



DISEÑO DE CONTROL DE NIVEL Y CAUDAL DEL PROCESO DE DESCARGUE DE BIODIESEL EN ECOPETROL ESTACIÓN POZOS COLORADOS SANTA MARTA

Jorge Iván Mira Martínez

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa Marta, Colombia

2021

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL RECIBO DEL BIODIESEL EN LLENADERO DE CARRO TAQUES ORLANDO MENDEZ VERA EN ECOPETROL POZOS COLORADOS SANTA MARTA

Jorge Iván Mira Martínez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Ingeniero Electrónico Ph.D., Jairo Luis Daza Castro

Codirector (a):

Línea de Investigación:

Automatización industrial

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Santa marta, Colombia

2021

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mi familia, que es el pilar de mi vida, mi motivación para seguir adelante, y mi ayuda cuando lo he necesitado.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, por darme la salud, la fuerza y la habilidad para poder llevar a cabo esta investigación. Él ha sido mi ayudador y mi amigo fiel en todos los momentos que he vivido.

Agradezco a mi hermosa esposa, por su cuidado hacia mí, por su cariño y apoyo incondicional. A mis hijos, quienes me ayudaron cada vez que lo necesitaba, ellos son mi razón de vivir.

Agradezco al Ingeniero Jairo Daza, por guiarme en este proceso, compartirme sus conocimientos, y animarme para finalizar esta investigación con éxito.

Resumen

El sistema recibo de llenado de Biodiesel en la planta pozos colorado de Ecopetrol se realiza a manera manual por un operario el cual tiene que conectar la manguera de alimentación al camión cisterna que surte al sistema, este a su vez tiene que manipular el flujo de líquido hacia las bombas a través de una tubería dirigida con válvulas de bola mecánicas, la vigilancia del mismo sistema se hace de manera manual esperando a que el tanque se llene y a que el carro tanque se vacíe, esto provoca, un desgaste excesivo debido a que un solo operario debe estar pendiente de todo el proceso del camión cisterna, además de comprometer la salud del operario, debido a los gases del proceso y a la exposición de la piel con el biodiesel. Este proyecto trata de realizar el diseño de un sistema electro-mecánico que resuelva el problema de la vigilancia de las variables, realizando el diseño y la simulación en Simulink Matlab, estableciendo un control PID al motor a través de un variador de frecuencia, y simular el sistema en el software de programación Logosoft para que pueda ser implementado un estudio de viabilidad y así evitar lo más que se puede el contacto con el biodiesel, además de optimizar el llenado de la manera eléctrica mejorando las condiciones de trabajo del trabajador y pudiendo un operario manipular más de una isla de llenado utilizando el LOGO! Siemens, el proyecto genero resultados en la parte teórica de cómo realizar un control PID para evitar golpes de ariete en el sistema además de diseñar un sistema de vigilancia de variables en un proceso industrial, y se puede concluir que es viable su implementación, para prevenir accidentes de trabajo en la planta de Ecopetrol..

Palabras Claves: Bombeo, Bombas Centrifugas, Bombas auto cebantes, Logo, Seguridad de Proceso, Sistemas de Control.

Abstract

The receipt system for filling Biodiesel at the Ecopetrol colorado well plant is carried out manually by an operator who has to connect the supply hose to the tank truck that supplies the system, which in turn has to manipulate the liquid flow. to the pumps through a pipeline directed with mechanical ball valves, the monitoring of the same system is done manually, waiting for the tank to fill and for the tank car to empty, causing excessive wear due to a Only the operator must be aware of the entire process of the tank truck, in addition to compromising the operator's health, due to the process gases and the exposure of the skin with biodiesel. This project tries to carry out the design of an electro-mechanical system that solves the problem of variable surveillance, carrying out the design and simulation in Simulink Matlab, establishing a PID control of the motor through a frequency variator, and simulating the system in the Logosoft programming software so that a feasibility study can be implemented and thus avoid contact with biodiesel as much as possible, in addition to optimizing the filling in the electrical way, improving the worker's working conditions and allowing an operator manipulate more than one filling island using the LOGO! Siemens.

Keywords Centrifugal Pumps, Pumping, Process Safety, Self-priming pumps, Logo, Control Systems.

CONTENIDO

1	Descripción del problema.....	13
1.1	Planteamiento del Problema	13
1.2	Formulación del problema	15
1.3	Estado del Arte.....	16
1.4	Justificación.....	18
1.5	Objetivos	21
1.5.1	Objetivo general.....	21
1.5.2	Objetivos específicos	22
1.6	Alcances	22
1.7	Limitaciones	22
1.8	Metodología.	23
1.9	Cronograma de actividades.....	24
1.10	Ubicación dentro de las líneas de investigación de la facultad	24
1.11	Usuarios directos y forma de utilización de los resultados.....	24
1.12	Presupuesto del Proyecto	25
2	Marco Teórico.....	26
2.1	Marco de referencia	26
2.1.1	Biodiesel.....	26
2.1.2	Cargue y descargue de Biodiesel.	27
2.1.3	Procedimientos para el descargue de biodiesel.....	28
2.1.4	Modelamiento de Sistemas Dinámicos Por el Método de Caja Negra.....	33
2.1.5	Control y Automatización de Procesos	34
2.1.6	Control PID.....	35
2.1.7	Variador de Frecuencia (CicloverSOR).....	36
3	Marco Metodológico.....	38
3.1	Tipo de Investigación	38
3.1.1	Nivel de la investigación	38
3.2	Diseño de la investigación.....	38
3.3	Normativa legal	42
4	Resultados de la investigación.	44
4.1	Análisis e interpretación de los resultados.....	44
4.1.1	Visita a Ecopetrol S.A.	44
4.1.2	Levantamiento de diagrama Hidráulico	46
4.1.3	Levantamiento de diagrama eléctrico	47
4.1.4	Toma de datos de la bomba	49
4.1.5	Modelamiento matemático	50
4.1.6	Simulación de la Bomba en simulink.....	52
4.2	Suavizado y arranque suave de la bomba (Control PID), Diseño de lazo de control. 54	
4.2.1	Aplicación Física del control PID.....	64
4.2.2	Programación del variador de Frecuencia.....	69
4.2.3	Programación de Logo Siemens.....	74
4.3	Lógica del programa.....	76

4.3.1	Programación en FUP.....	76
4.3.2	Simulación del Programa.	83
4.3.3	Conexiones físicas entre Logosoft y Micromaster Siemens.....	88
4.3.4	Protección contra intemperie del sistema.	92
4.3.5	Diseño de tapa para el camión cisterna para el sensor de nivel.	93
4.4	Coste Beneficio.....	94
5	Conclusiones y recomendaciones.	97
5.1	Conclusiones.	97
5.2	Recomendaciones.	97
6	Bibliografía.....	99
7	Anexos.....	101
7.1	Hoja de datos del Sensor de Nivel.	101
7.2	Hoja de datos del Logo.	¡Error! Marcador no definido.
7.3	Hoja de datos del ADC del logo.	¡Error! Marcador no definido.
7.4	Hoja de datos del Variador de frecuencia MlcroMaster	¡Error! Marcador no definido.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1-1. Vista lateral camión de cisterna Distribución Interna.	14
Figura 1-2. Manguera de Alimentación del tanque de Biodiesel.	14
Figura 1-3. Acople de la manguera de Descarga y bomba de alimentación, Válvula de Alimentación.....	15
Figura 1-4: exposición del operario al biodiesel al medir el nivel del camión.	19
Figura 1-5: toma de la medida de un tanque en una estación de gasolina.	20
Figura 1-6: Ubicación de pozos colorados desde google earth.....	23
Figura 2-1: Ingreso del camión a baja Velocidad.....	28
Figura 2-2: parqueo de carro tanque preparado para descargue.....	29
Figura 2-3: Kit Anti derrame.....	29
Figura 2-4: Conexión anti estática.	30
Figura 2-5: Extintor satélite ubicado con el kit anti derrame.....	30
Figura 2-6. Bandeja anti goteo en bocatoma de vaciado.	30
Figura 2-7: Señalización de Descargue.....	31
Figura 2-8: Inspección visual del tanque desde la parte superior.	31
Figura 2-9: Cierre de surtidores por control de Inventarios.	32
Figura 2-10: Verificación de alguna fuente de ignición.....	32
Figura 2-11: vigilancia de la manguera en caso de derrame.....	33
Figura 2-12. Diferentes tipos de Modelamiento Matemático de un sistema dinámico	33
Figura 2-13.Sistema de control en lazo cerrado	35
Figura 2-14: Representación de un control PID.....	36
Figura 2-15: diagrama básico de un cicloversor standard.....	37
Figura 2-16: lazo de control de Cicloversor.	37
Figura 4-1: Inspección manual del Camión cisterna.	44
Figura 4-2: medición de nivel del tanque de almacenamiento.	45
Figura 4-3: Verificación de nivel del camión cisterna.	45
Figura 4-4: Encendido de la bomba.....	46
Figura 4-5: Diagrama Hidráulico del sistema.	47
Figura 4-6: Diagrama eléctrico del motor.....	48
Figura 4-7: Placa de la Bomba Instalada.....	48
Figura 4-8: Grafica de Flujo vs Tiempo (y,x).....	50
Figura 4-9: Cruce de T contra el Tiempo.	51
Figura 4-10: Datos bloque de transferencia Simulink	52
Figura 4-11: Sistema modelado en simulink.	53
Figura 4-12: modelo matemático con escalones unitarios simulando encendido y apagado del sistema.....	53
Figura 4-13: Grafica de escalón unitario respuesta al encendido y apagado de la Bomba.	54
Figura 4-14: grafico de sintonización y mejoramiento para sistemas con tiempo muerto de Dahlin.....	55
Figura 4-15: Grafica del sistema del sumidero (identificación de Variables)	56

Figura 4-16: control PID vs Sistema lazo Abierto.	58
Figura 4-17: Valores introducidos en el bloque PID de Simulink	58
Figura 4-18: Control PID vs Sistema a lazo abierto.	59
Figura 4-19: Escalamiento de los valores PID en el bloque en simulink.	60
Figura 4-20: Control PID escalado vs Sistema sin control.	60
Figura 4-21: escalamiento a 0.15 control PID vs Sistema sin control.	61
Figura 4-22: escalamiento a 0.1 control PID vs Sistema sin control.	61
Figura 4-23: Control PID simulando una perturbación	62
Figura 4-24: perturbación aplicada en el segundo 50, perturbación negativa.	63
Figura 4-25: perturbación aplicada en el segundo 50, perturbación Positiva.	63
Figura 4-26: Bornera de conexiones del sensor de flujo Optiflux 4000.	65
Figura 4-27: Bornera de conexiones del variador de frecuencia.	66
Figura 4-28: Conexiones físicas de Potencia del Variador de Frecuencia	67
Figura 4-29: Diagrama de Conexiones eléctricas del variador de frecuencia para el Variador de frecuencia.	67
Figura 4-30: Diagrama hidráulico con el medidor de flujo.	68
Figura 4-31: Recomendación de uso sobre el control PID según siemens.	68
Figura 4-32: Aplicación del sensor Scully Five-wire optic	69
Figura 4-33: PID interno en el variador de frecuencia.	74
Figura 4-34: Interfaz gráfica de Logosoft y diagrama en lenguaje FUP.	75
Figura 4-35: Ubicación de los sensores de distancia.	75
Figura 4-36: Diagrama FUP de la lógica del camión.	77
Figura 4-37: Configuración del bloque de comparación.	78
Figura 4-38: Lógica de vaciado del tanque.	79
Figura 4-39: configuración del bloque de comparación.	79
Figura 4-40: Diagrama FUP de la premisa del tanque principal.	80
Figura 4-41: configuración de Bloque de comparación.	81
Figura 4-42: Lógica premisa de on-off con un solo botón.	82
Figura 4-43: Diagrama FUPO de la logica y las premisas.	82
Figura 4-44: Panel de simulación de entradas y salidas Logosoft.	83
Figura 4-45: simulación del sistema.	84
Figura 4-46: activación del motor de la bomba.	85
Figura 4-47: Falla de la cortina cerrada en el camión cisterna.	86
Figura 4-48: Apagado de la bomba por bajo nivel en la cisterna.	87
Figura 4-49: Lógica de Llenado de tanque principal.	88
Figura 4-50: Imagen de LOGO V8.	89
Figura 4-51: Fuente Siemens 24VDC.	90
Figura 4-52: modulo conversor análogo digital siemens LOGO! 8 AM2	91
Figura 4-53: Diagrama Eléctrico de control del Variador de frecuencia	91
Figura 4-54: Plano aproximado de ubicación de componentes.	92
Figura 77: Dibuje en 3D de la tapa.	93
Figura 78: Cotas de la tapa.	94

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1-1: Cronograma de actividades.....	24
Tabla 1-2: Presupuesto.	25
Tabla 2-1: Lista de pruebas para el aceite de girasol.....	27
Tabla 4-1. Toma de Muestras del medidor de Caudal.	49
Tabla 4-2: fórmulas de Dahlin para controladores P, PI, PID.....	56
Tabla 4-3: Comparativa ABB vs Siemens.....	64
Tabla 4-4: Tabla de comandos del variador de frecuencia.	70
Tabla 4-5: tabla de posibles valores que puede adquirir el Código P0003.....	70
Tabla 4-6:tabla de posibles valores que puede adquirir el Código P0010.....	71
Tabla 4-7:Tabla de configuración de Variador de frecuencia para un motor.	72
Tabla 4-8: Tabla de comandos para entradas digitales.	73
Tabla 4-9: Valores para el tipo de entrada digital.....	73
Tabla 13: coste del proyecto.....	95
Tabla 14: Ahorro de dinero en la implementación del sistema.....	96

Introducción

Durante el transporte de combustibles líquidos, es necesario tomar medidas de prevención y control para evitar efectos adversos sobre la salud de las personas e impactos negativos al ambiente, el desgaste de una persona al subir y bajar una escalera para verificar que el tanque este lleno.

En el documento se presentan, las hojas de seguridad del producto, y con ellas una lista de verificación que permite un chequeo rápido de los parámetros establecidos en el decreto 1609 del Ministerio de Transporte, definiendo responsabilidad de cada una de las personas involucradas en el Proceso de transporte del combustible (Ver Anexo #1) (Ministerio de Transporte, 2002, pág. 5).

Se utilizan las herramientas de simulación existentes, como son Matlab-simulink, para poder diseñar el sistema de control lazo cerrado con el PID, este posteriormente puede ser utilizado para realizar la programación del sistema a través de las herramientas provistas por Siemens, que también manejan sus simuladores para ayudar al programador a realizar pruebas de ensayo y error, visualizando el proceso mediante la simulación de las variables modificando registros.

La existencia de los variadores de frecuencia ayuda a los motores a realizar comportamientos deseados a sistemas que por naturaleza son toscos al momento del arranque gracias al torque instantáneo que ofrecen los motores eléctricos, el torque instantáneo genera en las bombas de agua un golpe de ariete que puede ayudar a soltar la tubería y provocar derrames de líquido (San Juan, 2016), otra causa de los golpes de ariete es el cierre de las válvulas de manera repentina por el repentino cambio en la velocidad del líquido, todo esto se soluciona cerrando las válvulas de una manera lenta o apagando la bomba de una manera suave.

Se busca mediante el desarrollo del presente proyecto evitar la exposición de las personas con el Biodiesel y optimizar las funciones de vigilancia del llenador, además de poder manipular muchos más procesos de manera simultánea esto se logra gracias a la identificación del proceso para el posterior diseño del sistema utilizando un PLC de Gama Baja LOGO!, vigilando los dos tanques, y apagando la bomba de manera automática o en caso de un evento fuera del proceso (derrame), apagar desde cualquier lugar de la instalación, o desde una probable pantalla HMI.

Presentación del proyecto

1 Descripción del problema

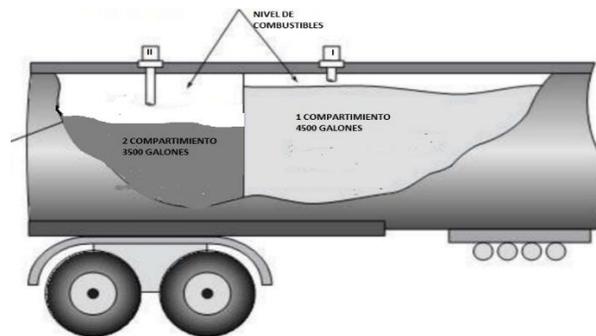
1.1 Planteamiento del Problema

Los derrames de hidrocarburos en la industria de la distribución y consumo de los mismos, es muy habitual en el sector, estos derrames provocan exposición a estos químicos que pueden provocar daños a la salud de las personas, solo la inhalación de los vapores provoca que se tengas grandes probabilidades de contraer una enfermedad respiratoria, y al tener contacto cutáneo con el puede provocar cáncer de piel. Todo esto se debe a que el petróleo contiene materiales pesados nocivos para la vida como lo son el vanadio, el níquel, el cobre y el hierro, además de que para su refinamiento se utilizan policíclicos (PAH), los cuales generan que los alveolos de los pulmones mueran o se degeneren (Cáncer de pulmón) (GreenPeace, pág. 1).

