Ventilador

La figura 20, indica al actuador para la expulsión de la concentración de aire – gases que están presentes dentro prototipo debido a los explosivos que se encuentra almacenados. De la misma manera se utilizan para ingresar el aire frío del exterior, permitiendo reducir la temperatura y la humedad dependiendo de las condiciones que presenta el sistema de control.

Figura 20.*Ventilador HC12S4010H***Tabla 11.***Especificaciones Ventilador HC12S4010H*

Parámetros	Características
Alimentación	HC12S4010H 12 Vdc
Intensidad de Corriente	0,09 [A]
Dimensiones	40x40x10 [mm]

Nota: Recuperado de (Ventilador 12vdc 0.09a Modelo : Hc12s4010h | Mercado Libre, n.d.)

$$Potencia = Voltaje * Intensidad$$

$$Potencia = 12[v] * 0,09[A]$$

$$Potencia = 1,08 [W]$$

Placa peltier

Se utiliza como actuador en el sistema de control, su funcionamiento será regular la humedad y temperatura dentro del sistema prototipo dependiendo del estado de alarma que se encuentre el sistema de control. Este dispositivo permitirá la generación de frío dentro lugar de almacenamiento de explosivos, a partir de la conexión eléctrica que se alimenta desde el banco de rele. Esta placa se puede visualizar en la figura 21.

Figura 21.

Placa peltier

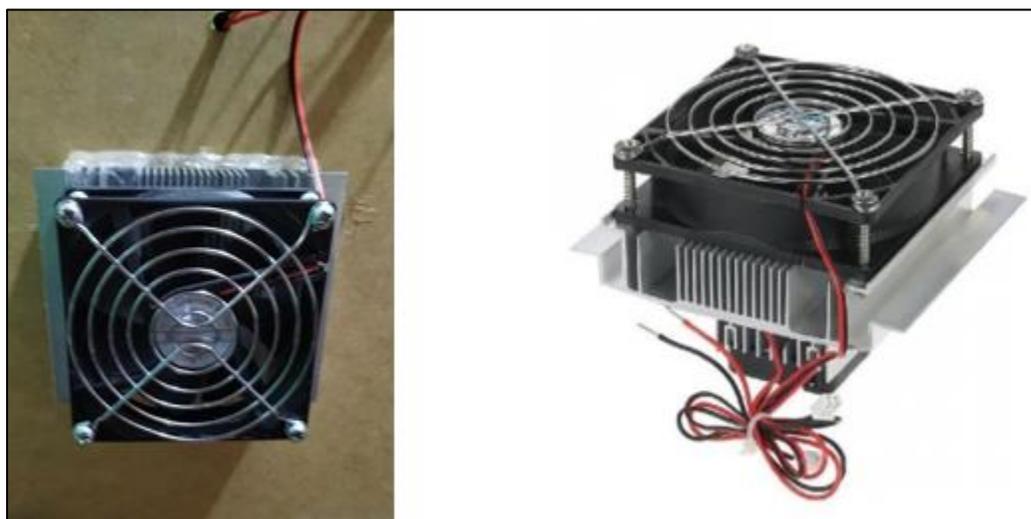


Tabla 12.

Especificaciones placa peltier y ventilador

Parámetros	Características	Características
Alimentación	Ventilador VN-4052 12 Vdc	Célula Peltier Cerámica 12V TEC1-12706 14,4-16,4 [Vdc]

Intensidad de Corriente	0,18 [A]	6,4 [A]
Dimensiones	90x90x25[mm]	40x40x3,9[mm]
Módulo de resistencia		1,98 – 2,3 [Ω]

Nota: Recuperado de (*Radiadores y Ventiladores: Ventilador 12V 180mA 90x90x25*, n.d.), (Hebei I.T. (Shanghai) Co., 2010)

$$Potencia = Voltaje * Intensidad$$

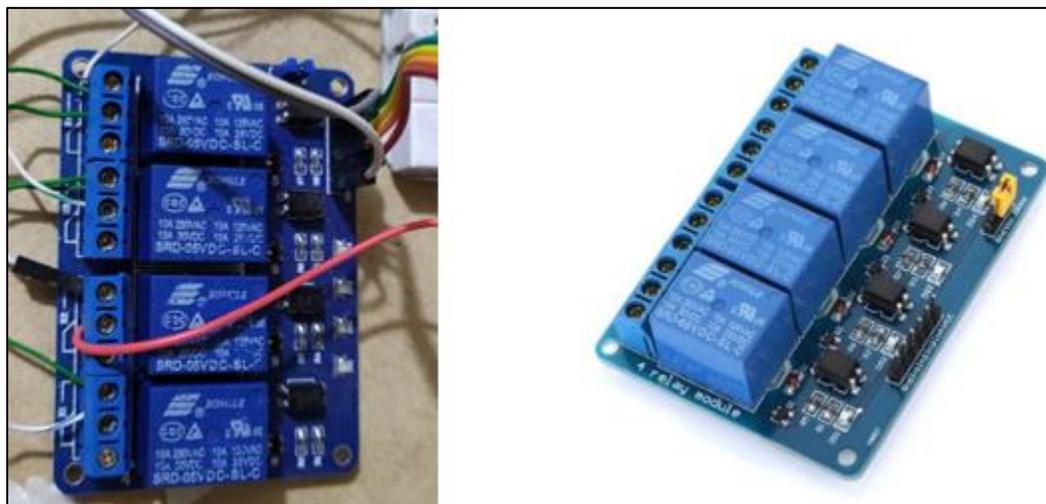
$$Potencia = 16,4[v] * 0,18[A]$$

$$Potencia = 2,95 [W]$$

La activación de la placa peltier se lo realiza mediante la conexión directa a un banco de relés debido a que necesita una potencia de 2,958 [W] y una alimentación de 12 VDC, mediante este procedimiento se evitará la caída de tensión, disminución de ruido en el sistema de sensado y permitirá la protección de la tarjeta arduino.

Banco de relés

Este dispositivo que se muestra en la figura 22, es electromagnético y realizará la función de un interruptor controlado en los diferentes circuitos de sensado y actuadores. Además permitirá el aislamiento de los circuitos eléctricos entre los dispositivos y la tarjeta arduino, dando una protección eléctrica a la tarjeta arduino.

Figura 22.*Banco de rele's***Tabla 13.***Especificaciones Banco de Rele's*

Parámetros	Características
Voltaje de alimentación	Banco de Rele's 5 Vdc
Intensidad de Corriente	15-20 [mA]
Dimensiones	68x49x16 [mm]
Voltaje de Operación	250VAC/30VDC
Corriente de Operación	10 [A]

Nota: Recuperado de (Technology, 2015)

$$Potencia = Voltaje_{alimentacion} * Intensidad_{alimentacion}$$

$$Potencia = 5[v] * 0,02[A]$$

$$Potencia = 0,1 [W]$$

Arduino

Esta tarjeta electrónica programable que se identifica en la figura 23, permitirá realizar la adquisición de datos en el sistema de sensado de la temperatura, humedad y gases. Así también permitirá realizar el funcionamiento de los diferentes actuadores para el sistema de control. Se utilizará esta tarjeta debido a su flexibilidad en la conexión de los circuitos, software libre que permite una fácil programación, su bajo costo y multiplataforma que permite la conexión con labview en donde se realizará el HMI con su respectivo control.

Figura 23.

Arduino Mega

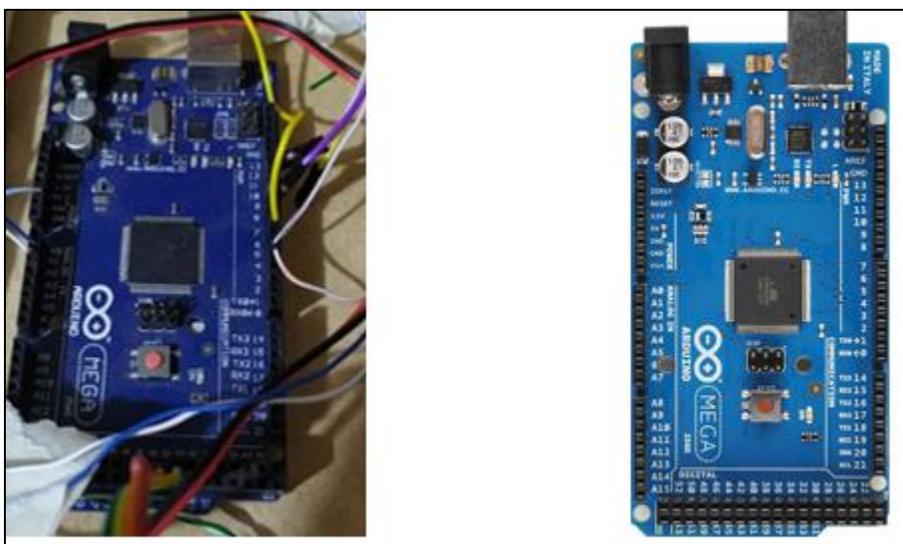


Tabla 14.