El benceno es un químico el cual provoca irritación en la piel al contacto, en la vía tracto respiratoria puede provocar náuseas y vértigo, además que es un cancerígeno peligroso, que puede causar leucemia en contactos prolongados con el químico (Agencia para Sustancias Toxica y registro de Enfermedades, 1999, págs. 1-3).

Las cisternas se encuentran divididas en 2 compartimientos estos a su vez tiene una compuerta interna de un diámetro de 3 pulgadas, la cual debe ser abierta de manera manual con una válvula en la parte superior, al no estar atento a la apertura de estos compartimientos en la parte de llenado, provoca un derrame y en la etapa de Descargue, provoca que el operario se confié del nivel del camión cisterna y por estar vigilando otro llevadero, realizando otra función o simplemente estar desplazándose del camión cisterna al tanque de almacenamiento, se provoca un derrame en el lugar, provocando la limpieza del lugar. Y exposición, absorción de vapores por parte del personal de limpieza y del operario, generando contacto con el líquido.

Figura 1-1. Vista lateral camión de cisterna Distribución Interna.



Fuente: (Castillo Rojas , 2012, pág. 12)

Las válvulas del sistema se abren y se cierran de manera manual, provocando que pueda haber un retorno del líquido por la misma tubería, además de que el mismo remanente del Biodiesel, que queda en la tubería de admisión se devuelve como se muestra a continuación.

Figura 1-2. Manguera de Alimentación del tanque de Biodiesel.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se muestra en el piso de la anterior ilustración se observan las manchas de residuos de biodiesel, al momento de acoplar y desacoplar la alimentación del camión cisterna.

Al Descargar el camión cisterna y no cerrar la alimentación, Al no estar pendiente de la apertura de la alimentación y de la descarga del producto, la bomba autocebante pierde caudal y se genera un golpe de ariete que genera un derrame del producto, por parte de

la alimentación, además del remanente que queda al desacoplar la manguera. A continuación se muestra la válvula de bola que controla la alimentación del Descargadero.

Figura 1-3. Acople de la manguera de Descarga y bomba de alimentación, Válvula de Alimentación.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se muestra en la figura, el camión no posee ningún sensor que le avise al operario si se ha Descargado totalmente, se tiene que supervisar de manera visual el camión, esto exponiendo al operador a vapores nocivos, al terminar de Descargar el camión, se debe primero cerrar la válvula de alimentación de la bomba, apagar el sistema y posteriormente desacoplar la manguera del camión, por tal motivo el operador también se expone al contacto cutáneo con el químico.

1.2 Formulación del problema

Todo lo expuesto anteriormente lleva a realizar la siguiente pregunta.

¿Cómo se podría mejorar las condiciones de seguridad para el personal de descargue y automatizar el descargue de carro tanques, de una manera óptima en la planta pozos colorados?

1.3 Estado del Arte

En busca de solucionar el problema antes mencionado, se tendrá en cuenta el siguiente material bibliográfico del cual se destacan algunas referencias tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de poder suplir los requerimientos de los objetivos planteados.

En las estaciones de gasolina, el sistema de descargue se hace a través de gravedad, y en lugares donde es crítico la velocidad, se utilizan bombas autocebantes, las cuales impulsan el producto y descargan la cisterna en menor tiempo, al realizar el descargue por el método de gravedad, se elimina el factor golpe de Ariete, esto debido a la auto succión provocada por el mismo líquido y por el desnivel provocado por el tanque en caso de que el tanque sea subterráneo, y cuando el tanque de almacenamiento se encuentra aéreo o terrestre, se necesitan utilizar bombas para descargar el producto (Terpel, págs. 11-14).

Se busca literatura a nivel internacional, en los Descargaderos de Biodiesel y se utilizan controladores PID, acoplados con variadores de Frecuencia, utilizando sensores de presión para evitar golpes de ariete, y sensores de estática para mayor seguridad, en el sistema de bombeo se elimina el sistema on-off, para evitar los golpes de ariete, y se utilizan sensores ópticos para evitar los derrames, sensores de flujo y presión, por cada tramo de la tubería. (EKIP, 2017).

Según la SCHC-OHSA Alliance el cargue y descargue de líquidos inflamables a nivel mundial se rige por varias normas, pero todas coinciden en la parte de evitar la estática y evitar la reducción de los tubos lo más que se pueda, todo esto debido a que el líquido es espeso e inflamable, al tener estas propiedades, el rozamiento de grandes cantidades de este líquido generan estática, que puede provocar chispas y arcos eléctricos, por tal motivo se deben evitar cualquier tipo de energía estática en las tuberías, para asegurarse de esa labor, toda la instalación debe tener un enmallado a tierra y así toda la energía generada por el roce del líquido se cancela (Sistema Globalmente Armonizado (GHS), 2010).

Por tanto los líquidos se separan en riesgos de por categorías, por las cuales se pueden generar descargas eléctricas. Por tal motivo en estados unidos como en el resto de mundo, en la mayoría de descargaderos industriales de biodiesel, utilizan bombas de descargue con variadores de frecuencia para aumentar o disminuir el flujo del líquido de manera gradual y no se produzcan los indeseables golpes de ariete, o que disminuya la sección en una válvula de manera rápida, haciendo que el rozamiento se incremente y por ende se produzca energía estática que provoque un incendio. En los sistemas más avanzados, los variadores de frecuencia utilizan para la toma de decisiones un control PID escalado lento, pero no genera choques bruscos y suaviza la respuesta necesaria para evitar conflagraciones indeseadas (Honeywell).

Por la naturaleza de la viscosidad del producto, el residuo en las tuberías es inmutable, a pesar de tratar de impedir, por la premura del descargue de los camiones, se puede incurrir en derrames por culpa de la acumulación de producto en la tubería de descargue.

A nivel nacional tenemos los siguientes estudios realizados:

A nivel local, las estaciones de distribución de hidrocarburos tienen protocolos de cargue y descargue, pero al ser pequeñas en comparación con Ecopetrol, se tendrán en cuenta solo la parte de seguridad industrial (Terpel, págs. 11-14), también serán tenido en cuentas otras fuentes en la parte de automatización y control en el llenado, cargue y descargue de productos como lo son los siguientes trabajos, (Peña, págs. Peña, E. (2009). Reforma y automatización del CIP de carro tanques y silos de almacenamiento en la Cooperativa Colanta Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Control de la Universidad Nacional de Colombia. Me) (PEÑA LONDOÑO, 2009).

En el sector palmero se aplican todas las normas anteriormente mencionados, debido a que el biodiesel es una mezcla del diésel convencional, con el biodiesel generado por la extracción del aceite de palma, de ahí se presentan las nomenclaturas, B10, B15, donde el B es de Biodiesel y el número es el porcentaje de biodiesel en la mezcla con diésel estándar (Lombana Coy, Vega Jurado, Britton Acevedo, & Herrera Velasquez, 2015, págs. 15-16).

Al ser un producto extraído del aceite de palma, o de otras materias primas, no indica que sea más seguro para las personas, debido a que sigue conteniendo alcoholes y químicos nocivos para el ser humano. (Lombana Coy, Vega Jurado, Britton Acevedo, & Herrera Velasquez, 2015, págs. 143-144)

Este proyecto abarca temas como el proceso automatizado en donde todas las variables son:

Realizar todas las funciones de descargue de los carro tanques y llenado de los silos de almacenamiento con las funcionalidades propias en el desarrollo de ingeniería, con la instrumentación pertinente para asegurar que apertura de las diferentes válvulas de presión y descarga de las soluciones, manejo de bombas y tiempos de circulación, hasta el manejo de las variables de temperatura, nivel, presión, concentración sean monitoreadas a través de un sistema SCADA. El sistema es respaldado por el diagrama PID en donde se evidencia los diferentes flujos ya sea de leche o de CIP, los equipos y la instrumentación involucrada.

Por otra parte, se ha tomado como referencia el proyecto de grado llamado Gutiérrez Jiménez, práctica industrial en apoyo a la automatización de equipos para la confiabilidad de un óptimo suministro de combustible, en donde realizo como apoyo a la automatización y control de equipos eficientes confiables seguros y rentable para el suministro de combustibles recopilando información diaria de registro de control, en el manejo de la instrumentación en tanques y la electrónica de control y automatización de la estación de llenado de carro-tanques: (Castillo-Rojas, pág. Automatización en el llenado de los camiones cisterna en los planteles de RECOPE).

1.4 Justificación

Hoy en día la Ingeniería ha venido revolucionando los procesos industriales que se desarrollan en las grandes compañías a nivel nacional e internacional, debido a que, la demanda de sistemas robustos que les permiten operar de forma continua han aumentado.

A nivel técnico, se necesita un sistema que exponga menos al operario, acoplado sensores que avisen sobre el nivel del tanto el camión sistema, como el del tanque de almacenamiento, también se evitara golpes de ariete en las tuberías y roces incensarios por reducción de las mismas al momento de cerrar, además se evitara errores humanos o por lo menos se minimizaran al momento de la operación.

Figura 1-4: exposición del operario al biodiesel al medir el nivel del camión.



Fuente: (Terpel).

Además de exponer menos a las personas y evitar daños en la salud de los trabajadores, de una manera social, también se evita el derrame del material al momento de medir el nivel del tanque con el método tradicional el cual incrementa la exposición al líquido de manera bastante significativa.

Figura 1-5: toma de la medida de un tanque en una estación de gasolina.



Fuente: (Terpel).

Por tal razón, las empresas se ven en la obligación de estar a la vanguardia de la tecnología y así, garantizar sus métodos de trabajo con altos estándares de calidad, conservando además la preservación del medio ambiente. Esto obliga a los ingenieros a trabajar en el desarrollo de sistemas inteligentes que cumplan con las exigencias de los procesos industriales actuales.

En la parte social se evitan daños a largo plazo a la salud de los operarios y malos olores en el lugar, además de no dejar destapados los tanques evitando vapores nocivos para el medio ambiente, como se muestra en las figuras Figura 1-4: exposición del operario al biodiesel al medir el nivel del camión. Y Figura 1-5: toma de la medida de un tanque en una estación de gasolina. La exposición es alta debido al estar en contacto con los olores y químicos durante periodos prolongados, pese a tener todos los elementos de protección, nunca será Cero la exposición, ya que se debe tocar con las manos los guantes y las máscaras utilizadas para evitar los vapores, no filtran el aire al 100% además de la explosión de la piel a los vapores al momento de verificar, quitar y poner la manguera en su lugar (Lara, 2018).

En la parte metodológica, se justifica al introducir a la universidad el estudio de controles básicos para el control de sustancias volátiles, como se ha mencionado anteriormente, estos generan grandes daños a la salud.

Socialmente, si el proyecto tiene un coste beneficioso, se puede utilizar para descargar los camiones sistema de manera automática evitando la exposición del personal y evitando los vapores generados en el proceso, además de que puede llegar a ser implementado en las estaciones de gasolina y todos los descargaderos de biodiesel a nivel nacional.

En el Área de Descargue cada vez que ocurre un error con el operario, debido al desperdicio tirado al suelo en la parte del descargue, o la el mal cierre de una de las válvulas manuales, que repercute en el desperdicio por la alimentación del sistema. Este desperdicio es grave debido al contacto directo con el líquido en la piel, que puede provocar enfermedades en la cutáneas, el contacto indirecto (Vía Aérea), provoca enfermedades respiratorias, neumonía y además pulmonares, tanto para los operarios, como para el conductor del camión. Y en la parte medio ambiental, los olores y la evaporación del líquido producen daños a la flora del lugar además de molestar a los usuarios de los hoteles en la zona de pozos colorados (Agencia para Sustancias Toxica y registro de Enfermedades, 1999).

La principal razón de automatizar es el incremento de la productividad, ello se logra racionalizando las materias primas e insumos, reduciendo los costos operativos, el consumo energético, incrementando la seguridad de los procesos, optimizando el recurso humano de la empresa y mejorando el diagnostico, supervisión y control de calidad de la producción.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseño de control de nivel y caudal del proceso de descargue de biodiesel en Ecopetrol estación de carro taques ORLANDO MENDEZ vera en santa marta, para evitar daños a la salud y medio ambiente a causa de los derrames del producto.

1.5.2 Objetivos específicos

- Documentar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Analizar los datos obtenidos en campo para representar el sistema abierto con un diagrama de bloques.
- Realizar el control PID y validar el modelo con el software Simulink-Matlab.
- Programar y Simular la Lógica del sistema en el software LogoSoft.
- Realizar coste Beneficio del sistema.

1.6 Alcances

Dentro de los alcances esperados en el presente proyecto se encuentra realizar el diseño electromecánico de la automatización de Descargue de producto Biodiesel para la planta de Pozos Colorados en la ciudad de santa marta, con el fin de presentar un precedente en la resolución de problemas para la empresa, se utilizarán herramientas como Simulink-Matlab, y la programación del sistema se hará con un Logo! Siemens simulado en su propio software, además de entregar los diagramas eléctricos y mecánicos.

1.7 Limitaciones

La principal limitación de este proyecto de grado es la de no implementar el diseño del sistema de control on-off, esto sucede debido a que la empresa tiene que dar el aval para la construcción física del proyecto con los resultados obtenidos en la investigación. Posterior a esto, otra limitación es que no se hará un prototipo por los costos de los dispositivos electrónicos y por los tiempos de entrega del proyecto, por tanto, se propone la simulación en Simulink-Matlab y en el software de Logo! Siemens.

El diseño se hará para la planta pozos curados ubicada en la ciudad de santa marta – Magdalena Colombia, L 11,16649 N, L -74,226996 O.

Figura 1-6: Ubicación de pozos colorados desde google earth



Fuente: Autor del Proyecto.

1.8 Metodología.

El proyecto se va a manejar con una metodología descriptiva, así que proporciona información comparable con la de otras fuentes y con medios primarios obtenidos en campo, la cual es descrita por (Arias, 2012) como “una investigación que consiste en la recolección de datos se ejecuta en el lugar de la operación a manera directa de observación (datos primarios), sin manipular o controla variable alguna” (Arias, 2012, pág. 31). Así que el estudio presentado se define como una investigación de campo, debido a que los datos serán extraídos en forma directa en campo.

1.9 Cronograma de actividades

A Continuación se presenta el siguiente cronograma de actividades.

Tabla 1-1: Cronograma de actividades

OBJETIVOS	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Objetivo General												
Diseñar la automatización del sistema de descargue para carro tanques cisterna en la planta pozos colorados de ECOPEPETROL para evitar daños a la salud y medio ambiente a causa de los derrames del producto.												
Objetivo Especifico												
Toma de muestras de presión y nivel para realizar modelo matemático del sistema.												
Documentar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.												
Diseñar el sistema de control de lazo cerrado												
Realizar la simulación en el software Simulink-Matlab.												
Programar y Simular la Lógica del sistema en el software LogoSoft.												
Realizar coste Beneficio del sistema												

Fuente: Autor del Proyecto.

1.10 Ubicación dentro de las líneas de investigación de la facultad

El desarrollo de este proyecto de grado se encuentra enfocado en la línea de investigación de automatización industrial. Dentro de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la UAN.

1.11 Usuarios directos y forma de utilización de los resultados

Los usuarios directos que se verán beneficiados con la realización de este proyecto son los trabajadores de la planta pozos colorados de Ecopetrol S.A, ya que con la automatización del sistema de descargue de carro tanques, asegura una optimización en el proceso, garantiza y mejora las condiciones laborales del operador.

1.12 Presupuesto del Proyecto

A continuación se presenta el presupuesto del proyecto.

Tabla 1-2: Presupuesto.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UND	VALOR TOTAL
Mano de Obra				
1	día de investigación	90	\$ 50.000	\$ 4.500.000
Transportes				
2	Transporte a Visitas de campo Extra laborales	10	\$ 50.000	\$ 500.000
Papelería				
3	Impresión de fotocopias	5	\$ 100.000	\$ 500.000
4	libretas de ensayo	1	\$ 3.500	\$ 3.500
Software				
5	Software matlab Student	1	\$ -	\$ -
6	Software Logosoft Student	1	\$ -	\$ -
Total				\$ 5.503.500

Fuente: Autor del Proyecto.

2 Marco Teórico

A continuación se presenta toda la teoría necesaria y los términos utilizados dentro del desarrollo del proyecto.

2.1 Marco de referencia

2.1.1 Biodiesel.

El biodiesel se define como el combustible que es extraído de la materia orgánica (seres vivos), este biocombustible, se puede utilizar en los motores convencionales, y se encuentra regulado por la ley 939 de 2004, que regula la producción y comercialización del combustible, esto evitando que todas las tierras fértiles de Colombia se vuelvan productoras de Aceites Vegetales, (Cacao, Palma Africana, caucho, cítricos y frutales) desplazando las cosechas fértiles (Gobierno Colombiano, 2004, pág. 2).

El biodiesel es un combustible extraído de Aceites de palma, definido por la norma ASTM D-6751 (American International for Testing and Materials por sus siglas en inglés) como “ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, el cual debe ser mezclado con Diésel Hidrocarburo, para reducir el uso de hidrocarburos contaminantes, esta mezcla se realiza a maneras de porcentaje, 5-95, 10-90 e incluso 0-100, estos biodiesel recibe una nomenclatura BXX, donde las XX es el porcentaje de biodiesel mezclado con el diésel ordinario, existe el biodiesel B5, B10, b100 y así sucesivamente el diésel es uno de los combustibles que emite mayor polución, pero el diésel es el combustible más económico que existe, sus motores consumen menor cantidad de combustible y ofrecen un mayor torque que los motores a gasolina ordinarios, pero ofrecen menos caballos al requerir, por tal motivo, no se pueden utilizar motores diésel en los automóviles de carreras, pero si se pueden utilizar en vehículos de carga, debido a su par torsión que le permite romper la inercia de la carga de un camión fácilmente (Jorge, 17).

Tabla 2-1: Lista de pruebas para el aceite de girasol

Propiedad	Ensayo	Descripción
Punto de inflamación	ASTM D93	Procedimiento para determinar el punto de inflamación en el rango de 40 a 360 °C empleando equipo Pensky-Martens, funcionamiento y preparación.
Metanol residual	ISO 14110	Método para determinar contenido de metanol residual en ácidos grasos.
Contenido de éster	EN 14103	Equipos, reactivos y procedimiento para determinar el contenido de alquil éster en ácidos grasos.
Contenido de agua	ASTM E203	Guía para determinar contenido de agua por titulación volumétrica de Karl Fisher, equipo y concentración de reactivos.
Glicerina libre Glicerina total	ASTM D6584	Determinación de glicerina libre y total en biodiesel B100 por cromatografía. Equipos, reactivos y materiales.
Sodio Potasio	ASTM D5863	Métodos para determinar contenido de Ni, V, Fe, K, Na por espectrometría absorción atómica (AAS). Instrumentos, reactivos y manejo de muestras.
Cenizas sulfatadas	ASTM D874	Métodos para determinación de cenizas sulfatadas. Muffla requerida y manejo de muestras.
Carbón residual	ASTM D4530	Determinación de carbón residual formado después de ser sometido a evaporación y pirolisis. Instrumentos y horno requeridos.
Numero de cetano	ASTM D613	Determinación del índice de cetano en combustibles diesel, dispositivo de combustión requerido y método empleado.
Punto de niebla	ASTM D2500	Equipo, instrumentos y reactivos para determinar punto de niebla en combustibles que son transparentes en capas de 40mm de espesor y con punto de niebla inferior a 49°C.

De acuerdo a (Arias perez, Teuta Ramirez, & Parra Plazas, 2011, pág. 2) al biocombustible s le deben realizar ciertas pruebas, para determinar la viabilidad del Biodiesel, según ellos, el biodiesel genera menor cantidad de co2 pero aumenta la ceniza al momento de la combustión, dañando los motores por exceso de cenizas expulsada, el diésel puro por el contrario disminuye la ceniza pero aumenta el nivel de CO2 lanzado al ambiente, por tal motivo dependiendo de la calidad del biocombustible, debe ser mezclado con diésel oil para lograr un equilibrio entre el libamiento de CO2 y el lanzamiento de cenizas al aire.

2.1.2 Cargue y descargue de Biodiesel.

El cargue y descargue de sustancias volátiles peligrosas, se encuentra regida por la Ley 1028/2006 Apoderamiento de Hidrocarburos, Decreto 1609/2002 expedida por el Ministerio de Transportes, la cual regula el transporte, señalización, cargue y descargue de sustancias peligrosas, además que esta ley se basa en la Norma técnica colombiana ISO 14001 que es la guía que todas las empresas de hidrocarburos siguen (Terpel, pág. 10). Esto requiere que el vehículo, no supere ciertos parámetros, como el de baja velocidad por debajo de los 10 km/h en el lugar de descargue, tener vacías las mangueras para el descargue del vehículo, una inclinación en caso que el descargue sea por gravedad etc.

2.1.3 Procedimientos para el descargue de biodiesel.

Según (Terpel, pág. 13) el descargue de cualquier hidrocarburo debe hacerse de la siguiente manera:

- La velocidad de ingreso del carro tanque debe ser de máximo 10 km/h, y el conductor debe parquear en un sitio que no impida el desarrollo normal de las operaciones mientras se inicia el descargue.
- La ubicación del carro tanque debe ser adecuada para que el vehículo pueda ser evacuado fácilmente en caso de emergencia. Así mismo, se debe revisar que no existan alrededor cables de alta tensión que puedan hacer contacto con la vara de medida.

Figura 2-1: Ingreso del camión a baja Velocidad



Fuente: (Terpel, pág. 11)

- Una vez el carro tanque está en el lugar de paqueo designado para el descargue se debe:

Tener el motor apagado

- ✓ El interruptor desconectado
- ✓ Las llaves puestas
- ✓ Las luces apagadas
- ✓ Los frenos auxiliares aplicados
- ✓ El conductor debe dejar el teléfono móvil apagado dentro la cabina del vehículo.

Figura 2-2: parqueo de carro tanque preparado para descargue.



Fuente: (Terpel, pág. 11)

- El kit de derrames del carro tanque debe ser ubicado dentro de la zona de descargue y en caso de existir una alcantarilla cercana, es necesario ubicar la barrera oleofílica que proteja la entrada al sumidero para evitar que, en caso de derrame, la alcantarilla se vea afectada.

Figura 2-3: Kit Anti derrame.



Fuente: (Terpel, pág. 11)

- Conectar el vehículo a la estática de la EDS.

Figura 2-4: Conexión anti estática.



Fuente: (Terpel, pág. 11)

- Ubicar el extintor satélite junto al kit anti derrames.

Figura 2-5: Extintor satélite ubicado con el kit anti derrame.



Fuente: (Terpel, pág. 11)

- Se requiere colocar la bandeja de control de derrames o elemento de contención debajo de la conexión del carro tanque y la manguera de descargue.

Figura 2-6. Bandeja anti goteo en bocatoma de vaciado.



Fuente: (Terpel, pág. 11).

Para evitar accidentes con personal o Vehículos, es necesario aislar la zona de descargue utilizando la señalización.

Figura 2-7: Señalización de Descargue.



Fuente: (Terpel, pág. 11).

Combustible, hay que realizar una inspección visual del vehículo para garantizar que no existan perforaciones visibles en el tanque; y que todas las conexiones, tapas del tanque y bequereles estén herméticas.

Figura 2-8: Inspección visual del tanque desde la parte superior.



Fuente: (Terpel, pág. 11).

Suspender la venta en los equipos dispensadores asociados al tanque seleccionado para recibo de producto, con el fin de garantizar el control del inventario.

Figura 2-9: Cierre de surtidores por control de Inventarios.



Fuente: (Terpel, pág. 11).

Realizar la medición de los compartimientos del vehículo teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias para la ejecución de la actividad (trabajo en alturas).

Conectar la manguera de descargue al bequerel del Spill Container y verificar su correcto ajuste.

Figura 2-10: Verificación de alguna fuente de ignición.



Fuente: (Terpel, pág. 11).

Durante el proceso, el conductor y el responsable de la EDS deberán permanecer vigilantes al lado de las válvulas de descargue, siempre y en todo momento, con el fin de detener la operación ante cualquier emergencia.

En caso de presentarse goteos, estos deben ser reparados antes de continuar con el descargue.

Figura 2-11: vigilancia de la manguera en caso de derrame.

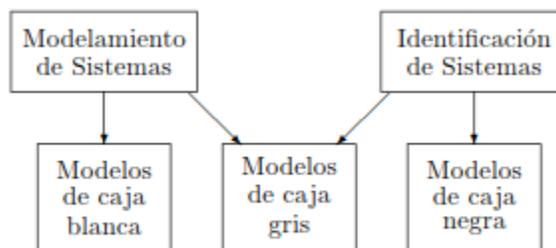


Fuente: (Terpel, pág. 11).

2.1.4 Modelamiento de Sistemas Dinámicos Por el Método de Caja Negra.

Según (Duarte V, 2010) los sistemas dinámicos pueden ser representados por ecuaciones diferenciales, todas estas ecuaciones pueden obtenerse siempre y cuando el sistema sea transparente, o pueda ser analizado, por eso duarte estableció que los sistemas dinámicos pueden estar divididos en 3 tipos de sistemas dependiendo de la transparencia del sistema o que tanto el fabricante permita el análisis del mismo, siendo estos Caja negra (es un sistema totalmente cerrado y solo son observables sus entradas y sus salidas), caja gris (se observan ciertos componentes y otros de los componentes son cerrados y solo son observables sus entradas y sus salidas) y caja blanca (un sistema transparente, totalmente observable y que permite sacarle las funciones de transferencia a cada uno de los componentes que lo conforman) (Duarte V, 2010, pág. 4).

Figura 2-12. Diferentes tipos de Modelamiento Matemático de un sistema dinámico



Fuente (Duarte V, 2010, pág. 4).

2.1.5 Control y Automatización de Procesos

Se define como control y automatización de procesos, al conjunto de acciones y técnicas utilizadas, para mantener una variable en un rango estable o definido por el usuario del sistema.

Para entender el control y la automatización de proyectos se debe recurrir a bibliografía especializada, a continuación se muestran algunos términos utilizados en el trabajo (OGATA, 2000, págs. 1-5).

Variable controlada y señal de control o variable manipulada. Se define como una variable, a un elemento que dependa del sistema (entrada o salida de algún proceso o componente, que pueda ser controlado o vigilado), para el caso del sistema de descargue, sería el flujo de líquido y la cantidad de líquido que pasa a través del sistema.

Plantas. La planta se define como el sistema que manipula la variable, en este caso sería el sistema de tuberías por donde pasa el Biodiesel y el tanque de almacenamiento del sistema de descargue.

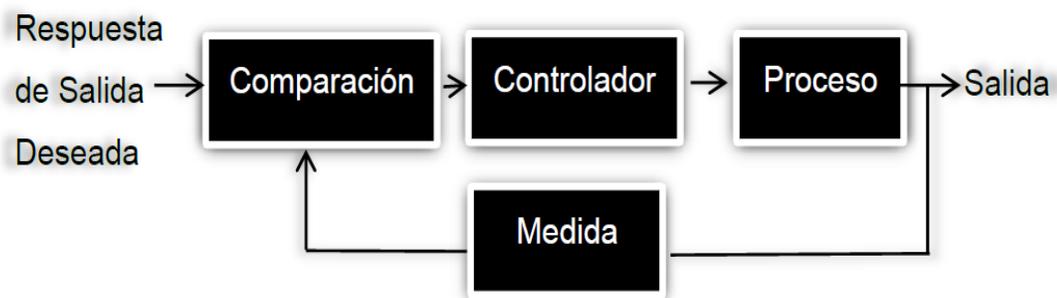
Procesos. Es una operación o desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que están sucedidos unos a otros de manera secuencial que conducen a un resultado o propósito determinado, de todas formas puede ser una operación artificial o voluntaria, (OGATA, 2000) en este caso es una serie de acciones o movimientos controlados, los cuales son dirigidos de manera sistemática para que funcionen de una manera determinada.

Al tener un conjunto de equipos y componentes, que permiten llevar a cabo las operaciones. De un control se tiene un sistema de control. Existen dos formas básicas de identificar los sistemas de control, la llamada "lazo abierto y la otra que se denomina "lazo cerrado".

Sistema de control en lazo abierto. Es un sistema donde no se vigila la entrada con respecto a la salida para tomar una decisión

Sistema de control en lazo cerrado. Un sistema a lazo cerrado se define como el sistema que posee algún tipo de retroalimentación de la salida con respecto a la entrada, para poder realizar, el diagrama de flujo del control en lazo cerrado se muestra a continuación:

Figura 2-13. Sistema de control en lazo cerrado

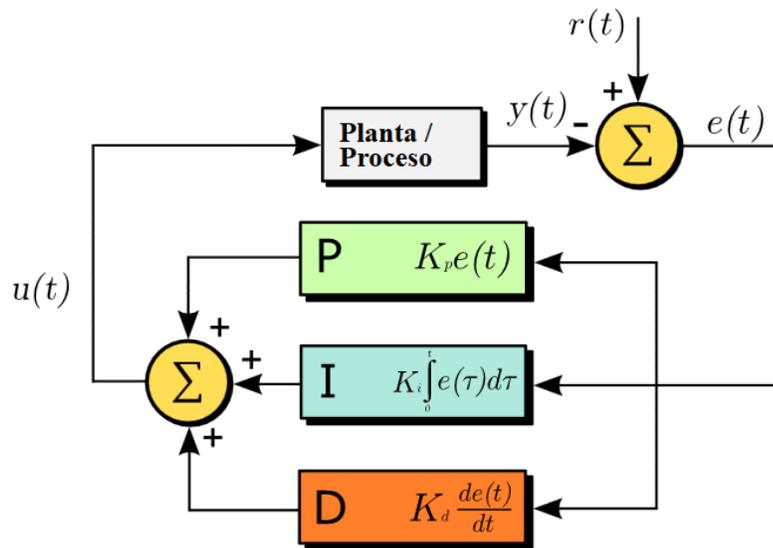


Fuente: Autor del Proyecto.

2.1.6 Control PID.

El control PID se define como aquel sistema que es retroalimentado y compensado con un sistema (proporcional, integral, derivativo), el cual se encarga de realizar una compensación matemática, para que la salida brinde una respuesta deseada sobre la entrada, el sistema PID es uno de los controles básicos que se registra dentro de del área del control y la automatización de procesos y se utiliza a niveles industriales para el ajuste de variables y el control rápido de las mismas de una manera simple y sin requerir de mayores hardware que solo los controles industriales.

Figura 2-14: Representación de un control PID.



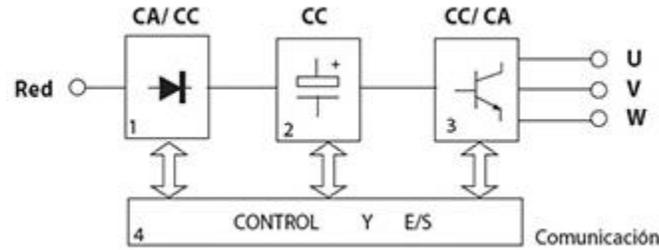
Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar en la gráfica anterior la compensación matemática, se hace sumando 3 ecuaciones y tres variables distintas, una proporcional que es la que entrega el tiempo de respuesta, o P, integral que trata de darle un tiempo de retardo, y derivativo que trata de adelantarse al proceso y resta la señal al sistema (Ogata, 1998, pág. 996).

2.1.7 Variador de Frecuencia (CicloverSOR)

Los cicloversores o conocidos como convertidores AC-AC, son sistemas de conversión de energía, capaces de variar la frecuencia de la entrada con respecto a la salida, provocando una reacción en los sistemas altamente inductivos, se utilizan principalmente en el control de motores, debido a que los inductores a altas frecuencia se aumentan su impedancia, provocando un arranque más suave, los cicloversores son utilizados en la industria, para regular la velocidad de los motores o para la conversión de energía para maquinas europeas a americanas.