Especificaciones Arduino Mega

Parámetros	Características
Voltaje de alimentación	Arduino Mega 5 Vdc

Intensidad de Corriente	15-20 [mA]
Dimensiones	68x49x16 [mm]
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de entrada	7-12[V]
Entradas digitales	54(14 Salida PWM)
Entrada/Salida análoga	16 puertos
Corriente I/O por pin	40 [mA]
Corriente 3,3V por pin	50 [mA]
SRAM	8 Kb
EEPROM	4 Kb
Clock Speed	16 MHz

Nota: Recuperado de (ArduinoMega 2560 datasheet, 2015)

Para el funcionamiento del sistema de sensado se utilizarán: los pines digitales 04 y 05 para adquisición de datos de humedad, debido a que los sensores DHT22 que se utiliza en este proceso ofrecen señales digitales; los pines analógicos A1 y A2 se utilizarán para la adquisición de datos de los sensores químicos (TGS825 y TGS826); los pines analógicos A3 y A4 se utilizarán para la adquisición de datos de los sensores de temperatura LM35.

Para el funcionamiento de los actuadores se utilizarán: los pines digitales 07, 08, 09, 10 y 11 para la activación de los servomotores en sus diferentes procesos; los pines digitales 33 y 35 se utilizarán para la activación de la placa peltier; el pin digital 39 se utilizará para la activación del ventilador en el proceso de control; y el pin digital 37 se utilizará para la ventilación del flujo de aire en el área de sensado que se encuentran los sensores químicos (TGS825 y TGS826).

Fuente

La figura 24, es un dispositivo que se encargará de transformar la corriente eléctrica alterna en corriente eléctrica continua, debido a que todos los dispositivos que se utilizan trabajan con corriente continua. Esta fuente permite trabajar con varios voltajes de alimentación, lo cual ha permitido trabajar con 12 VDC y 5 VDC.

Figura 24.

Fuente de voltaje



Tabla 15.

Especificaciones fuente alimentación

Parámetros	Características
Corriente máxima de entrada (110 V)	+ 12V, +3.3V, +5V, +5Vsb, -12V
Corriente máxima de salida (+12V)	25 [A]

Corriente máxima de salida (+3.3V)	20 [A]
Corriente máxima de salida (+5V)	25 [A]
Corriente máxima de salida (+5Vsb)	2,5 [A]
Corriente máxima de salida (-12V)	0,5 [A]

Nota: Recuperado de (*PCCASE EP-500 Unidad de - Fuente de Alimentación (500 W, 220 V, 50-60 Hz, 5 A, 12V,+3.3V,+5V,+5Vsb,12V, 20 A)*, Plata: Amazon.Es: Informática, n.d.)

Montaje

Para determinar los gases se realizará una caja hermética conformada con una placa PCB con los sensores químicos; los potenciómetros de precisión para configurar la toma de datos mediante un divisor de voltaje; ventiladores y servos para dividir en dos periodos de muestreo (sensado y limpieza).

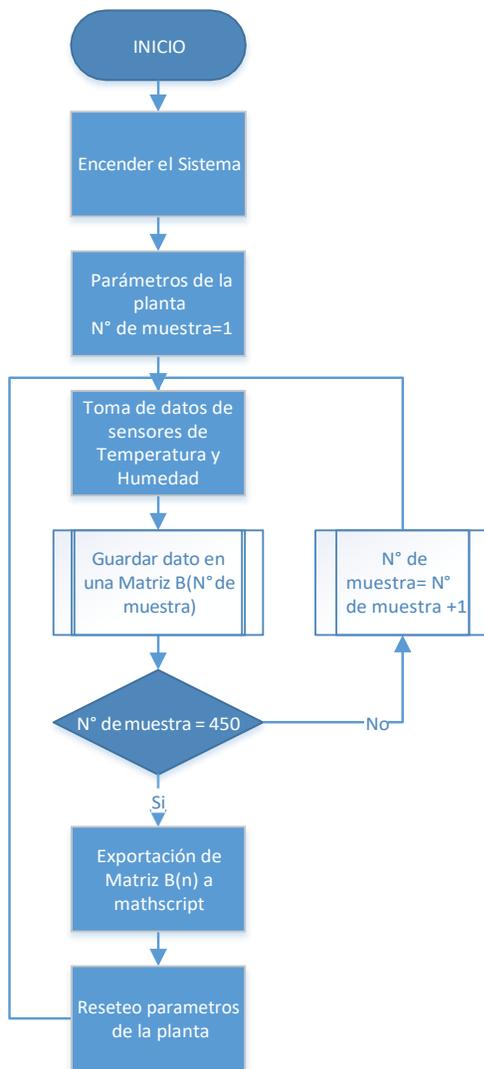
Programación Arduino

Mediante la utilización del Arduino MEGA 2560, se realizó la adquisición de los datos con una comunicación serial para poder establecer una comunicación con la plataforma labview.

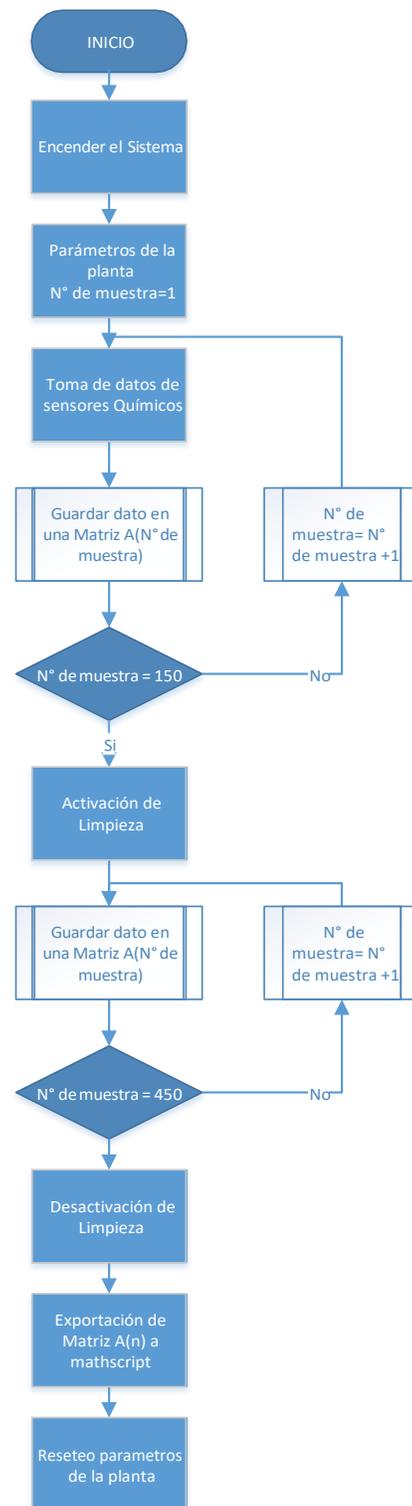
En la figura 25, se detalla el sensado tanto de temperatura como humedad dentro del sistema, es así que cuando el sistema se encienda se irán sensado las distintas variables hasta llegar a acumular la matriz, se exportara sus datos y se reseteara la matriz.

Figura 25

Flujograma de sensado de temperatura y humedad



En la figura 26, se detalla el sensado de gases dentro del sistema, es así que cuando el sistema tome los datos del sistema químico la ira almacenando dentro de una matriz para irlos comparando y conocer si se debe o no encender la acción de limpieza dentro del Sistema.

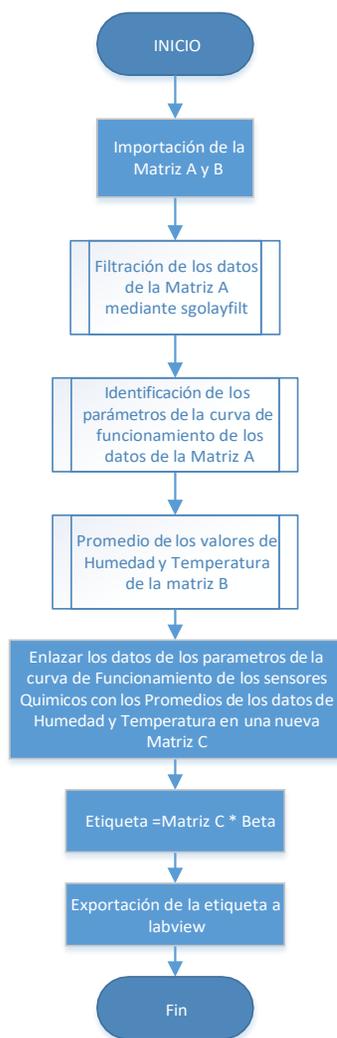
Figura 26.*Flujograma de sentido de gases*

Labview

En la figura 27, se detalla el control realizado, en lo cual ya se toma en cuenta los parámetro sensados tanto de temperatura humedad y gases para controlarlos en los casos que estén por debajo del umbral o por encima del mismo. Este flujograma indica el desarrollo de código efectuado en la tarjeta de control y adquisición de datos.

Figura 27.

Flujograma de control



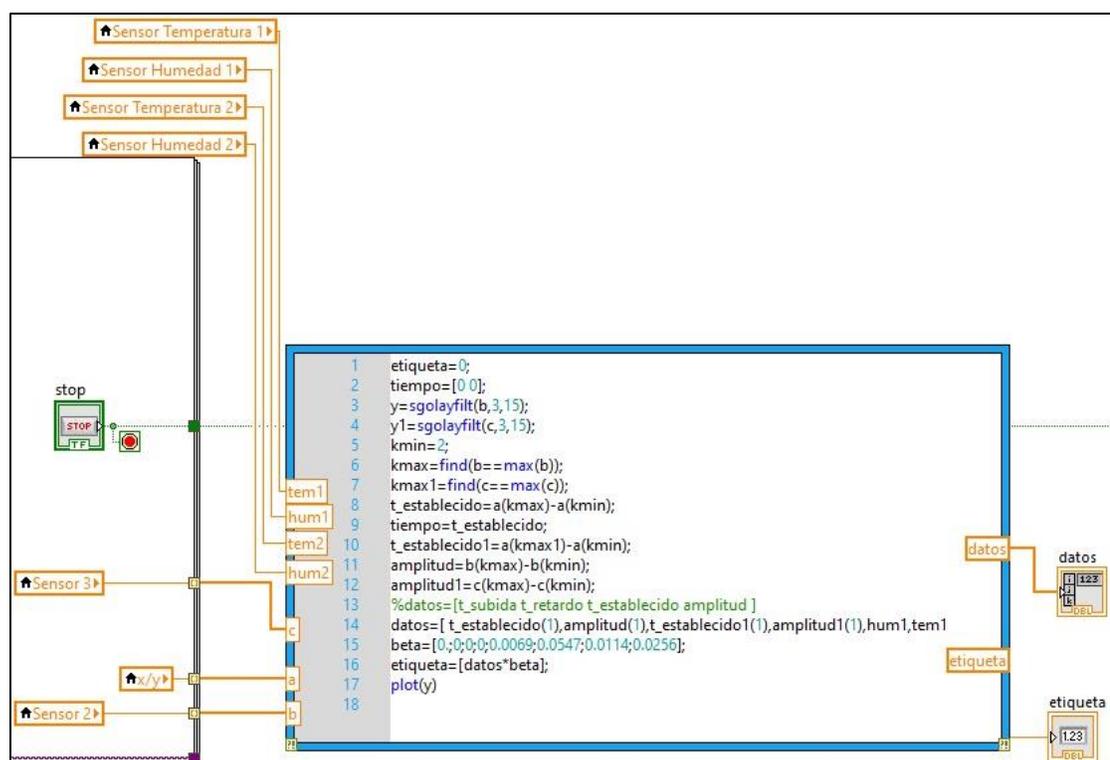
En este software se realiza la configuración para tener una comunicación serial y poder obtener los datos en tiempo real, adquiridos por la tarjeta Arduino. Estos datos se

los ingresa a un módulo LabVIEW MathScript de acuerdo a la figura 28, el cual permite codificar funciones de Matlab en Labview. Mediante este módulo se realizará el análisis del funcionamiento de los sensores químicos TGS825 y TGS826.

Posterior se procede a realizar la operación de multiplicación de matrices mediante las variables independientes de la regresión, con la carga del predictor (beta) obteniendo la respuesta dependiente de la regresión.

Figura 28.

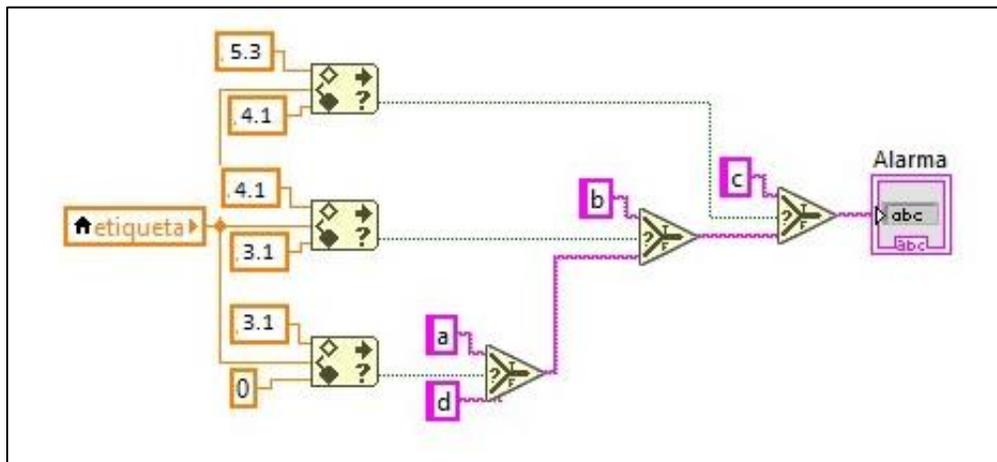
LabVIEW MathScript



En la figura 29, muestra la respuesta que nos permite identificar el nivel en que se encuentra nuestro sistema de control, el mismo que basado en la tabla 9, establece el nivel de acuerdo a los rangos preestablecidos.

Figura 29

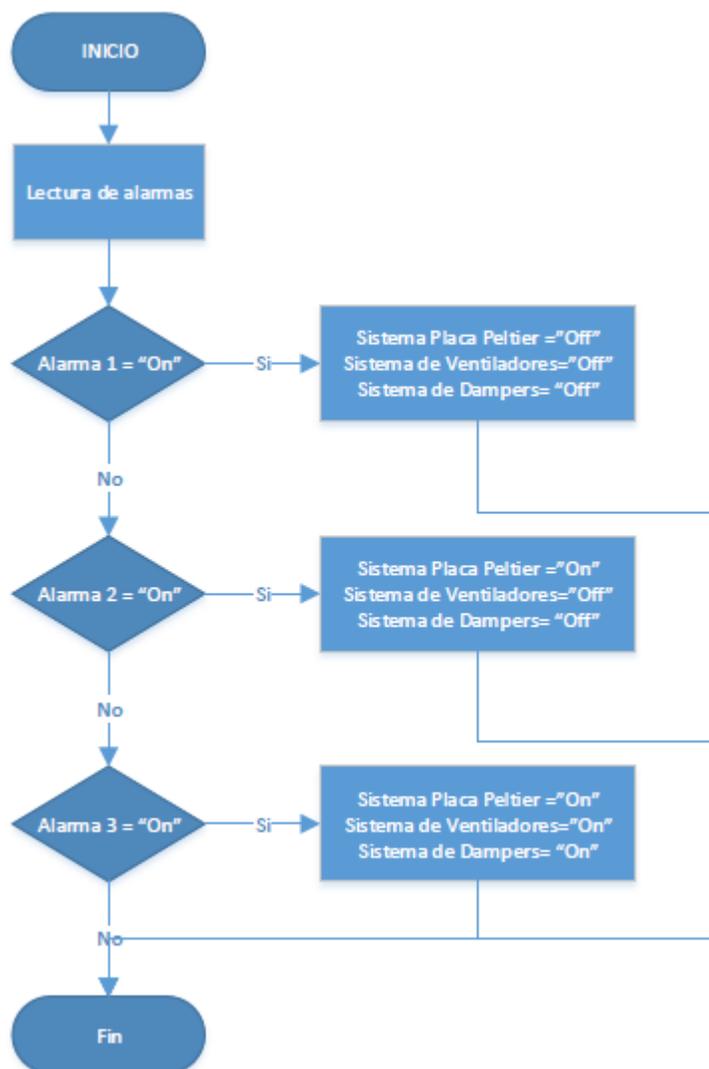
Definición de rangos para los niveles



Una vez seleccionado el nivel alarma se procede a la activación del respectivo Sistema de actuadores como lo indica en la figura 30.