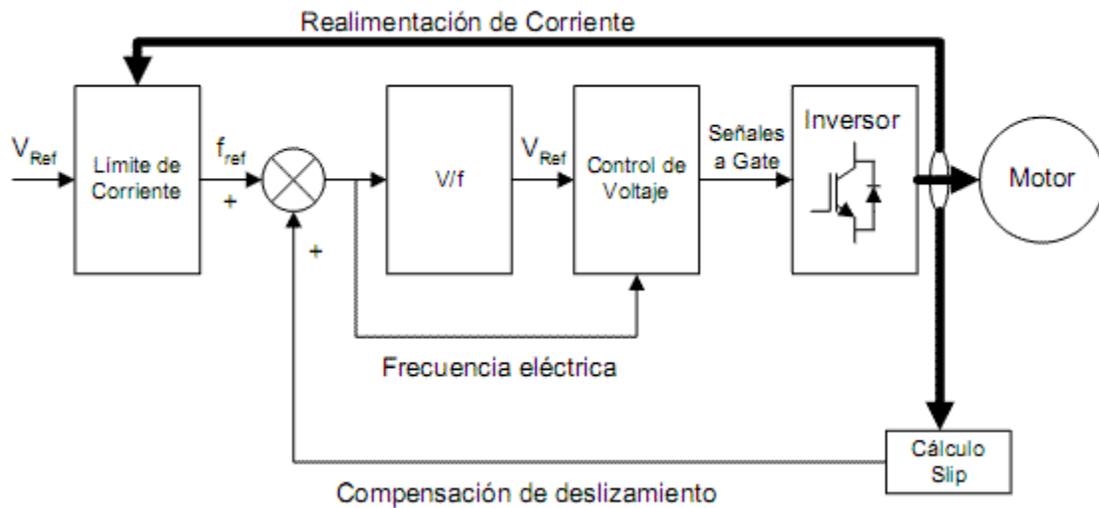
Figura 2-15: diagrama básico de un cicloversor standard.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se ve en el grafico anterior, un conversor AC-AC, consta de un sistema rectificador AC-DC, el cual se encuentra conectado a un sistema de disparo con IGBTs o con mofets en secuencia, que transforma el sistema de DC a AC de nuevo, entregando una salida monofasica o trifasoca, controlada por un sistema de control general, cabe aclarar que el sistema tiene multiples vigilancia retroalimentado los lazos de control.

Figura 2-16: lazo de control de Cicloversor.



Fuente: Autor del Proyecto.

En la gráfica anterior se muestra los sistemas de control que tiene un variador de frecuencia estándar, como se puede observar está regido por 3 lazos de control, que controlan la frecuencia, la corriente y la compensación por deslizamiento de corriente o desfase, evitando daños en los tiristores del variador de frecuencia.

3 Marco Metodológico

A continuación se presenta toda la metodología aplicada en el desarrollo del proyecto.

3.1 Tipo de Investigación

Para este proyecto se optó por utilizar el tipo de investigación descriptiva, esta “consiste en la caracterización de un hecho o fenómeno, y busca establecer su estructura o comportamiento” (Arias, 2012). Esta investigación entra en la investigación tipo cuantitativa, debido a la comparación de las variables tomadas en campo, con lo ofrecido en la simulación del sistema con las herramientas expuestas en este proyecto (Arias, 2012, págs. 22-30).

El proyecto plantea una metodología descriptiva, así proporciona información sistemática y comparable con la de otras fuentes, con un nivel de investigación de campo, la cual es descrita por (Arias, 2012) como “una investigación que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar ninguna variable ” (Arias, 2012, pág. 31). Por tal motivo es una investigación de campo descriptiva

3.1.1 Nivel de la investigación

En la parte de investigación de campo, se observaron las variables de manera directa y se tabulo la información, a manera de obtener un modelo matemático con base al análisis de cajas negras y tablas hechas con el muestreo.

3.2 Diseño de la investigación

Para llevar a cabo los objetivos específicos y así cumplir con las metas se siguieron los siguientes pasos:

Primer paso: Para el diseño y la simulación del sistema de descargue para camiones cisterna en la planta pozos colorados de ECOPETROL, se Recolecta la información necesaria para la realización del proyecto Aplicando de la siguiente guía para el método sistemático sobre el que se fundamenta el presente trabajo:

Se observa el proceso desde una perspectiva cercana, para visualizar las variables a analizar y poder realizar los modelos matemáticos en el software Matlab-Simulink.

Se recolecta información preliminar sobre todos procesos que intervienen en la operación (información de parte de Operadores, clientes y conductores). Se verifican las condiciones de seguridad personal y a nivel ambiental del sitio.

Segundo paso: Se identifica las variables del sistema a controlar, se realiza la selección de los materiales que cumplan con las condiciones técnicas establecidas para el diseño y la simulación del proyecto.

Se deben tener en cuenta que los materiales que se van a utilizar en el diseño, deben ser de fácil adquisición o por lo menos deben ser comerciales, de fácil uso, costos, el funcionamiento y condiciones de uso de la automatización del sistema de llenado para carro tanques de cisterna en la planta pozos colorados de ECOPETROL

Tercer paso: Para el diseño y desarrollo del sistema control de nivel se tiene en cuenta las técnicas usadas a nivel industrial. Se usó un sistema de control On/Off como técnica para el controlador, PID para controlar y suavizar el efecto golpe de ariete, éstos controles tienen un sensor de presión (manómetro), uno de temperatura y uno de nivel, y para el control del flujo de combustible se hace uso de un contador Logo! Que coordine las acciones de la bomba con respecto a

Cuarto paso: Se presentó la simulación del Diseño propuesto haciendo uso del Software Matlab-simulink, en donde se muestran las fases de funcionamiento y la integración del sistema en Lazo cerrado. El Software, se constituye como un potente entorno de simulación, en donde se hizo uso de las estructuras de programación como:

Variables de entrada y salida

Bloques de programación.

Integración de Bloques prediseñados e imágenes.

Visualización dinámica del Proceso.

Quinto paso: se identificó cada uno de los elementos o componentes del sistema

Se identificaron todas las variables que intervienen en la operación del descargue del sistema, las variables que intervienen son:

- El tanque de almacenamiento Principal de Acem 1.1200.000G
- La Bomba de Combustible.
- La tubería de alimentación (desde la Bomba hasta el tanque Principal de almacenamiento).
- Manguera de descargue.
- El carro tanque.
- Tablero de control.

Sexto paso: Presentar el análisis costo/beneficio de la implementación de la mejora planteada al sistema de descargue de carro tanques “Orlando Méndez Vera” – Ecopetrol Planta Pozos Colorados.

Aquí se evidenciará los beneficios que otorga el sistema con su instalación en la zona de estudio. Principalmente se contempla un modo de asegurar un óptimo funcionamiento del sistema de descargue, Minimizando la intervención manual del operador en el descargue del carro tanques. Se crea un impacto positivo también en las condiciones de seguridad en el trabajo y satisfacción con los clientes por pérdida de tiempo, y se elimina el contacto físico o se minimiza gracias a la automatización del sistema.

Población

(Arias, 2012, pág. 83) Afirma “La población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación.

Teniendo en cuenta la anterior definición, esta investigación tiene como población objetivo el grupo de Operadores de Procesos del Terminal Pozos Colorados en Ecopetrol, el cual está conformado por 2 operadores de manguera y 1 operador de consola los cuales son los responsables del correcto funcionamiento del bombeo del Biodiesel hacia el interior de la planta pozos colorados donde será mezclado con el Acem, estas personas son quienes monitorean las variables del sistema y se encuentran expuestas al biodiesel el cual es nocivo para la salud.

Técnica de recolección de datos

Según (Arias, 2012) los procedimientos de recolección de datos son la manera que tiene el investigador de conocer el sistema afondo y realizar la investigación a manera óptima. (Arias, 2012, pág. 53). Entre las técnicas de recolección de información están la observación en sus distintas modalidades, la entrevista, el análisis documental, entre otras.

Dada la naturaleza de esta investigación, y en función de los datos que se requerían, las técnicas que se utilizaron fueron:

A. La revisión documental para esto se realizó una búsqueda entre las revistas indexadas y la documentación que tiene la empresa sobre el proceso, también se consultaron proyectos de grado, que brindaron suficiente información sobre el proyecto. Esta técnica de recolección de datos estará apoyada en el análisis documental como instrumento.

B. La Encuesta, según (Arias, 2012, pág. 116) “tiene aplicación en aquellos problemas que se pueden investigar por método de observación, análisis de fuentes documentales y demás sistemas de conocimiento. La encuesta permite obtener información directa de la de parte de las personas involucradas, y de la experiencia se obtiene información extra que beneficia al proyecto retroalimentando y corroborando las fuentes anteriormente consultadas. Esta técnica se considera pertinente en la investigación ya que permitió obtener información de la muestra seleccionada, con la finalidad de recopilar todo lo referente al control de lazo cerrado.

3.3 Normativa legal

Resolución 2400 del 22 de mayo de 1979 establecida por la legislación ambiental colombiana, dentro del cumplimiento se deben ejecutar inspecciones y mantenimiento para: tuberías (agua potable y residual), cunetas, pozo séptico, trampas de grasas.

Para la mezcla de biodiesel, con el Combustible, se establece la ley Ley 693 se estableció como obligatoria la mezcla de bioetanol con gasolina; en el 2004 se promulgó la Ley 939 para la producción de biodiesel extraído de la palma africana con las normativas legales que buscan reducir las emanaciones de CO₂ a través de la mezcla en proporciones óptimas teniendo en cuenta la aplicación de los motores.

Resolución 186 del 22 de febrero del 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el cual insta Inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente.

Norma técnica colombiana ISO 14001 del 2004 de acuerdo a su contexto se debe cumplir, con el registro de divulgación de los aspectos e impactos ambientales a grupos de interés, esta norma es la que rige la señalización de los elementos que transportan los elementos peligrosos. La NTC 4435 se encuentra basada en esta ISO por tal motivo, se deben enfocar el proyecto en la ISO 14001.

Resolución 6045 del ministerio del trabajo por el cual, el cual se adopta el Plan Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Decreto 873 correspondiente a salud laboral donde se vigila el desarrollo del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) y sus respectivos Sub-programas, que el programa de riesgo se encuentra actualizado, se ha dado cumplimiento al cronograma de inspecciones, se han realizado estudios de ergonomía y se han aplicado las recomendaciones del estudio.

Resolución 13824 del ministerio de salud el cual su tema central es los exámenes médicos ocupacionales, y todo lo que acoge la salud y riesgo en el trabajo y el uso de EPP para evitar daños a los trabajadores en una operación.

Ley 1028/2006 Apoderamiento de Hidrocarburos, Decreto 1609/2002 expedida por el Ministerio de Transportes, este decreto reglamenta el transporte de sustancias peligrosas e inflamables desde el lugar de abastecimiento hasta el usuario final.

Resolución No.1409/2012 expedida por el Ministerio del Trabajo, Norma de trabajo en altura. Esta norma regula el trabajo en alturas por encima de los 1.5 mts de altura, evitando daños a la integridad de los trabajadores a través de las EPP.

4 Resultados de la investigación.

A continuación se presenta los resultados de la investigación en orden de los objetivos, y razonamiento conforme al marco metodológico expuesto anteriormente.

4.1 Análisis e interpretación de los resultados

Se realiza una busque intensiva de la literatura acerca del descargue de combustibles en estaciones de servicio, en lugares de grandes consumidores y proveedores de biodiesel, se encontró literatura hacerla de las leyes que rigen el descargue de Hidrocarburos, debe seguir la norma ISO 14001 que trata de la manipulación y señalamiento de los elementos de transporte de sustancias peligrosas y de los protocolos que debe seguir en caso de un derrame o de un imprevisto, por tal motivo se realiza una visita al lugar donde se descarga el biodiesel.

4.1.1 Visita a Ecopetrol S.A.

Se realiza una visita al lugar de descargue de Biodiesel, en el lugar se ve que hay ya un sistema ya diseñado, que funciona de manera manual.

Como se pudo observar en la visita, el control de flujo se hace a través de la bomba de forma manual, la vigilancia y supervisión se hacen de manera presencial y manual, exponiendo a los operadores a los gases que genera el biodiesel.

Figura 4-1: Inspección manual del Camión cisterna.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, la inspección del camión es obligatoria, esto debido a que no hay ningún tipo de sistema que haga la inspección de rutina.

Figura 4-2: medición de nivel del tanque de almacenamiento.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar la medición de los niveles tanto del tanque, como los del camión cisterna, se hacen de forma manual, un operario tiene que subirse a cada uno de los elementos, esto repercute en tiempo de espera del camión mientras se hace la inspección que puede demorar entre 5 a 10 minutos mientras la persona con el arnés sube y baja ara confirmar que todos los niveles se encuentran en orden.

Figura 4-3: Verificación de nivel del camión cisterna.



Fuente: Autor del Proyecto.

La bomba se enciende de manera manual después de realizar la inspección correspondiente al camión y al taque de almacenamiento.

Figura 4-4: Encendido de la bomba.

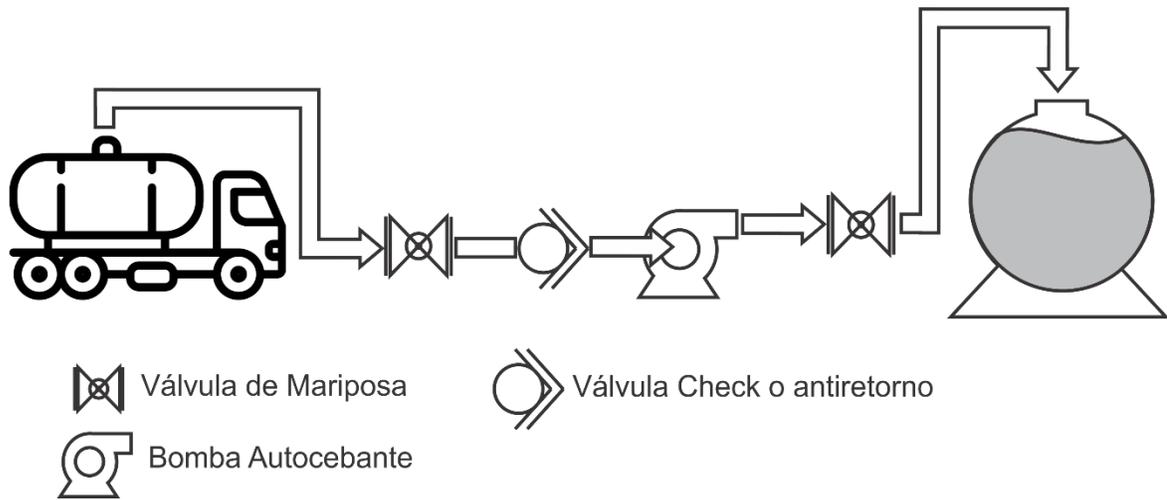


Fuente: Autor del Proyecto.

4.1.2 Levantamiento de diagrama Hidráulico

A continuación se muestra el diagrama hidráulico del sistema.

Figura 4-5: Diagrama Hidráulico del sistema.



Fuente: Autor del Proyecto.

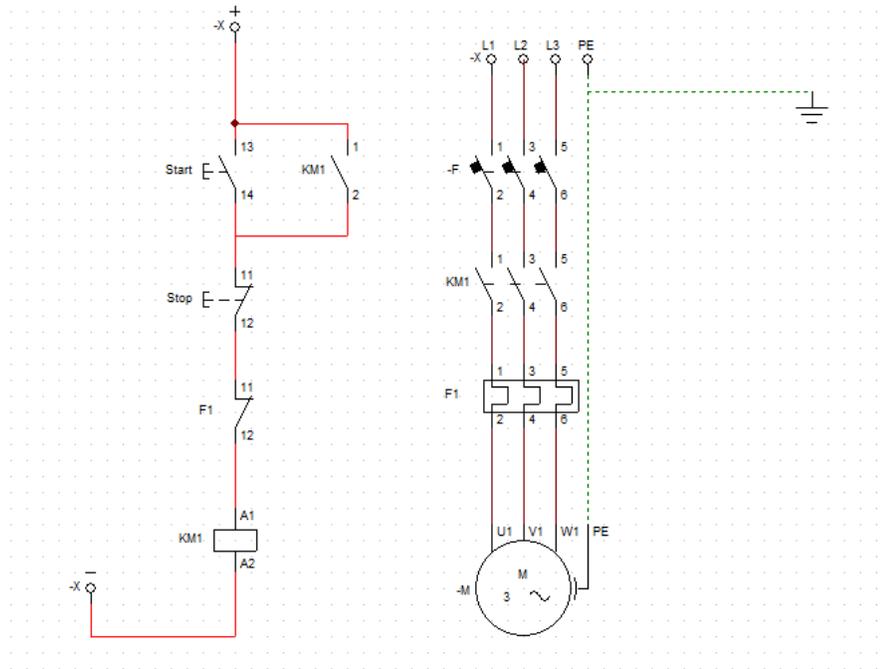
Como se puede observar el sistema está conformado por una válvula que controla el paso de flujo del camión cisterna al tanque subterráneo, el descargue del camión se realiza por medio de la gravedad, del tanque subterráneo al tanque de almacenamiento hay 2 válvulas tipo mariposa manual, que controlan el flujo del almacenamiento subterráneo a la bomba y de la bomba al tanque de almacenamiento Principal, estas válvulas se encuentran instaladas, debido a que el tanque de almacenamiento se encuentra a un nivel muy alto, el sistema no cuenta con válvulas check, para evitar golpes de ariete involuntarios que inicien una explosión, las válvulas de mariposa se usan para controlar el flujo de líquido, esto debido a que son válvulas de cierre lento y tienen una relación mecánica que permite ajustar las válvulas bien además de mantener cerrada la válvula sobre la columna de líquido que se mantiene en la tubería durante el cambio de camión.