Figura 30

Flujograma de activación de actuadores



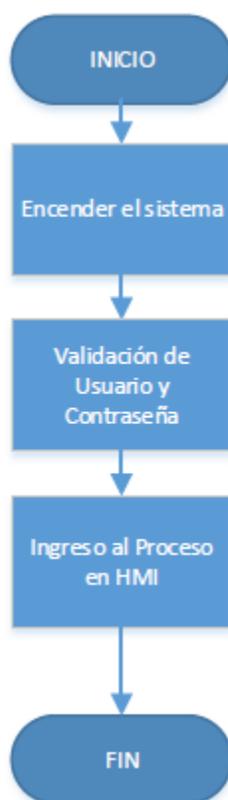
En el nivel 1, no se activa ningún actuador debido a que se encuentra en un estado aceptable y no necesita ninguna modificación de sus condiciones; en el nivel 2, se procede a activar el sistema de enfriamiento conformado por la placa peltier y ventilador de enfriamiento de la placa peltier, los cuales mediante su funcionamiento permiten la reducción de la humedad y la temperatura; en el nivel 3, se procede a activar además del sistema de enfriamiento los sistemas de ventilación conformado por los ventiladores y dumper's.

HMI

Con el fin de mejorar las condiciones de trabajo y reducir los riesgos laborales se ha implementado el interfaz humano máquina, de esta manera el operario puede monitorear y verificar en tiempo real las alarmas que se generan por niveles, de acuerdo a la cantidad de riesgo que presente dentro de los depósitos de explosivos que posee la Fuerza Aérea. Este proceso se muestra en la figura 31.

Figura 31

Flujograma de ingreso al HMI



En la figura 32, se muestra la pantalla de inicio del Sistema de “Control y monitoreo de temperatura humedad y gases”, de acuerdo la normativa GEDIS se ha colocado: el título en la parte superior central, seguido las alarmas en la parte superior central,

sinóptico en el centro, sub menú que muestra indicadores y actuadores en la parte inferior central, fecha y hora en la parte inferior derecha, adicional por seguridad del sistema exige el ingreso al operador con un usuario y contraseña. En la sección de alarmas se mostrará la condición actual del sistema por niveles: Nivel 1, color verde y significa que se encuentra en una clasificación de riesgo ACEPTABLE; Nivel 2, color amarillo y significa que se encuentra en una clasificación de riesgo POSIBLE; y nivel 3, color rojo y significa que se encuentra en una clasificación de riesgo NOTABLE.

Figura 32.

Pantalla principal control y monitoreo

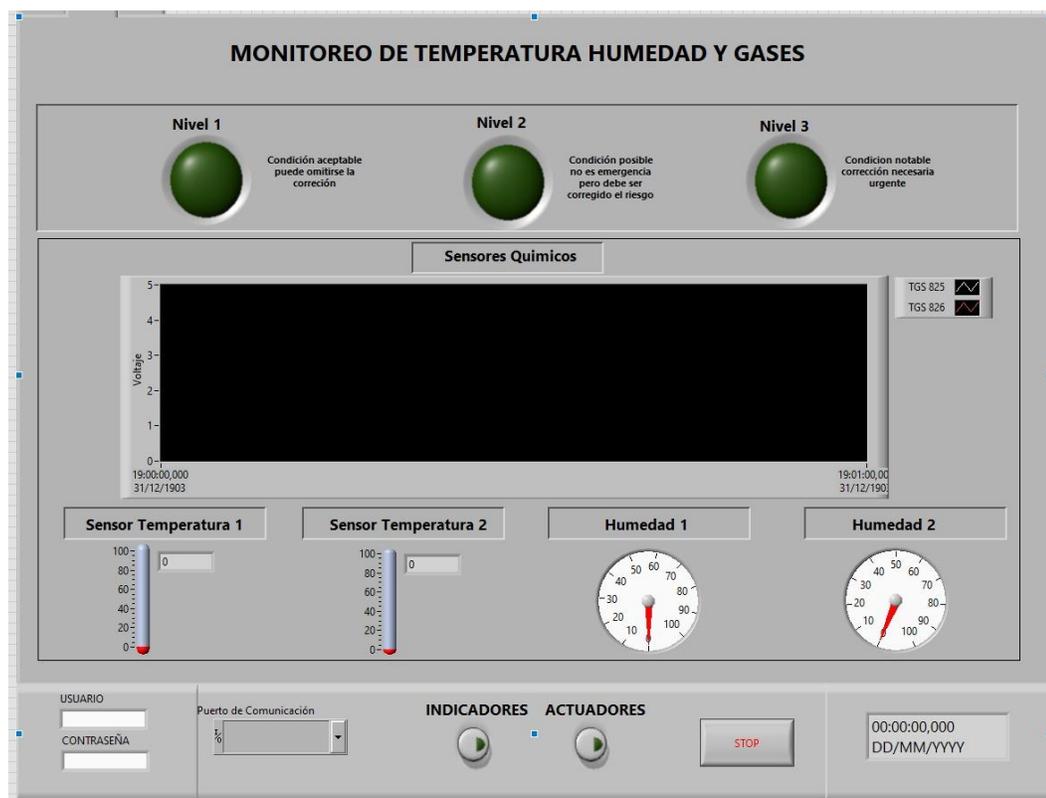


En el centro de la pantalla de inicio se mostrará la imagen institucional de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, la misma que identifica al proyecto con la institución. En la casilla de lista de opciones del puerto de comunicación se selecciona el puerto con el cual va a estar conectado la tarjeta arduino. En el centro inferior de la pantalla se encuentran los

botones Indicadores y Actuadores, mismos que serán activados una vez que se ingrese el Usuario y Contraseña del sistema. El botón STOP tiene como función parar los actuadores y reiniciar el proceso de sensado. Y finalmente en la parte inferior derecha se muestra el indicador de tiempo y hora actual.

Figura 33.

Pantalla monitoreo temperature, humedad y gases

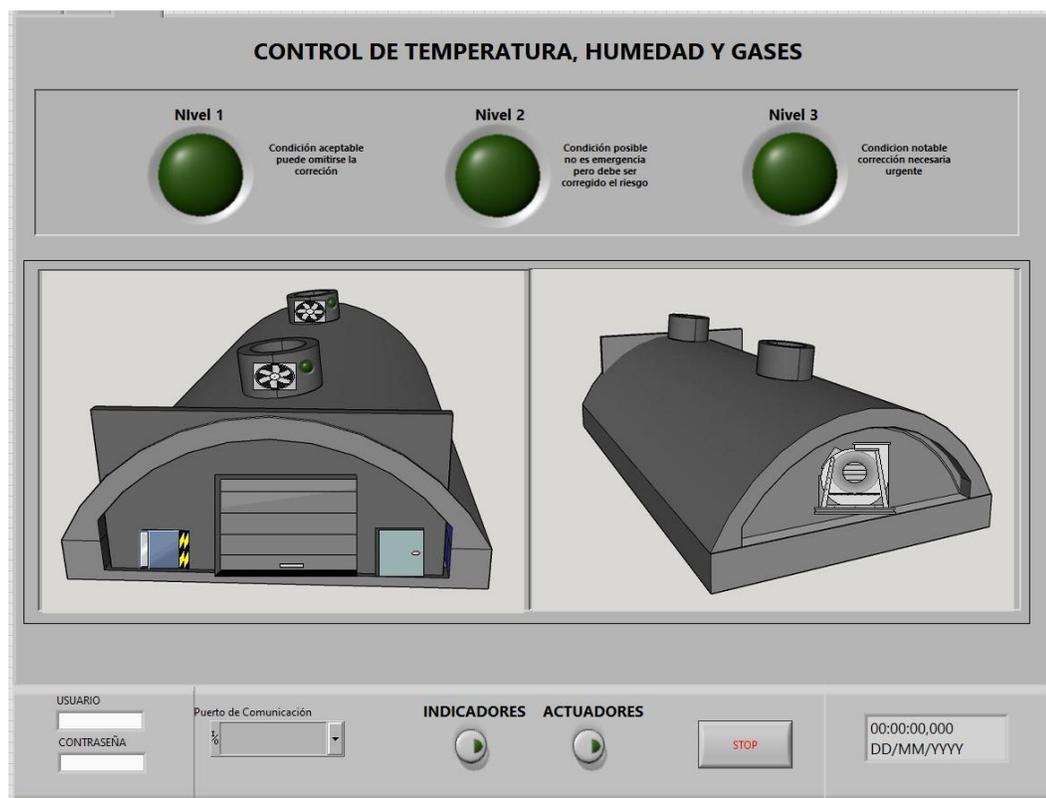


En la figura 33, se muestra la descripción de la siguiente pantalla “Monitoreo de temperatura, humedad y gases” muestra en el centro el funcionamiento de los sensores químicos, en donde mostrarán mediante una línea amarilla y una línea roja el funcionamiento de los sensores químicos TGS825 y TGS826, respectivamente. El tiempo de muestreo de esta pantalla es de un minuto, lo cual permite al operador identificar la gráfica de funcionamiento de los sensores químicos. Los indicadores de temperatura muestran datos tomados con los sensores LM35 con su respectiva instrumentación, los

cuales están conectados a la tarjeta arduino y muestran sus valores enteros. Los indicadores de humedad muestran los datos tomados por los sensores DHT22 con su respectiva instrumentación. Estos indicadores permiten la visualización de las condiciones que presenta el prototipo en un intervalo de 45 segundos.

Figura 34.

Pantalla control de temperatura, humedad y gases



En la figura 34, se muestra la pantalla de “Control de temperatura, humedad y gases”. En la parte centro izquierdo de la figura se visualiza la parte frontal del prototipo, donde se puede establecer el funcionamiento de tres actuadores. El primer actuador representa al dumper de ventilación, el cual permite el ingreso del aire hacia el interior del prototipo, su funcionamiento es a través de un servomotor. El segundo actuador representa a la puerta de ingreso y salida de los operadores, así como también permite la ventilación del prototipo. El tercer actuador representa al extractor de aire que se encuentra en la

parte superior del prototipo, su función es la expulsión de los gases tóxicos al exterior, así como también permite la ventilación de los materiales explosivos en el interior del prototipo .

En la parte centro derecho de la figura 34, se visualiza la parte posterior del prototipo en donde se puede encontrar la placa peltier. La función de esta placa es enfriar el ambiente interior del prototipo, así como también disminuir el porcentaje de humedad para establecer condiciones aceptables de almacenamiento de explosivos.

Capítulo IV

Pruebas y resultados

En este capítulo se realizarán primero las pruebas y resultados del sistema prototipo, para posterior realizar un análisis de factibilidad para la posible implementación en los depósitos de almacenamiento de explosivos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Pruebas

Se procede a realizar quince pruebas que se explica paso a paso como realizar la experimentación.

1. Se conecta las fuentes de poder que suministran energía al sistema de control y sensado.
2. Se conecta la tarjeta arduino a un puerto USB de la computadora y se reconoce el puerto en el cual se va a trabajar.
3. En la computadora previamente instalada con el programa labview se procede a ejecutar el programa "prototipo_DEPCOR".
4. Se ejecuta el HMI del programa.
5. Se ingresa el usuario y contraseña, y el puerto en el cual se encuentra trabajando la tarjeta arduino.
6. Se desecha el primer sensado debido al ruido inicial.
7. Se toman los datos de las variable independientes (parámetros de sensores químicos, datos de humedad y temperatura), y el estado de la alarma en que se encuentra.
8. Se toma la etiqueta suministrada por el mathscript.

9. Con las variables independientes se procede a verificar la operación de la regresión por mínimos cuadrados en el programa labview y se compara con la etiqueta suministrada por el mathscript.
10. Se anexan los valores en una tabla de Excel.
11. Para parar el proceso se pulsa botón STOP.
12. Para volver a iniciar el proceso se pulsa el botón INICIAR.

Para empezar a realizar las pruebas del prototipo se define las siguientes condiciones inicial para las variables de temperatura, humedad y gases con el fin de demostrar el control basado en reglas de decisión.

Temperatura y Humedad

Debido a que se controlan estas variables de las condiciones presentadas por el ambiente dentro del polvorín se realiza las pruebas dependiendo de las condiciones del medio ambientales que se estableció en días aleatorias de los meses de noviembre y diciembre del año 2020. Explicados en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16.

Condiciones iniciales de temperatura y humedad para pruebas y resultados

Ítem	Fecha	Temperatura Ambiental	Humedad Ambiental
1	04/11/2020	25 °C	39%
2	06/11/2020	25 °C	42%
3	06/11/2020	25 °C	42%
4	10/11/2020	22 °C	50%
5	10/11/2020	22 °C	50%
6	12/11/2020	23 °C	44%

7	12/11/2020	23 °C	44%
8	13/11/2020	25 °C	49%
9	17/11/2020	21 °C	51%
10	25/11/2020	24 °C	46%
11	25/11/2020	24 °C	46%
12	25/11/2020	25 °C	46%
13	25/11/2020	25 °C	46%
14	11/12/2020	22 °C	62%
15	11/12/2020	22 °C	62%

Gases

Como se explica en el capítulo 3, acerca de las características del prototipo, establece los siguientes valores de almacenamiento de explosivos.

$$\text{Máximo: } V_{Max} = 9410 \text{ cm}^3 \times 4 = 37640 \text{ cm}^3$$

$$\text{Medio: } V_{Med} = 9410 \text{ cm}^3 \times 2 = 18820 \text{ cm}^3$$

$$\text{Mínimo: } V_{Min} = 9410 \text{ cm}^3$$

Por tanto, para realizar las pruebas de funcionamiento se toma las siguientes características de los explosivos.

Tipo de explosivo: TNT, Pólvora y cordón detonante

Volumen mínimo: 3 contenedores de 3000 cm^3 de mezcla de los 3 tipos de explosivos

Volumen medio: 6 contenedores de 3000 cm^3 de mezcla de los 3 tipos de explosivos

Volumen máximo: 9 contenedores de 3000 cm^3 de mezcla de los 3 tipos de explosivos

Dando como resultado la siguiente cantidad final de volumen en las respectivas categorías.

$$V_{Min} = 9000 \text{ cm}^3$$

$$V_{Med} = 18000 \text{ cm}^3$$

$$V_{Max} = 27000 \text{ cm}^3$$

De forma aleatoria se escoge la cantidad de volumen para la realización de las pruebas.

Resultados

Se realiza las pruebas de almacenamiento con las condiciones pre-escritas de Temperatura, Humedad y gases dando como resultado la siguiente Tabla 17.

Tabla 17.

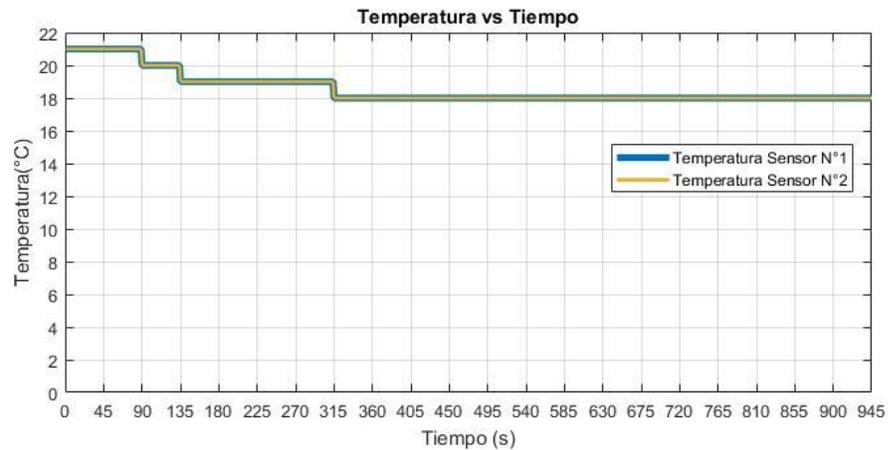
Tabla de resultados

N°	Fecha	Volumen de Sustancias	T. Ambiente	H. Ambiente	Nivel inicial	Nivel Final	Tiempo de establecimiento al Nivel 1	Tiempo de exper.
1	04/11/2020	Medio	25 °C	39%	2	1	0:05:15	0:15:00
2	06/11/2020	Mínimo	25 °C	42%	2	1	0:02:15	0:14:15
3	06/11/2020	Máximo	25 °C	42%	2	1	0:12:45	0:31:30
4	10/11/2020	Mínimo	22 °C	50%	2	1	0:04:30	0:15:45
5	10/11/2020	Medio	22 °C	50%	2	1	0:07:30	0:30:45
6	12/11/2020	Mínimo	23 °C	44%	2	1	0:02:15	0:20:15
7	12/11/2020	Medio	23 °C	44%	2	1	0:07:30	0:26:15
8	13/11/2020	Máximo	25 °C	49%	2	1	0:25:30	0:33:45
9	17/11/2020	Medio	21 °C	51%	2	1	0:07:30	0:23:15
10	25/11/2020	Mínimo	24 °C	46%	3	1	0:15:00	0:34:30
11	25/11/2020	Medio	24 °C	46%	3	1	0:14:15	0:27:00
12	25/11/2020	Máximo	25 °C	46%	2	1	0:14:15	0:37:30
13	25/11/2020	Mínimo	25 °C	46%	2	1	0:07:30	0:33:00
14	11/12/2020	Máximo	22 °C	62%	3	1	0:38:15	0:42:45
15	11/12/2020	Medio	22 °C	62%	2	1	0:20:15	0:37:30

Resultados prueba N°4

Figura 35.