4.1.3 Levantamiento de diagrama eléctrico

En el lugar, se encuentra una bomba de 10HP de potencia, con una bomba autocebante, para sustancias viscosas IHM GS 100-L2 de eje libre, bajas RPM y empeller semi abierto, que permite el flujo de sustancias viscosas de una manera óptima el motor, consta de un arranque directo con un sistema Start-Stop.

A continuación se muestra el sistema eléctrico Instalado.

Figura 4-6: Diagrama eléctrico del motor



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, el sistema se encuentra con un arranque directo, esto debido a que el sistema de descargue instalado actualmente, es sencillo y simple.

Figura 4-7: Placa de la Bomba Instalada.



Fuente: Autor del Proyecto.

La bomba instalada tiene un motor WEG de 10HP, 7.5 KVA, esta bomba impulsa un caudal de 7 GPS (Galones por Segundo), este impulso alcanza a vaciar un carro tanque en 25 minutos en promedio, dependiendo de los inconvenientes y de los operarios que se encuentren en el lugar.

4.1.4 Toma de datos de la bomba

Se realiza un encendido de la bomba normalmente, con la tubería vacía, se observa el medidor de flujo de Biodiesel, y se toma nota de los caudales que mide el sistema, hasta que se estabilice. Esto con el fin de obtener la curva del sistema, y así modelar el sistema por medio del método de caja negra, expuesto por (Duarte V, 2010, pág. 5), y se define como el método de obtener el modelo matemático conociendo la salida aplicándole un estímulo a la entrada, sin conocer el interior del sistema, siendo el estímulo de entrada la tensión a 440V y la salida del sistema el Caudal de líquido en su salida.

Tabla 4-1. Toma de Muestras del medidor de Caudal.

Valor (GPM)	Valor (GPS)	Tiempo (seg)
0	0	0
0	0	1
130	2,17	2
230	3,83	3
280	4,70	4
335	5,60	5
365	6,10	6
380	6,33	7
400	6,70	8
410	6,90	9
418	6,97	10
420	7,00	11
418	6,97	12
420	7,00	13
422	7,03	14
421	7,01	15

Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, en la tabla anterior los valores obtenidos de la medición, se pasó de GPM a GPS, debido a que se requiere el modelo matemático con respecto a la unidad de tiempo para el posterior modelamiento.

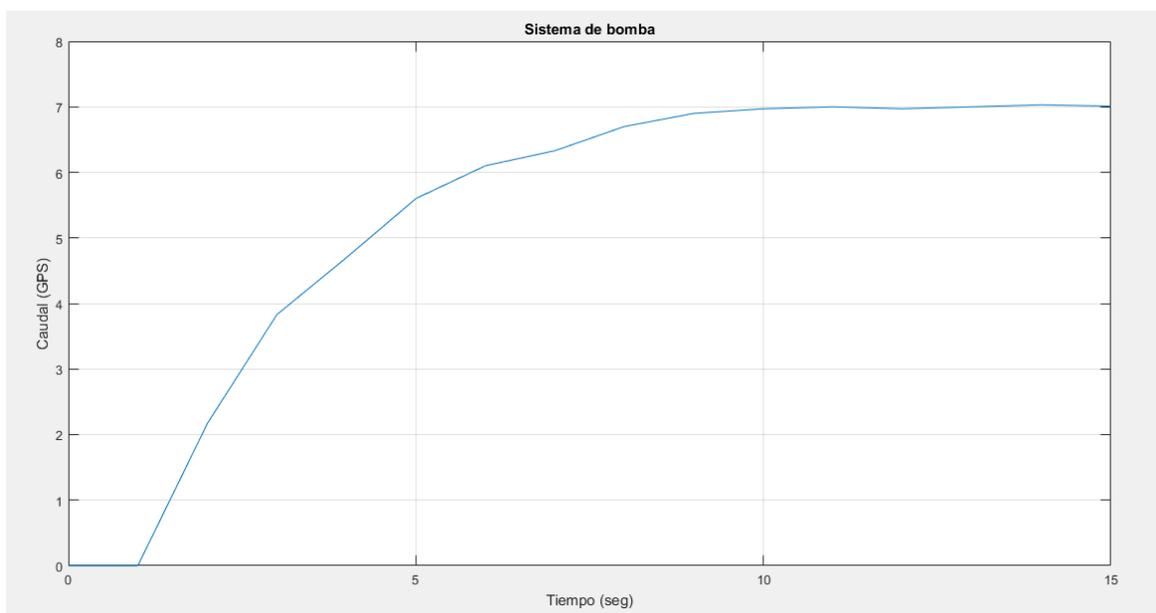
4.1.5 Modelamiento matemático

Para modelar matemáticamente, primero se tienen que graficar los puntos en un software especializado, este software es Matlab, en Matlab se utilizan los siguientes comandos para graficar el sistema.

```
>> x=[0:1:15];  
>> y=[0 0 2.17 3.83 4.7 5.6 6.1 6.33 6.7 6.9 6.97 7 6.97 7 7.03 7.01];  
>> plot(x,y);  
>> grid  
>> title('Sistema de bomba')  
>> xlabel('Tiempo (seg)')  
>> ylabel('Caudal (GPS)')
```

Al graficar las muestras se obtienen la siguiente gráfica.

Figura 4-8: Grafica de Flujo vs Tiempo (y,x).



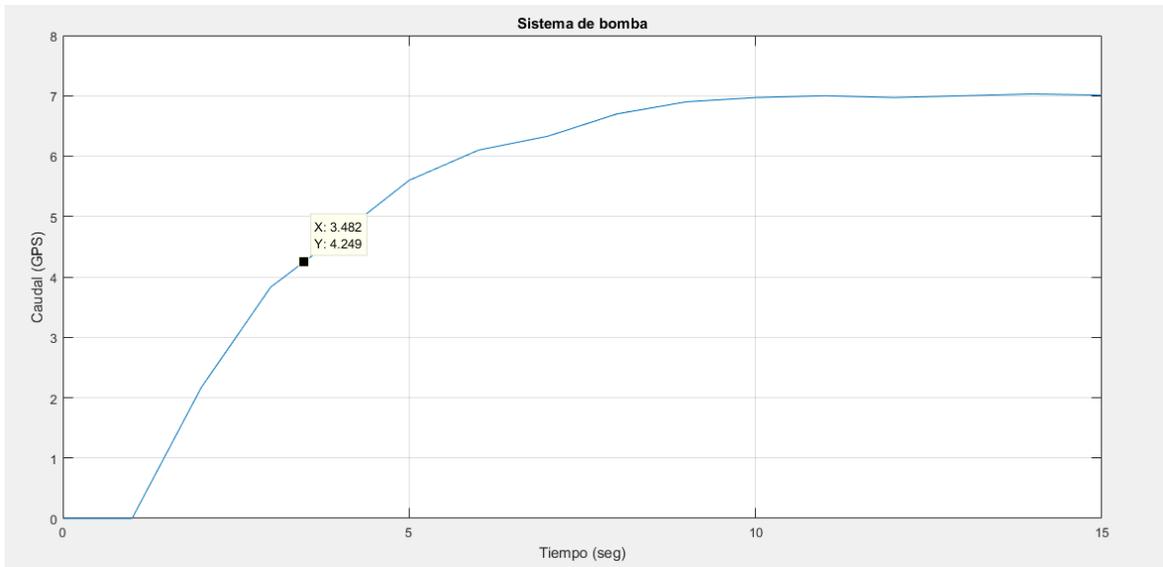
Fuente: Autor del Proyecto.

Como se observa en la gráfica, el sistema tiene un retardo aproximado de un segundo, también se observa que es un sistema de primer orden, debido a su curva característica y se pueden aplicar el método de modelamiento de caja negra de primer orden, descrito en (Duarte V, 2010, pág. 65) Analizando la curva de salida, quitándole el retardo e iniciando desde 1 segundo, y aplicando el criterio del Tao (T) que al 63.2% de una gráfica exponencial, se puede extraer la ecuación diferencial de primer orden que representa al sistema.

Se obtiene de la gráfica que.

$$0.632K_p = (0.632)(7 \text{ GPS}) = 4.424 \text{ GPS}$$

Figura 4-9: Cruce de T contra el Tiempo.



Fuente: Autor del Proyecto.

Al restarle al eje X el tiempo de retardo (1 segundo), el tiempo que demora en subir a T es de 2.482 Segundo, este tiempo se inserta en la formula general expuesta por (Duarte V, 2010, pág. 65), para obtener la función de transferencia.

$$G_{(s)} = \frac{Kp}{Ts + 1}$$

Donde Kp es el máximo valor de la función de primer orden y T es el tiempo que demora en alcanzar el 63.2% del valor máximo de la gráfica.

$$G(s) = \frac{7}{2.482s + 1}$$

Como se puede observar, se formó la función de transferencia anterior, con solo datos tomados del proceso como lo menciona duarte, facilitando el modelamiento matemático.

El retraso de 1 segundos se coloca según (OGATA, 2000) se coloca si es adelante acompañado de un exponencial positivo (e^{ks}) y si es retraso un exponencial negativo (e^{-ks}). Quedando de la siguiente manera (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 262).

$$G(s) = \frac{7}{2.482s + 1} e^{-s}$$

4.1.6 Simulación de la Bomba en simulink.

Para simular la bomba en simulink, se escoge el bloque de función de transferencia, se llenan los datos con la función de transferencia como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4-10: Datos bloque de transferencia Simulink

Block Parameters: Transfer Fcn

Transfer Fcn

The numerator coefficient can be a vector or matrix expression. The denominator coefficient must be a vector. The output width equals the number of rows in the numerator coefficient. You should specify the coefficients in descending order of powers of s.

Parameters

Numerator coefficients:
[7]

Denominator coefficients:
[2.482 1]

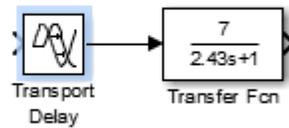
Absolute tolerance:
auto

State Name: (e.g., 'position')
"

Fuente: Autor del Proyecto.

Se coloca un bloque de transport delay, para simular el tiempo de demora que tiene el sistema, quedando de la siguiente manera.

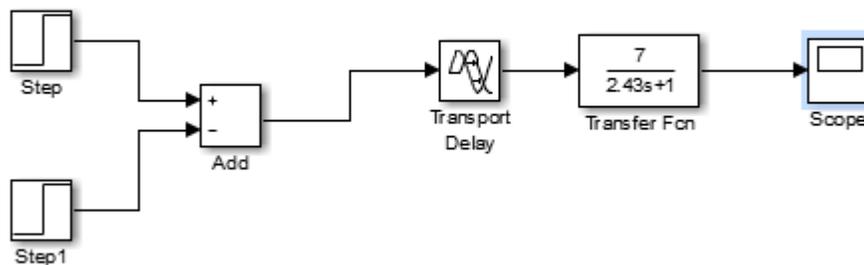
Figura 4-11: Sistema modelado en simulink.



Fuente: Autor del Proyecto.

Después se coloca dentro del área de trabajo, dos bloques de escalón unitario, uno iniciando en 1 segundo y el otro iniciando en 50 segundos simulando el encendido y apagado del sistema, estas señales de escalón unitario se restan para simular el encendido y el apagado del sistema en los intervalos de tiempo anteriormente mencionados para observar la respuesta de sistema.

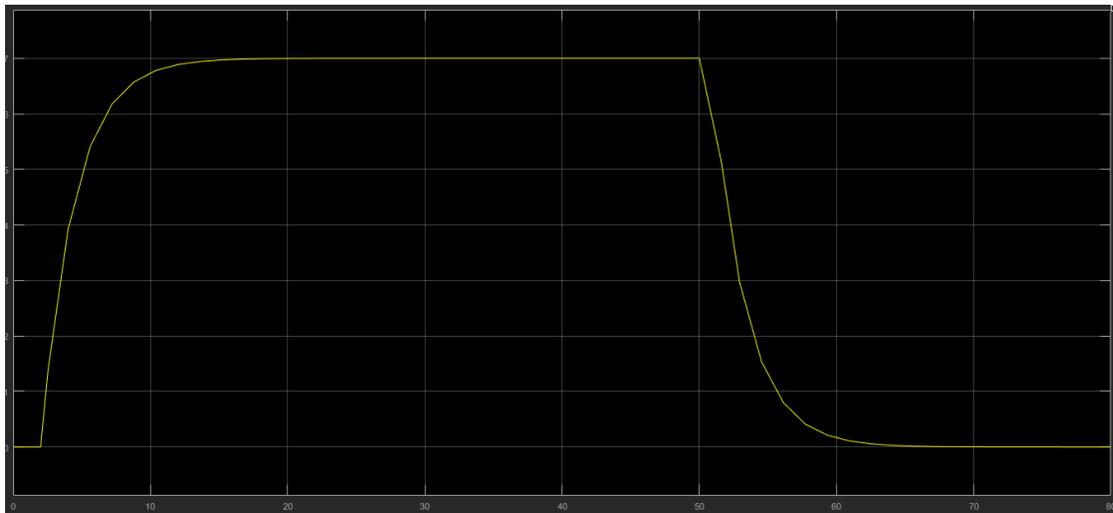
Figura 4-12: modelo matemático con escalones unitarios simulando encendido y apagado del sistema.



Fuente: Autor del Proyecto.

Al colocar el tiempo de simulación en 80 se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 4-13: Grafica de escalón unitario respuesta al encendido y apagado de la Bomba.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, se obtiene una forma igual al momento del inicio de la curva cumpliendo con los datos suministrados y al momento del apagado, se mantiene un flujo exponencial a la salida del sistema, que equivale al exceso de flujo en la tubería y al “Chorro” de la tubería escurriéndose al momento del apagado.

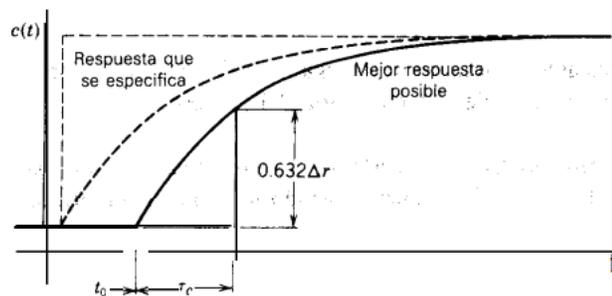
4.2 Suavizado y arranque suave de la bomba (Control PID), Diseño de lazo de control.

Para poder realizarle un arranque controlado, se requiere de un dispositivo que pueda controlar el arranque de un motor desde 0, para este fin existen 2 dispositivos, que son los variadores de frecuencia y los arrancadores suaves, los variadores de frecuencia son dispositivos que varían la frecuencia para cambiar la tensión rms a la salida provocando un control sobre el motor, este control depende del modo de uso, si es retroalimentado, o de modo cerrado, mientras que el arrancador suave, como su nombre lo indica, arranca el motor recortando fase, a manera en que se evite el pico de arranque, y se pueda controlar su arranque, el arrancador suave es un mecanismo mucho más sencillo que el variador de frecuencia, y también más económico, pero no permite utilizar arranques avanzados como el control PID, por tal motivo se descarta el arrancador suave y se utilizara un variador de

frecuencia para realizar el proceso de encendido y apagado del motor, para suavizar su arranque y apagado del sistema.