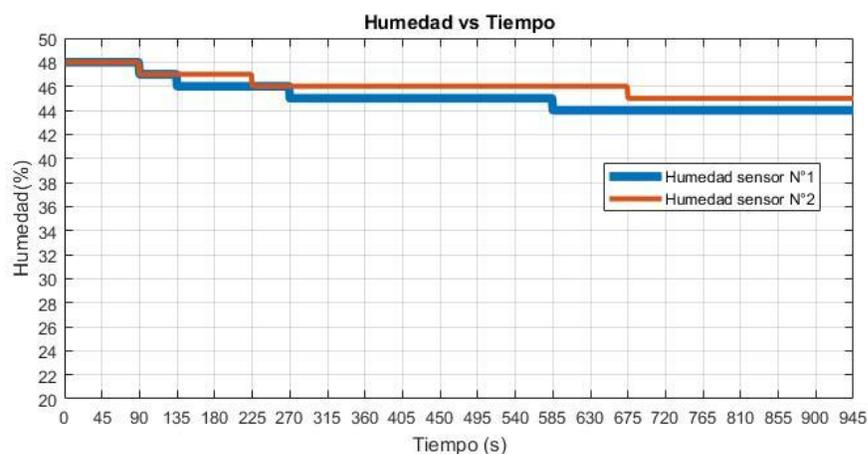
Temperaturas en función del tiempo prueba N°4



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa los datos de medición por parte de los sensores de temperatura con su debida instrumentación los mismos que presentan temperaturas similares en toda la duración de la prueba. Se observa la disminución de la temperatura dentro del prototipo debido al control que realiza el proceso.

Figura 36.

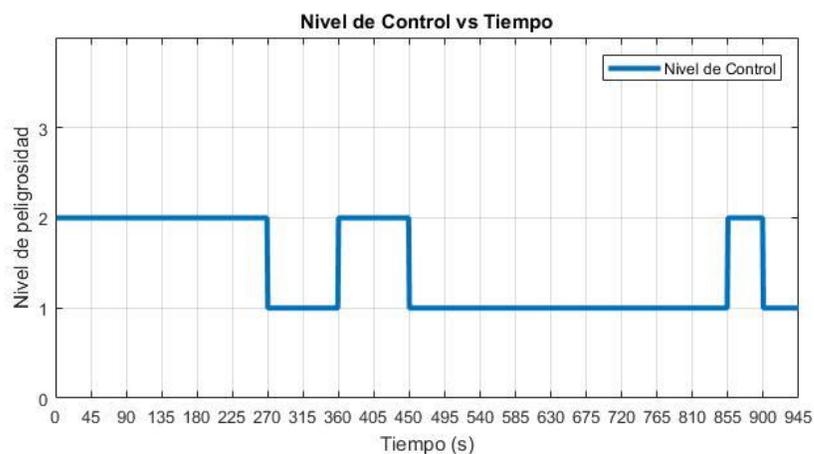
Humedad en función del tiempo prueba N°4



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa la variación de Humedad que presentaron los sensores DHT22 debido al cambio de los niveles de peligrosidad, lo que permite realizar el control del polvorín, cabe recalcar que la humedad es uno de los factores que alteran las condiciones de almacenamiento, debido a que en largas duración puede presentar descomposición de los materiales explosivos.

Figura 37.

Nivel en función del tiempo prueba N°4



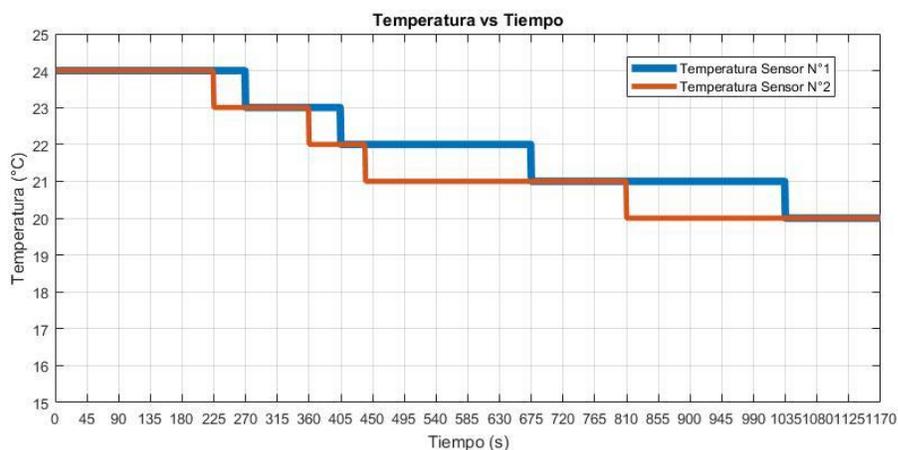
La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** nos indica el funcionamiento del control basado en regla de decisión que altera las condiciones dentro

del almacenamiento del prototipo. Estabilizando los rangos de las variables de temperatura, humedad y gases en condiciones aceptables mostrado en la tabla de peligrosidad.

Resultados prueba N°11

Figura 38.

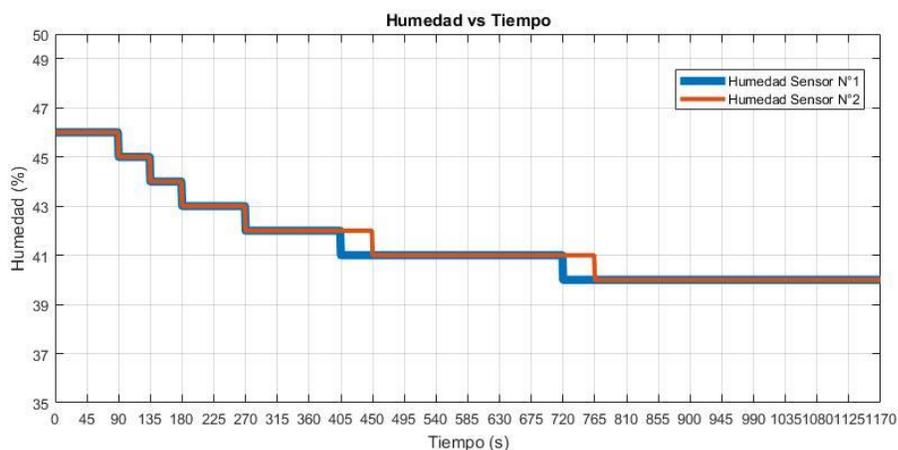
Temperatura en función del tiempo prueba N°11



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra los cambios de temperatura que presento las condiciones de almacenamiento del prototipo. Cabe indicar que su inicio de proceso es una variable en el rango de peligrosidad posible.

Figura 39.

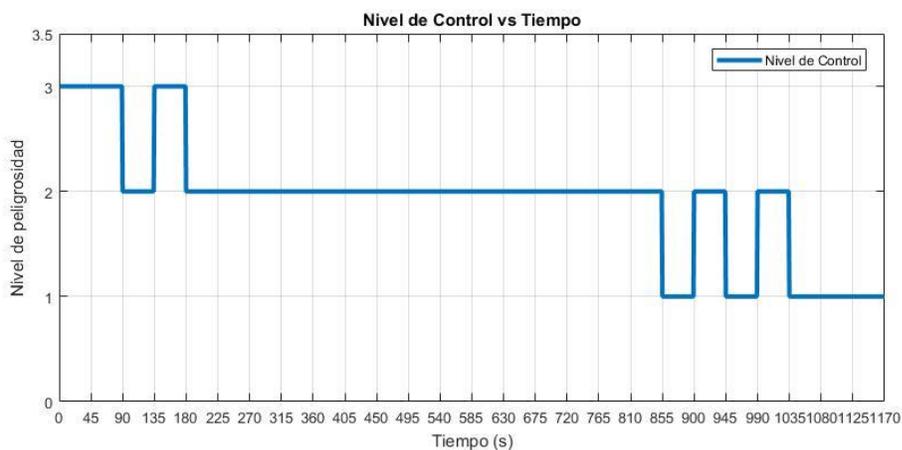
Humedad en función del tiempo prueba N°11



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la disminución de la Humedad debido al control basado en reglas de decisión. El inicio de la medición de estas variables es de 46% de humedad relativa, este valor se halla en los límites del rango de peligrosidad aceptable.