Para sintonizar un sistema de primer orden, según (OGATA, 2000, pág. 669), se procede a aplicar la tabla de Ziegler-Nichols, para controles PID de primer orden. Según (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 338) Primero se analiza el modelo, y dependiendo de la respuesta PID que se necesita, también se debe hacer un análisis gráfico, pero para el desarrollo de este proyecto se realizará una sintonización en Modo derivativo para procesos con tiempo muerto, a continuación se muestra la gráfica de tiempo muerto en un proceso de primer orden.

Figura 4-14: gráfico de sintonización y mejoramiento para sistemas con tiempo muerto de Dahlin.



Fuente: (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 302).

Como se puede observar, el tiempo muerto se representa como t_0 , el tiempo que demora en llegar al 63.2% del valor final (T), y K es el Valor final del sistema.

Según (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 306) se puede obtener un control y se puede mejorar la respuesta del sistema siempre y cuando se siga las ecuaciones de Dahlin.

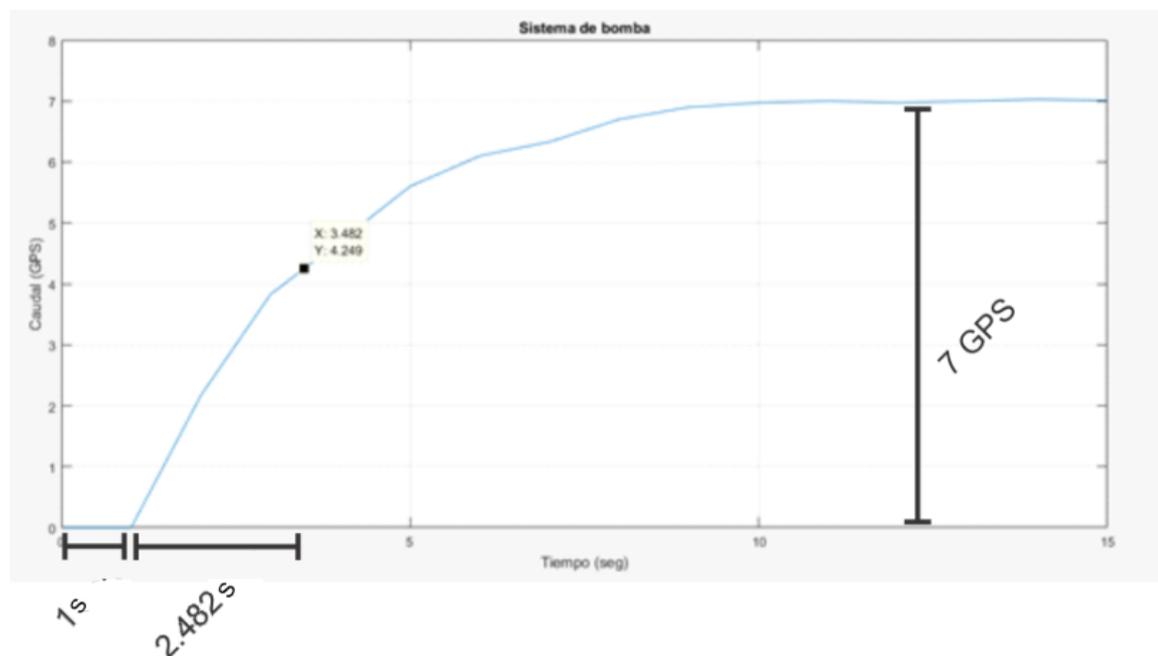
Tabla 4-2: fórmulas de Dahlin para controladores P, PI, PID.

Proceso	Controlador	Parámetros de ajuste
$G(s) = K$	P	$K_c = \frac{1}{K\tau_c}$ ajustable
$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$	PI	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_c}$ ajustable $\tau_i = \tau$
$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ $\tau_1 > \tau_2$	PID	$K_c = \frac{\tau_1}{K\tau_c}$ ajustable $\tau_i = \tau_1$ $\tau_D = \tau_2$
$G(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1}$	PID ^a	$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + \tau_c)}$ ajustable $\tau_i = \tau$ $\tau_D = \frac{t_0}{2}$

Fuente: (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 306).

Como se puede observar, en la tabla anterior, para sistemas con delay o tiempo muerto, existen las ecuaciones para realizar el respectivo control, siendo estas últimas formulas las utilizadas para la sintonización del sistema.

Figura 4-15: Grafica del sistema del sumidero (identificación de Variables)



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, si se compara la gráfica con la Figura 4-14: grafico de sintonización y mejoramiento para sistemas con tiempo muerto de Dahlin. Se obtienen los tiempos que serán remplazados en las formulas de la tabla.

$$K = 7 \text{ GPS.}$$

$$t_0 = 1 \text{ seg.}$$

$$\tau_0 = 2.482 \text{ seg.}$$

Ya identificadas las variables en las ecuaciones, se procede a implementar y a obtener los valores del PID reemplazando en las ecuaciones.

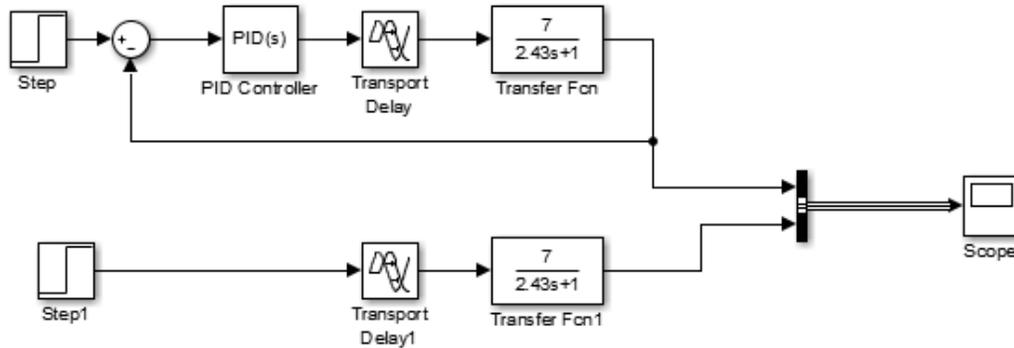
$$K_c = \frac{\tau}{K(t_0 + \tau_0)} \rightarrow K_c = \frac{2.482 \text{ seg}}{7(1 \text{ seg} + 2.482 \text{ seg})} \rightarrow K_c = 0.10182$$

$$t_i = \tau \rightarrow t_i = 2.482 \text{ seg}$$

$$t_D = \frac{t_0}{2} \rightarrow t_D = \frac{1}{2} \rightarrow t_D = 0.5 \text{ seg}$$

Teniendo los valores del controlador, se cierra el lazo de control y se aplica un controlador PID, se compara con el sistema, ubicando el set-point en el valor máximo de caudal para así poder observar el sistema sin control y con control.

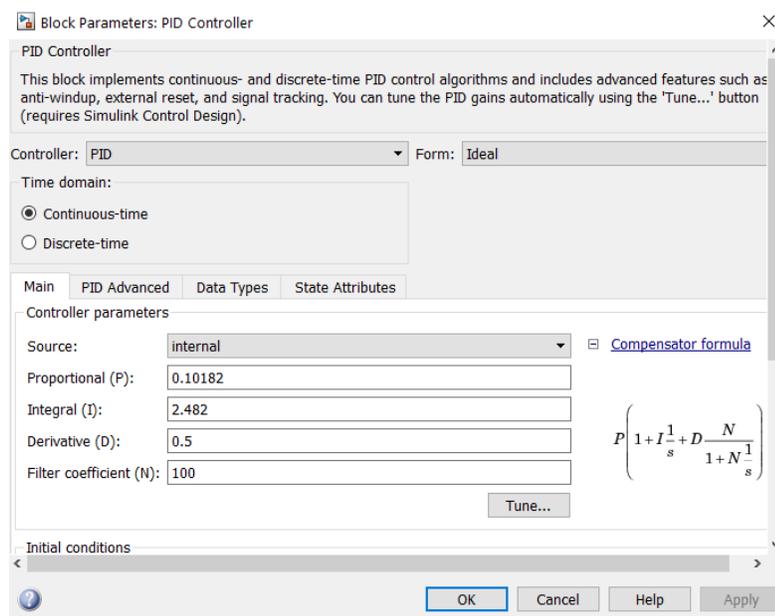
Figura 4-16: control PID vs Sistema lazo Abierto.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar se coloca el sistema a lazo cerrado en la parte superior de la anterior figura y el sistema a lazo abierto en la parte inferior, al realizar la simulación se obtiene la siguiente salida.

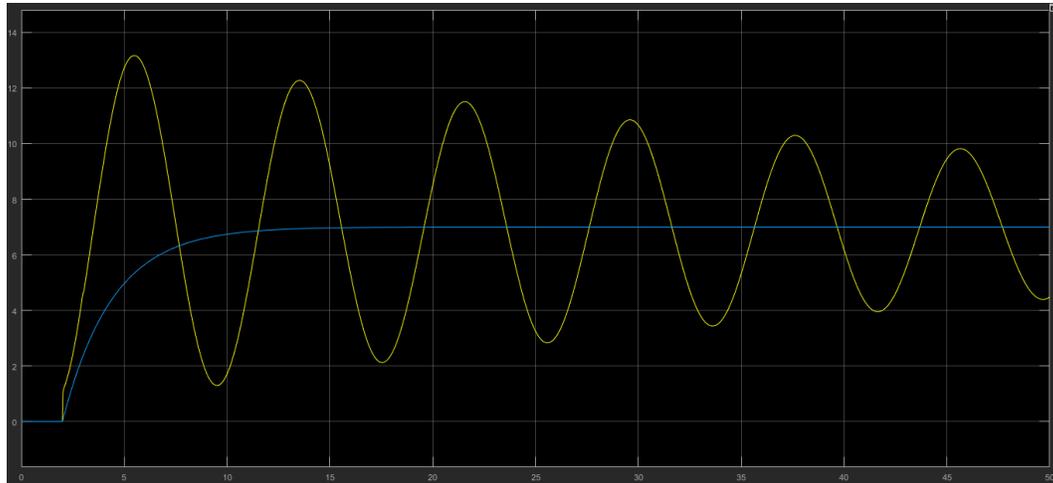
Figura 4-17: Valores introducidos en el bloque PID de Simulink



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se muestra en la gráfica anterior se introducen los valores dentro del bloque y se realiza la simulación obteniendo la siguiente respuesta.

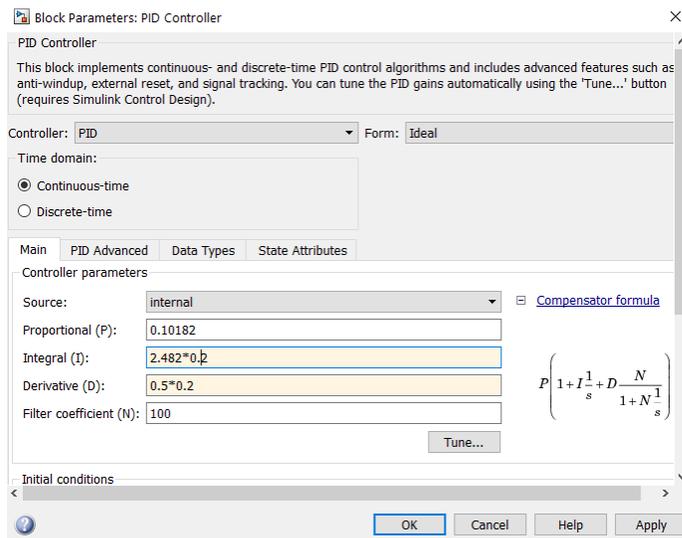
Figura 4-18: Control PID vs Sistema a lazo abierto.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se observa en la gráfica anterior, la curva amarilla muestra el control PID sobre el sistema, y la azul muestra el sistema a lazo abierto, el sistema PID muestra una oscilación hasta que su valor llega al valor del set-point, estas oscilaciones son indeseadas en la ingeniería de control, debido a que el sistema muestra poca estabilidad en el control que puede provocar ruido, o en peor de los casos, traducirse en un golpe de ariete innecesario que puede provocar un accidente de trabajo, según (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 308) estos valores se pueden arreglar escalando los valores en los tiempos diferencial e integral, escalándolos por un valor por encima de 1 en caso que no responda rápidamente, y si oscila demasiado escalarlo por valores entre 0 y 1, estos valores de ajuste se hacen a manera de ensayo y error, al escalarlo por 0.2 los dos tiempos se obtiene.

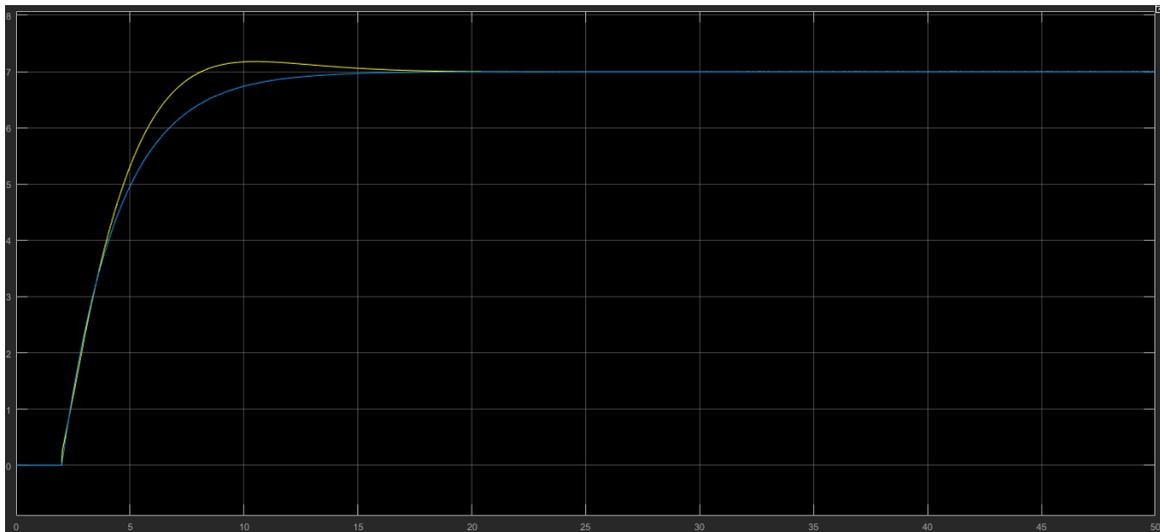
Figura 4-19: Escalamiento de los valores PID en el bloque en simulink.



Fuente: Autor del Proyecto.

Se escalan los valores dentro del bloque para continuar con la simulación.