Figura 40.

Nivel en función del tiempo prueba N°11



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** indica los niveles de peligrosidad que permitió realizar el debido control por reglas de decisión. Estas condiciones iniciaron en un nivel notable, lo que puede ocasionar alteración e

inestabilidad en el almacenamiento de los materiales explosivos. Por lo tanto, es necesario realizar un control en este tipo de depósitos.

Análisis de factibilidad de aplicar en los depósitos

En este análisis se tomará en cuenta si se puede implementar, las condiciones ideales para realizar y al final poder dar soluciones a las dificultades que se presenten en el desarrollo del proyecto. Para lo cual se analizará los siguientes aspectos de factibilidad.

Factibilidad operativa

El personal que trabaja en el depósito de explosivos de la Fuerza Aérea está calificado de acuerdo a su nivel de pericia (experiencia):

Ayudante: Es un aerotécnico que está en formación y adquiere varios cursos de especialización en el área de almacenamiento de explosivos.

Técnico: Es el aerotécnico que realiza trabajos de mantenimiento y preservación del material explosivo almacenado en los depósitos, se encarga de dar el visto bueno de las condiciones que debe presentar el lugar de almacenamiento.

Supervisor: Es el aerotécnico que tiene el un nivel de pericia avanzado y ha recibido cursos de capacitación, entrenamiento en el trabajo, obtuvo su licencia como electrónico y está habilitado en manejo y almacenamiento de explosivos.

En la presentación del prototipo ante las autoridades del depósito de materiales explosivos, se ha realizado pruebas de manejo del prototipo con los señores aerotécnicos que trabajan en el lugar. Algunas partes del material explosivo almacenados en estos

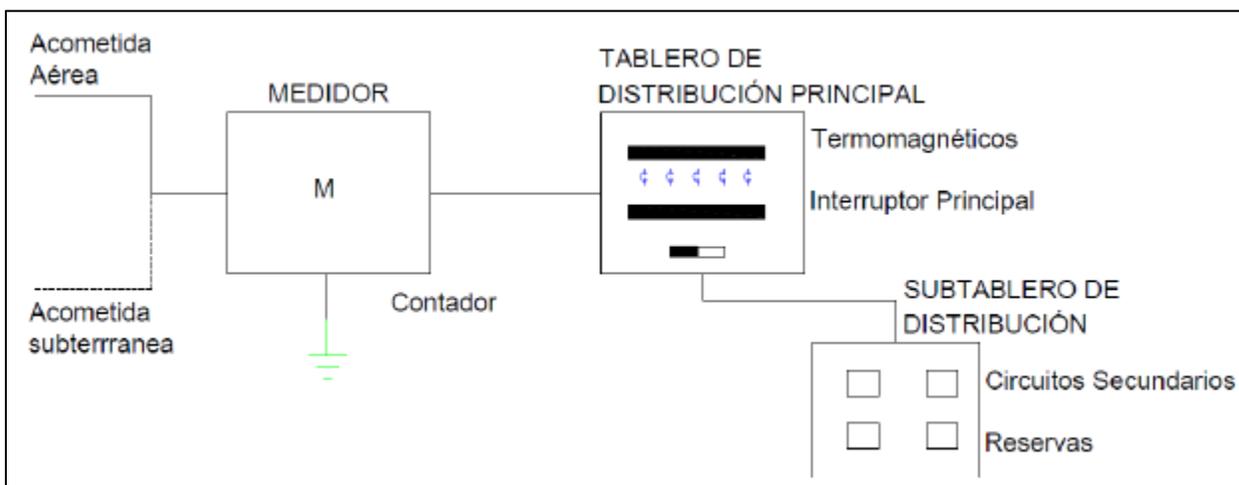
depósitos son electrónicas, por tal motivo los operarios están actualizados en todos los niveles (ayudante, técnico y supervisor) lo cual ha sido de gran ayuda en la explicación del funcionamiento del sistema de control y monitoreo de gases, temperatura y humedad.

Factibilidad técnica y económica

Para la posible implementación del prototipo en un Depósito de explosivos real se tendrá algunas condiciones técnicas, de acuerdo a las normas de seguridad se ha tomado en cuenta los siguientes elementos que se utilizarían con sus precios reales en el mercado:

Figura 41.

Elementos principales para instalación



Acometida: En la figura 41, se puede identificar las partes principales de una acometida y el trabajo que realiza la empresa eléctrica para derivar una red de distribución al lugar de almacenamiento de explosivos, en ese punto se podrá hacer uso de la energía eléctrica necesaria para la alimentación de los sensores y actuadores.

Tablero de distribución principal: Está constituido por barras de suficiente capacidad y el equipo de protección que puede ser interruptores termomagnéticos o fusibles.

Subtablero de distribución: Para circuitos secundarios, reservas, artefactos termomagnéticos, interruptor principal y portátiles de poca o mediana potencia 120V a 240V con corrientes de hasta 20 A.

Circuitos individuales: Para conectar artefactos de mayor potencia o automáticos 120V o 240V con corrientes de 20, 30, 50 o 70 A. Ejemplo: aire acondicionado, motores de puerta y dumper's. Conectados directamente del medidor hacia esa carga, breaker individual.

Sensor de temperature de la figura 42: Para este tipo de depósitos es necesario utilizar un sensor embebido, de esta manera se evita causar eventos no deseados a causas de chispas generadas en el interior del lugar de almacenamiento.

Figura 42.

Sensor de temperatura PT1000



Sensor de humedad en la figura 43: Este dispositivo nos permitirá tomar medidas de humedad y temperatura dentro del depósito de municiones.

Figura 43.

Sensor de humedad 6CTN4



Aire acondicionado: Con este módulo se podrá mantener la temperatura en la ideal para el almacenamiento, como muestra la figura 44.

Figura 44.

Aire acondicionado



PLC figura 45: Se utilizará en esta propuesta un PLC SIEMENS S7-1200, debido a que nos ofrece facilidades para adquirir datos de los sensores y control de los actuadores.

Figura 45.

PLC SIEMENS S7-1200



Motores figura 46: Se utilizaran para instalarlos en la puerta principal y los dumper's, dependiendo de la necesidad de cada polvorín.

Figura 46.

Motor AC Bifásico



Finalmente se detalla un costo aproximado de la implementación del sistema de control y monitoreo de gases, temperatura y humedad en un polvorín de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Tabla 18.

Costo aproximado para implementación

Ord.	Elemento	Característica	Costo
1	Mano de obra, acometida, tablero de distribución principal, subtablero de distribución, circuitos individuales,	Ver Anexo 3, MIRANOVIC S.A.	5.356,24 USD
2	Sensor de temperatura	Ver Anexo 2, ECUAINSTEC	416,04 USD
3	Sensor Humedad/Temperatura	Ver Anexo 5, DWYER INSTRUMENTS	5.889,90 USD

4	Sensor de gas	Ver Anexo 4,	9.580,59 USD
		INPROEC	
5	Motor AC Bifásico	Ver Anexo 6,	1.873,67 USD
		DRIVE, MOTION & CONTROL	
6	Aire acondicionado	Ver Anexo 7,	469 USD
		Amazon	
7	PLC	Ver Anexo 8,	328 USD
		Amazon	
COSTO TOTAL			23.913,44 USD

En la tabla 18, se ha determinado un costo aproximado de 23.913,44 USD para poder implementar el prototipo en los polvorines reales que tiene la Fuerza Aérea, cabe recalcar que el costo obtenido es para implementar en un solo depósito de explosivos.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se realizó un prototipo para el control de temperatura, humedad y emisión de gases, mediante un controlador basado en reglas de decisión, un sistema de instrumentación y una interfaz Hombre-Máquina que representa a un polvorín de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en una escala de 1:15.
- Se originó una tabla de clasificación del nivel de riesgo para el polvorín ubicado en la ciudad de Machachi (DEPCOR), mediante ordenes técnicas que gestión el almacenamiento de explosivos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana y condiciones ambientales de temperatura, humedad y emisión de gases, para un almacenamiento aceptable de los materiales explosivos.
- Se realizó un sistema de instrumentación el cual permite analizar en nivel de peligrosidad que presenta el almacenamiento de materiales explosivos en el prototipo, mediante una regresión de mínimos cuadrados parciales que utiliza variables independientes de temperatura, humedad y emisión de gases.
- Se originó el análisis de las señales de los sensores químicos TGS825 y TGS826, diseñados en un tiempo de sensado y un tiempo de ventilación de 15 y 30 segundos respectivamente, dando un tiempo de respuesta de las condiciones (altura, tiempo de respuesta) de emisión de gases de 45 segundos.
- El sistema prototipo efectuado permite conocer el comportamiento que tendrá un sistema de control ante los posibles niveles de peligrosidad dentro de un polvorín,

con un tiempo de respuesta de 45 segundos para el control del nivel de peligrosidad, priorizando mantener el nivel 1 de condiciones.