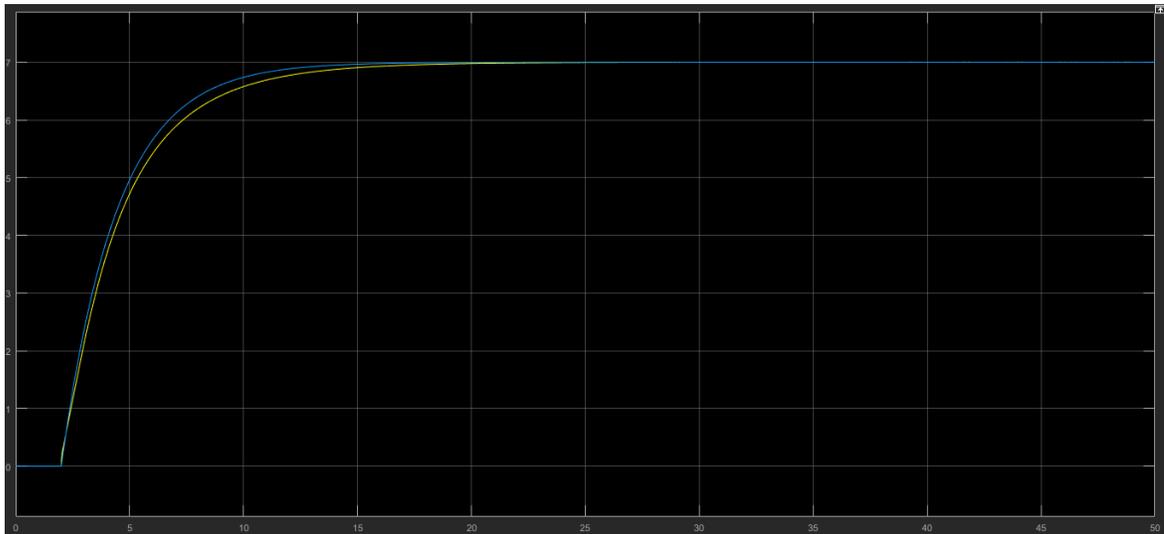
Figura 4-20: Control PID escalado vs Sistema sin control.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, y según (SMITH & CORRIPIO, 1991, pág. 306) el control PID mejora la respuesta del sistema y se comprueba la teoría mostrada en la Figura 4-14: grafico de sintonización y mejoramiento para sistemas con tiempo muerto de Dahlin. Como se puede observar, se forma un pequeño pico que puede repercutir en un golpe de arriete, por tal motivo se escalan los valores a 1.5 y se obtiene:

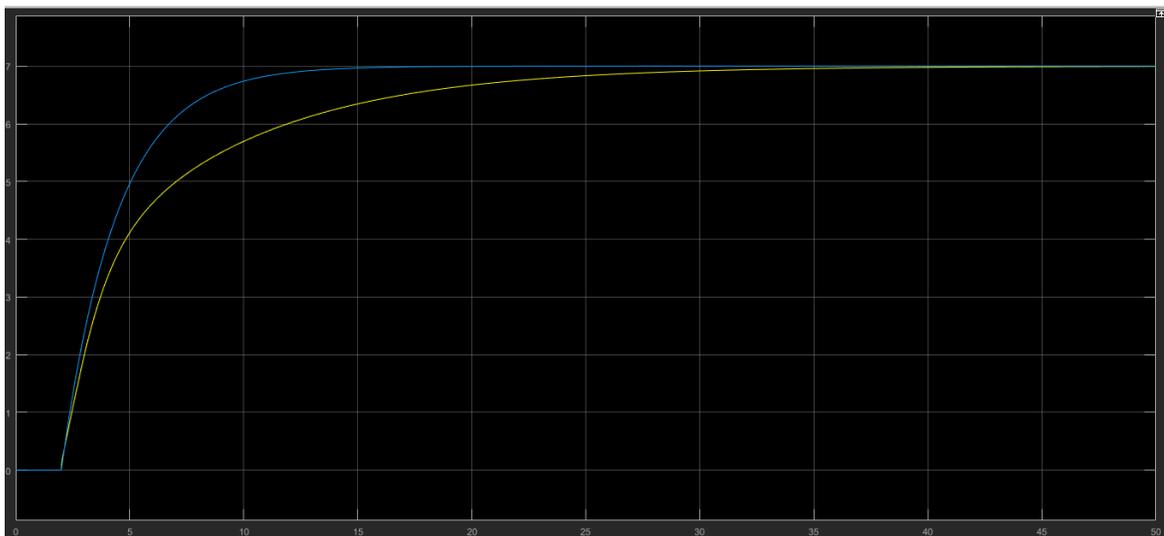
Figura 4-21: escalamiento a 0.15 control PID vs Sistema sin control.



Fuente: Autor del Proyecto.

O se puede suavizar más escalando los valores por 0.1 logrando:

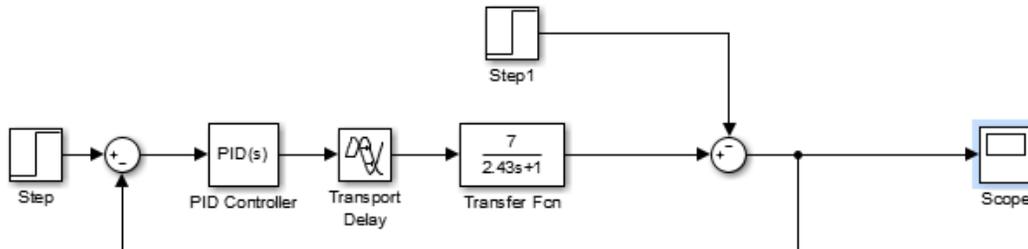
Figura 4-22: escalamiento a 0.1 control PID vs Sistema sin control.



Fuente: Autor del Proyecto.

Logrando así que el sistema con el lazo de control sea más suave y evite los cambios bruscos evitando golpes de ariete, el sistema ha sido sintonizado. Ahora se realiza una prueba realizando una perturbación a la salida del sistema para verificar que el sistema funciona de una manera óptima.

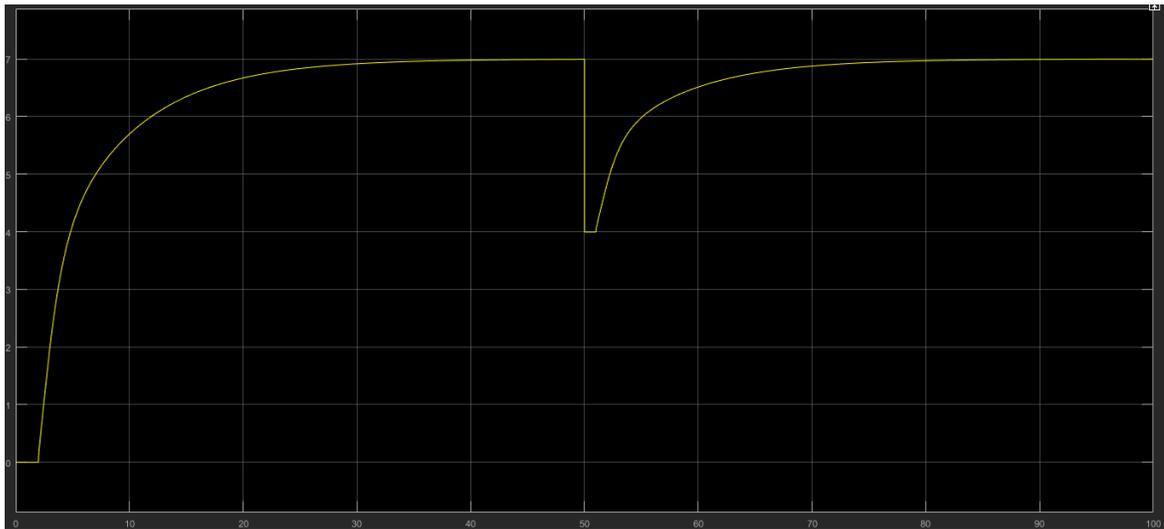
Figura 4-23: Control PID simulando una perturbación



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, la perturbación se aplica a la salida del sistema, debido a que la salida del sistema indica el flujo de combustible, se le aplica una caída de 3 GPS (Galones por segundo) que puede deberse a la falta de presión en la entrada, el sistema debería aumentar las revoluciones de la bomba para seguir manteniendo el sistema con la misma presión.

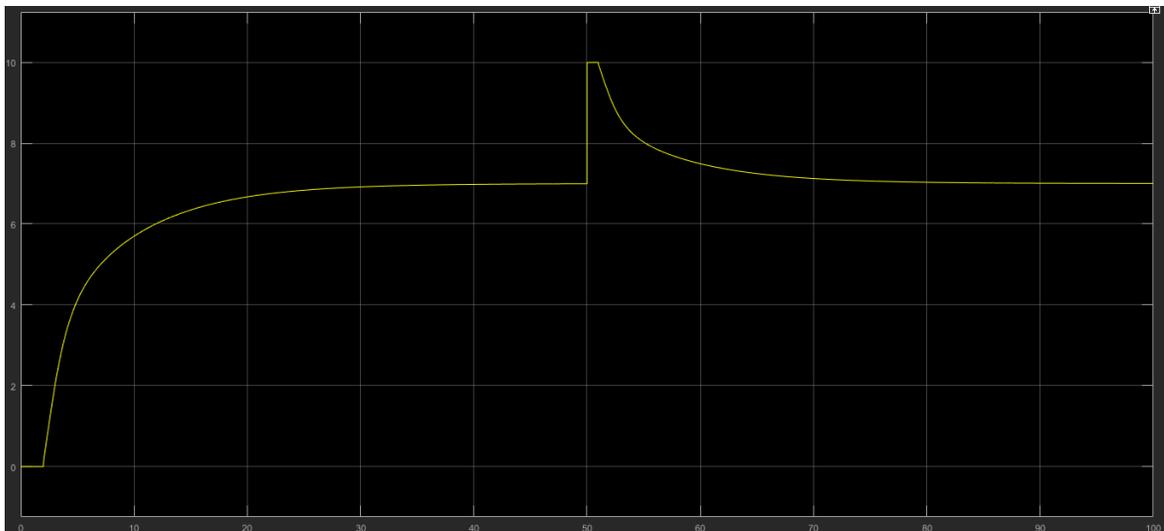
Figura 4-24: perturbación aplicada en el segundo 50, perturbación negativa.



Fuente: Autor del Proyecto.

En el caso contrario de unas sobrepresión (exceso de líquido en la bomba) él controlador debe bajar las rpm de la bomba.

Figura 4-25: perturbación aplicada en el segundo 50, perturbación Positiva.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se pudo observar, el controlador mantuvo el valor constante pese a que se forzaron perturbaciones que en la vida real no pueden ocurrir, pero que en la simulación es posible simular, demostrando que la sintonización es correcta.

4.2.1 Aplicación Física del control PID.

Como se puede apreciar, la bomba es accionada por un sistema start-stop, este sistema es brusco por naturaleza, debido a la corriente de arranque y a la poca regulación de torque del sistema, la sintonización PID se puede aplicar en dispositivos de regulación y control como lo son los variadores de velocidad, estos variadores pueden variar la frecuencia de trabajo, del motor eléctrico provocando que este disminuya o aumente su velocidad de rotación y torque, además estos dispositivos permiten sintonizar el motor con un control PID incorporado en su programación.

Para este objetivo se analizan 2 variadores de frecuencia de 10 HP cada uno, un ABB (ACS355-03E-17A6-2) y el otro Siemens (6SE6440-2UC25-5CA1-Z0), los dos son variadores de Frecuencia a continuación se escogen los pros y los contras de cada uno de los equipos, para su posterior uso con el LOGO! Siemens.

Tabla 4-3: Comparativa ABB vs Siemens

Imagen		
Modelo	(ACS355-03E-17A6-2)	(6SE6440-2UC25-5CA1-Z0)
Marca	ABB	Siemens
Potencia (HP)	10HP	10HP
Potencia (KVA)	7.5KVA Constantes	7.5KVA Constantes
Protocolos de comunicación	Compatibles con protocolos de comunicaciones Modbus, profinet, rs485	Compatibles con protocolos de comunicaciones Modbus, profinet, rs485.
Controladores integrados	Control PID integrado	Control PID integrado

Fuente: Autor del Proyecto.

Analizando la parte técnica de los variadores de frecuencia, el ABB es un variador de frecuencia con muchas ventajas en la parte de instalaciones solares, según su manual (ver anexo), pero el siemens, compatibilidad absoluta con el controlador, por el cual se puede

comunicar con el logo de una manera eficiente, por tal motivo se escoge el sistema siemens, teniendo en cuenta que ABB puede comunicarse a través de modbus por el puerto RS 485 incorporado en su hardware, pero el siemens tiene un puerto RS485 optimizado para el uso con productos siemens que permite mayor versatilidad y conectividad con un logo V8 de última generación.

Según el manual del siemens,- (Siemens, 2006, pág. 173) se deben instalar el sensor de flujo de 0-20mA, se escogió el Sensor OPTIFLUX 4000 Medidor De Caudal Magnético Con Brida (4 Pulgadas), según su fabricante está probado y cumple con todos los requerimientos para ser usado en el terreno de los hidrocarburos y líquidos viscosos, se anexa su hoja de datos técnica.

Figura 4-26: Bornera de conexiones del sensor de flujo Optiflux 4000.



Connect the electrical conductors as follows:

- ① Push the lever downwards with a screwdriver in good condition (blade: 3.5 mm wide and 0.5 mm thick).
- ② Insert the electrical conductor into the plug.
- ③ The conductor will be clamped as soon as the lever is released.

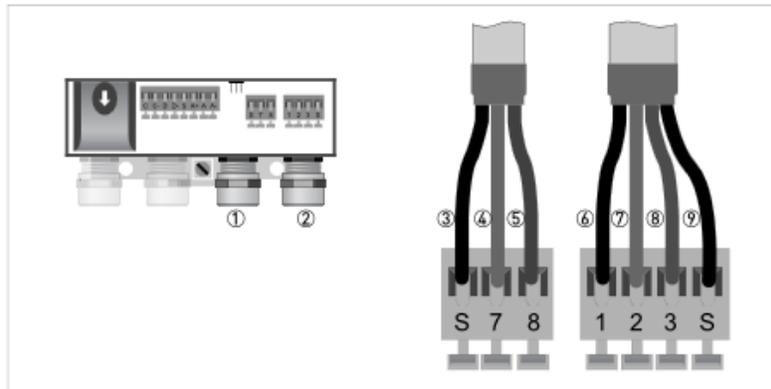


Figure 4-11: Connecting the signal and field current cables

- ① Cable entry for field current cable
- ② Cable entry for signal cable
- ③ Connecting the field current cable shield
- ④ Electrical conductor (7)
- ⑤ Electrical conductor (8)
- ⑥ Stranded drain wire (1) of the inner shield (10) of the signal cable
- ⑦ Electrical conductor (2)
- ⑧ Electrical conductor (3)
- ⑨ Stranded drain wire (5) of the outer shield (60)

Fuente: (KROHN, 2020, pág. 31)

Para ello, se tienen que conectar el sensor al variador de frecuencia en los pines del primer análogo digital del Variador de frecuencia siemens como se muestra a continuación.

Figura 4-27: Bornera de conexiones del variador de frecuencia

Terminal	Designation	Function
1	-	Output +10 V
2	-	Output 0 V
3	ADC1+	Analog input 1 (+)
4	ADC1-	Analog input 1 (-)
5	DIN1	Digital input 1
6	DIN2	Digital Input 2
7	DIN3	Digital input 3
8	DIN4	Digital Input 4
9	-	Isolated output +24 V / max. 100 mA
10	ADC2+	Analog input 2 (+)
11	ADC2-	Analog input 2 (-)
12	DAC1+	Analog output 1 (+)
13	DAC1-	Analog output 1 (-)
14	PTCA	Connection for PTC / KTY54
15	PTCB	Connection for PTC / KTY54
16	DIN5	Digital input 5
17	DIN6	Digital Input 6
18	DOUT1/NC	Digital output 1 / NC contact
19	DOUT1/NO	Digital output 1 / NO contact
20	DOUT1/COM	Digital output 1 / Changeover contact
21	DOUT2/NO	Digital output 2 / NO contact
22	DOUT2/COM	Digital output 2 / Changeover contact
23	DOUT3/NC	Digital output 3 / NC contact
24	DOUT3/NO	Digital output 3 / NO contact
25	DOUT3/COM	Digital output 3 / Changeover contact
26	DAC2+	Analog output 2 (+)
27	DAC2-	Analog output 2 (-)
28	-	Isolated output 0 V / max. 100 mA
29	P+	RS485 port
30	N-	RS485 port

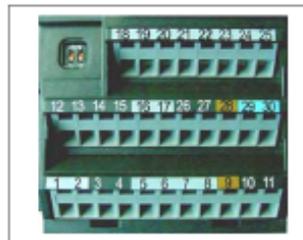


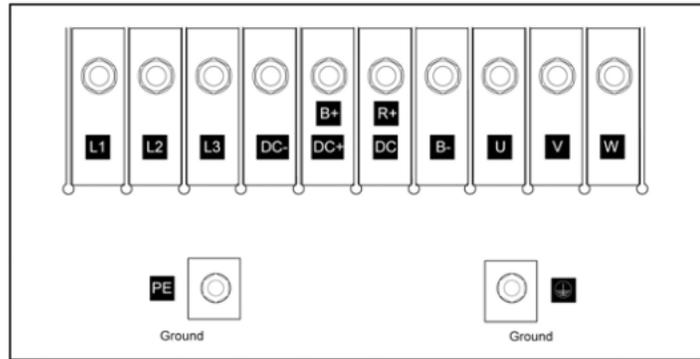
Fig. 2-13 Control terminals of MICROMASTER 440

A detailed description of the inputs and outputs is provided in Section 3.6.

Fuente: (Siemens, 2006, pág. 42).

Para alimentar el sensor, se toma los pines 1 y 2 que pertenecen a Vcc y tierra, la señal negativa del sensor se coloca en ADC1- y el positivo en ADC1+, esto garantizara que la corriente circule de manera positiva dentro del variador de frecuencia.