- El desarrollo de interfaz humano maquina permite un monitoreo del polvorín brindando mayor seguridad a los operarios, aumentando el nivel de credibilidad y las capacidades militares de la Fuerza Aérea Ecuatoriana debido a que es la primera interfaz diseñada con el propósito de controlar los niveles de peligrosidad de almacenamiento.

Recomendaciones

- Capacitar el personal operativo en el uso del software y los niveles de alarmas visualizados en el interfaz Humano – Máquina, e indicar el nivel ideal que debe permanecer para un correcto almacenamiento de material explosivo.
- Al momento de realizar la implementación del prototipo todos los materiales y equipos tienen que ser embebidos, para evitar posibles accidentes a causa de chispas generadas dentro de las bodegas de almacenamiento.
- Si se quiere realizar la implementación del sistema en la Costa se tiene que calibrar los equipos de acuerdo las condiciones ambientales del lugar que se requiere la implementación.
- Buscar presupuesto para implementar el sistema, su costo es elevado pero las ventajas de salvaguardar la vida de los operarios y personal que trabaja en estos depósitos justifica el valor de implementación, mitigando posibles incidentes como los causados en años anteriores.

Referencias

- 2216:2013, I., & Uso, E. (n.d.). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2216:2013 Primera revisión.*
- ArduinoMega 2560 datasheet. (2015). Arduino Mega 2560 Datasheet. *Power*, 3. <http://www.robotshop.com/content/PDF/ArduinoMega2560Datasheet.pdf>
- Chano, C., & Paucar, L. (2015). Diseño, construcción y automatización de la línea de manufactura de gas irritante, para la empresa Santa Bárbara E.P. *ESPE*.
- Control por reglas de decisión.* (n.d.). Retrieved March 18, 2021, from <https://sgc-lab.com/que-es-la-regla-de-decision-para-que-sirve-y-como-se-construye/>
- El Comercio. (2016). *Defensa conformará una junta investigadora por la explosión en Brigada militar | El Comercio.* El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/defensa-junta-investigacion-explosion-latacunga.html>
- El Universo. (2003). *29 heridos por explosión de polvorín - MAR. 23, 2003 - Sucesos - Historicos - EL UNIVERSO.* El Universo. <https://www.eluniverso.com/2003/03/23/0001/10/9844E16BBA274F87BC7D1BC7D255FB27.html>
- El Universo. (2009). *Temor por explosión en fábrica de municiones de las FF.AA. en Quito | Ecuador | Noticias | El Universo.* El Universo. <https://www.eluniverso.com/2009/07/08/1/1447/temor-explosion-fabrica-municiones-ffaa-quito.html>
- Figaro Engineering Inc. (2004). TGS 825 - Special Sensor for Hydrogen Gas. *Sensors (Peterborough, NH),* 2. https://www.soselectronic.com/a_info/resource/c/figaro/tgs825.pdf
- Figaro Engineering Inc. (2014). TGS 826 - Ammonia Sensor - MOX sensor. *Product Information.* <http://www.figarosensor.com/products/826pdf.pdf>
- Figaro Engineering Inc. (2015). TGS 822 - for the detection of Solvent Vapors. *Product*

- Information*, 4–5. <http://www.figarosensor.com/products/2620Dtl.pdf>
- Guamangallo, J. (2002). Diseño Construcción y Operación de un Prototipo de Sistema “ HVAC ” Aplicación al Control de Flujo y temperatura. *ESPE*.
- Hebei I.T. (Shanghai) Co., L. (2010). Performance Specifications of TEC1-12706. *Application Note*, 2–4. www.hebeiltd.com.cn
- Information, P. (n.d.). PRODUCT INFORMATION TGS 2610 - for the detection of Methane. *Power*.
- Jácome, F. S. (2018). Departamento de eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. In *Repositorio.Espe.Edu.Ec*. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15813/1/T-ESPE-040692.pdf>
- KANTAR. (2011). *La nueva realidad de consumo y los cambios de comportamiento en Ecuador*. January.
- KANTAR. (2020). *La nueva realidad de consumo y los cambios de comportamiento en Ecuador*.
- La República. (2011). *Fuerte explosión en cuartel del GIR, al norte de Quito | La República EC*. La República. <https://www.larepublica.ec/blog/sociedad/2011/12/08/fuerte-explosion-en-cuartel-del-gir-en-quito/>
- LabVIEW - NI*. (n.d.). Retrieved December 14, 2020, from <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>
- LM317T*. (n.d.). 317.
- Luis, E., & Legarda, J. (2010). Diseño y construcción de un prototipo para la variación de humedad y temperatura dentro de un ambiente cerrado para la realización de prácticas en el laboratorio de automatización industrial del DECEM. *ESPE*.
- Luo, J., Ying, K., & Bai, J. (2005). Savitzky-Golay smoothing and differentiation filter for even number data. *Signal Processing*, 85(7), 1429–1434. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2005.02.002>
- Mayor, E., Armada, D. E. L. A., & Clasificar, S. I. N. (n.d.). *Reglamento De Pólvoras* ,

Explosivos Y Municiones Para Buques , Fuerzas Y Dependencias.

- Moreta, M. (2016). *Una bodega de armas de la Brigada Patria quedó desintegrada | El Comercio*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/bodega-armas-brigada-patria-latacunga.html>
- Olmos, J. (2002). *Tragedia por explosión en cuartel - NOV. 21, 2002 - El País - Historicos* - EL UNIVERSO. El Universo. <https://www.eluniverso.com/2002/11/21/0001/12/D84A780BCAF542A1B6A08C5F72402B56.html>
- PCCASE EP-500 Unidad de - Fuente de alimentación (500 W, 220 V, 50-60 Hz, 5 A, 12V,+3.3V,+5V,+5Vsb,12V, 20 A), Plata: Amazon.es: Informática.* (n.d.). Retrieved February 19, 2021, from <https://www.amazon.es/PC-Case-Gear-EP-500-alimentación/dp/B012OETUXM>
- Radiadores y Ventiladores: Ventilador 12V 180mA 90x90x25.* (n.d.). Retrieved January 11, 2021, from <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/cnc-e-impresoras-3d/radiadores-y-ventiladores/ventilador-12v-0-13a-90x90x25-ventilador-ventiladores-fan,-12v-plasticos-detail>
- Ramírez, G. (2016). *Diseño e implementación de un sistema para detección y monitoreo de la concentración de gas GLP mediante arreglo de sensores orientado al sector residencial. ESPE.*
- Selecky, M. (2003). *School Indoor Air Quality Best Management Practices Manual.* www.doh.wa.gov/ehp/ts/iaq/contact.htm.
- Technology, H. (2015). *User Guide - 4 Channel 5V Optical Isolated Relay Module. Occupational Health & Safety, 74(2), 24.* <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=16274161&site=ehost-live>
- TowerPro. (2020). *TowerPro SG90 Micro Servo. Cytron Technologies, 3–5.* <https://www.cytron.io/p-sg90?search=servo>
<http://www.towerpro.com.tw/product/sg90-7/>

UNIÓN ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS. (2002). *Manual de empleo de explosivos de alfecope alfecope - issuu.* Gráficas Rógar.
https://issuu.com/alfecope/docs/manual_empleo_de_explosivos_uee

Valuados, V., & Gaviria Peña, C. (2016). *Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales PLS Aplicada a Datos.*

Ventilador 12vdc 0.09a Modelo : Hc12s4010h | Mercado Libre. (n.d.). Retrieved January 11, 2021, from https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-428202783-ventilador-12vdc-009a-modelo-hc12s4010h-_JM

Vizuite, J. (2003). *Control y análisis de un inventario mediante un sistema difuso.*