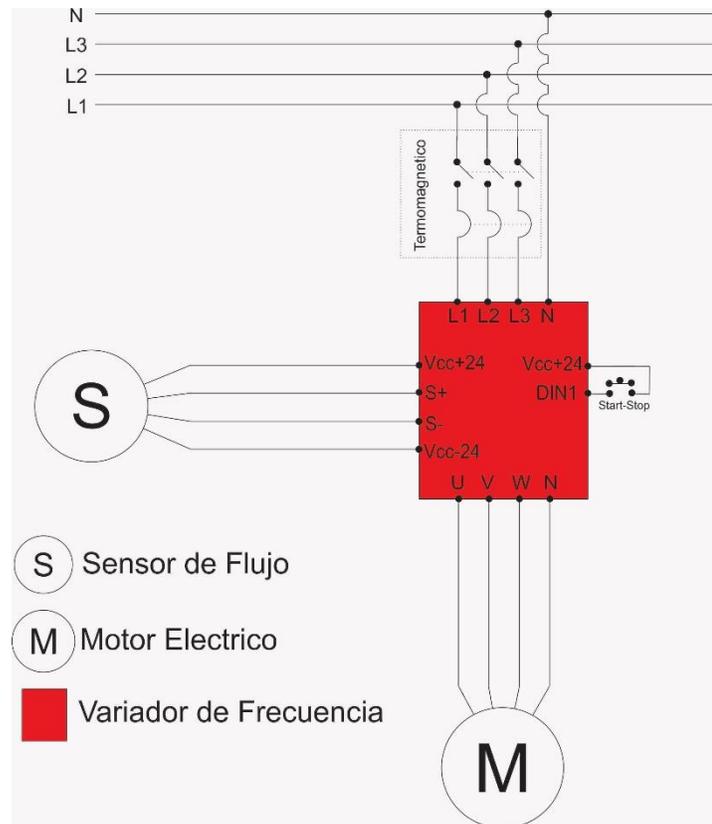
Figura 4-28: Conexiones físicas de Potencia del Variador de Frecuencia



Fuente: (Siemens, 2006, pág. 37).

En el diagrama eléctrico de conexiones entre el variador de frecuencia y el sensor quedara de la siguiente manera:

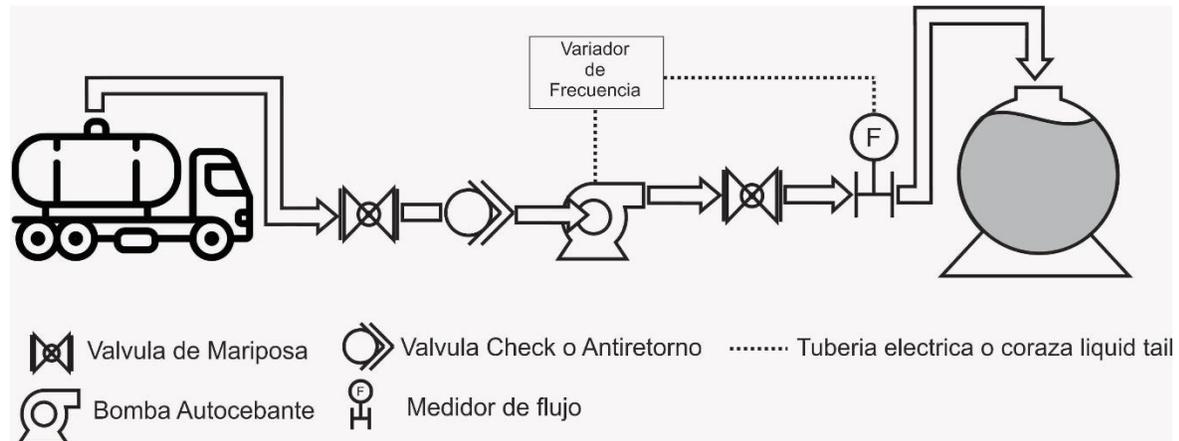
Figura 4-29: Diagrama de Conexiones eléctricas del variador de frecuencia para el Variador de frecuencia.



Fuente: Autor del Proyecto.

Cabe destacar, la implementación de un botón start-stop, para su uso sin el logo o parada de emergencia en caso que sea necesario, estos botones pueden colocarse en serie al botón start-stop principal.

Figura 4-30: Diagrama hidráulico con el medidor de flujo.

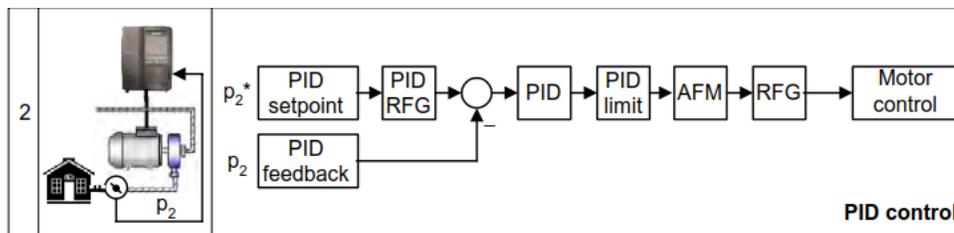


Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, el medidor de flujo se coloca a la salida de la bomba como se muestra en el diagrama de bloques donde se le realiza el control PID, las conexiones eléctricas deben ir aseguradas en Tubería IMC o en su defecto en coraza liquid Tail asegurando estos elementos a tierra.

Esto se da en concordancia con el manual el cual recomienda el uso de PID en control de fluidos por presión o caudal de un sistema.

Figura 4-31: Recomendación de uso sobre el control PID según siemens.

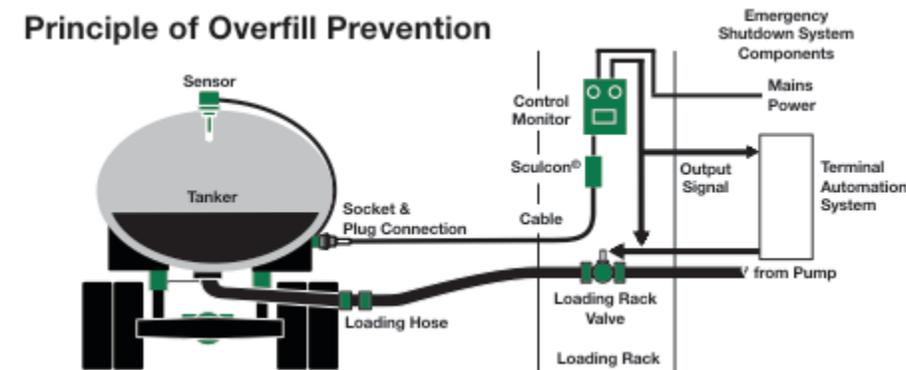


Fuente: (Siemens, 2006, pág. 174).

El uso del control PID se puede apreciar dentro del manual del variador de frecuencia.

Para conocer el nivel de los tanques, se buscó en la bibliografía, y se encontró que hay uno sensores ópticos especiales para este tipo de aplicaciones, el sensor SCUL-SENSE para aplicaciones de líquidos inflamables, su salida es de 0 - 20 mA, por tal motivo es compatible con LOGO! Siemens.

Figura 4-32: Aplicación del sensor Scully Five-wire optic



Fuente: (SCULLY, 2018, pág. 1).

Como se puede observar, la aplicación del sensor en un camión sistema, depende de un controlador de la marca scully, según su datasheet, puede ser aplicado directo en PLC de cualquier marca, siempre y cuando sean compatibles con entradas análogas digitales de 0-20 mA. La distancia máxima es de 5 mts, que equivale a 20 mA y la distancia mínima es 1 cm que equivale a 0 mA (SCULLY, 2018, pág. 3).

4.2.2 Programación del variador de Frecuencia.

Para programar el variador de frecuencia se dirige al manual, en el libro se busca la sección de control PID, en esa sección muestran los códigos con los cuales se debe realizar la programación del control PID.

Tabla 4-4: Tabla de comandos del variador de frecuencia.

Parameter	Parameter text	Setting	Meaning
P2200	BI: Enable PID controller	1.0	PID controller always active
		722.x	Digital input x
P2251	PID mode	0	PID as setpoint
P2253	CI: PID setpoint	2224	Fixed PID setpoint (PID-FF)
		2250	PID-MOP
		755.0	Analog input 1
		2015.1	USS on BOP link
		2019.1	USS on COM link
		2050.1	CB on COM link
P2264	CI: PID feedback	755.0	Analog input 1
		755.1	Analog input 2

Fuente: (Siemens, 2006, pág. 175).

Primero se le dan privilegios de administración al usuario con el comando P0003 en 4 para poder acceder a configurar los valores del motor.

Tabla 4-5: tabla de posibles valores que puede adquirir el Código P0003.

Access level		The access level is controlled using parameter P0003. In this case, only those parameters are visible at the BOP or AOP, where the access level is less than or equal to the value assigned in parameter P0003. On the other hand, for DriveMonitor and STARTER, only access levels 0 and 4 are relevant. For example, parameters with access level 4 cannot be changed if the appropriate access level has not been set.
		The following access levels are implemented in the family of MICROMASTER drive units:
	0	User-defined parameter list (refer to P0013)
	1	Standard access to the most frequently used parameters
	2	Extended access, e.g. to drive inverter I/O functions
	3	Expert access only for experienced users
4	Service access only for authorized service/maintenance personnel – with password protection.	
		As far as the ability to visualize the parameters is concerned, the group assignment of the individual parameters must be taken into account. Parameter P0004 is used for the control (refer to the Grouping).

Fuente: (Siemens, 2006, pág. 53).

Después se debe utilizar el código P0010 en 0 para colocar en standby el variador de frecuencia.

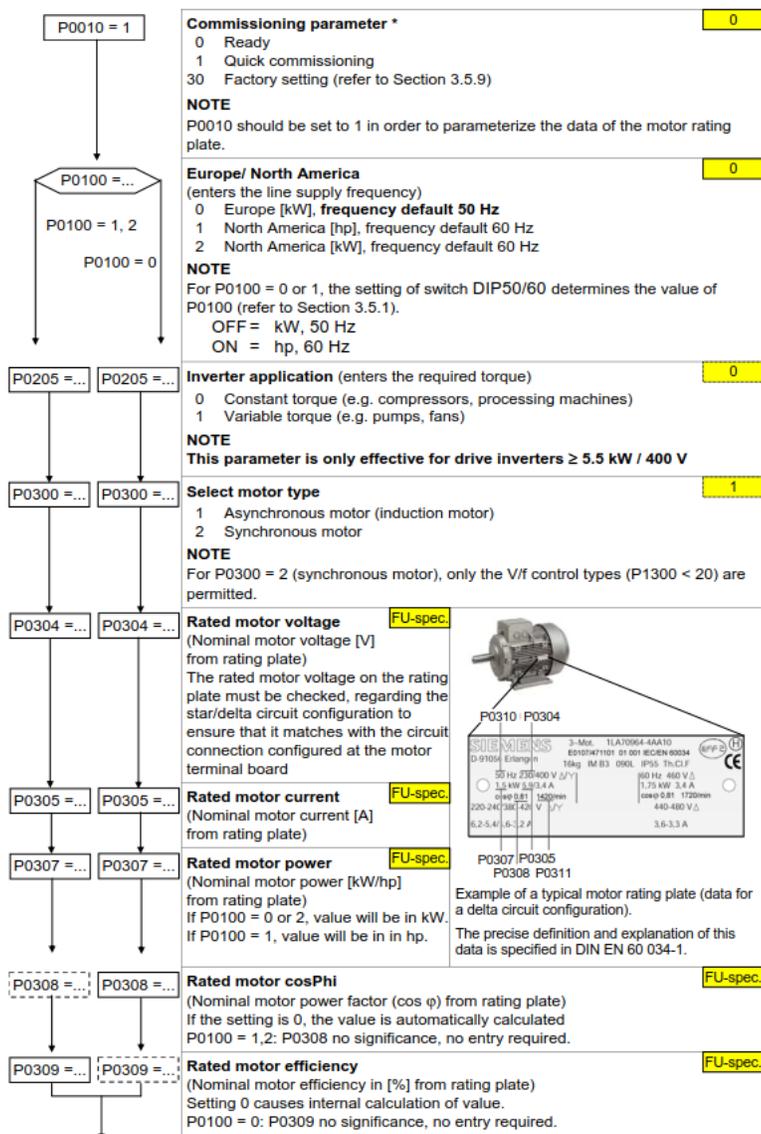
Tabla 4-6: tabla de posibles valores que puede adquirir el Código P0010

Change state		"P" parameters can only be changed depending on the drive state. The parameter value is not accepted if the instantaneous state is not listed in the parameter attribute "Change state". For instance, the commissioning (start-up) parameter P0010 with the attribute "CT" can only be changed in quick start-up "C" or ready "T" but not in run "U".
	C	Quick commissioning (start-up)
	U	Operation (run)
	T	Ready
QC.		This parameter attribute identifies as to whether the parameter is included in the quick commissioning (start-up) (P0010 = 1).
	No	The parameter is not included in the quick commissioning (start-up)
	Yes	The parameter is included in the quick commissioning (start-up)

Fuente: (Siemens, 2006, pág. 54).

Después se deben incluir los valores del motor en los códigos P0100, P0205, P0304, P0305, P0307, P0310, P0311, P1080, P1082, que corresponden a unidades de medida, torque del motor, voltaje del motor, corriente del motor, potencia del motor, frecuencia del motor, velocidad de giro del motor, frecuencia mínima y frecuencia máxima.

Tabla 4-7: Tabla de configuración de Variador de frecuencia para un motor.



Fuente: (Siemens, 2006, pág. 84).

Como se puede observar en el manual del micromaster 4000, se encuentran las referencias del uso del variador de frecuencia, ahora se procede a configurar las entradas de encendido y apagado del sistema con los comandos P0701 y P0700, que corresponden al pulsador DIN1 en el diagrama de la Figura 4-29: Diagrama de Conexiones eléctricas del variador de frecuencia para el Variador de frecuencia.

Tabla 4-8: Tabla de comandos para entradas digitales.

Digital inputs	Terminals	Parameter	Function	Active
Command source	-	P0700 = 2	Terminal strip	Yes
Digital input 1	5	P0701 = 1	ON / OFF1	Yes
Digital input 2	6	P0702 = 12	Reversing	Yes
Digital input 3	7	P0703 = 9	Fault acknowledge	Yes
Digital input 4	8	P0704 = 15	Fixed setpoint (direct)	No
Digital input 5	16	P0705 = 15	Fixed setpoint (direct)	No
Digital input 6	17	P0706 = 15	Fixed setpoint (direct)	No
Digital input 7	Via ADC1	P0707 = 0	Digital input disabled	No
Digital input 8	Via ADC2	P0708 = 0	Digital input disabled	No

Fuente: (Siemens, 2006, pág. 75).

Ahora se debe configurar la entrada analógica S1 que corresponde al sensor de retroalimentación, por tal motivo se utilizan los comandos de configuración P0756 a la P0760 que corresponde al tipo de señal correspondiente, para el caso de este proyecto es de 0-20 ma.

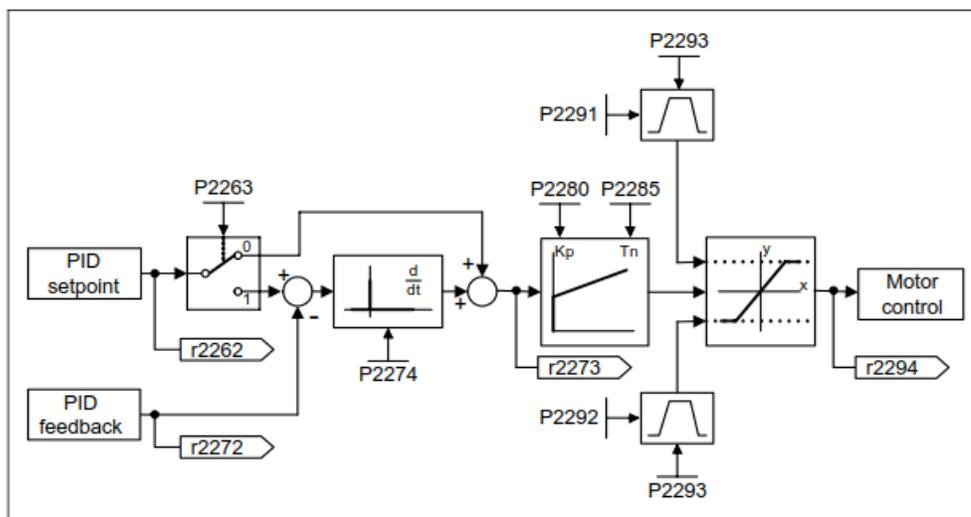
Tabla 4-9: Valores para el tipo de entrada digital.

ADC type
Defines the analog input type and activates the monitoring function of the analog input.
0 Unipolar voltage input (0 to +10 V)
1 Unipolar voltage input with monitoring (0 to 10 V)
2 Unipolar current input (0 to 20 mA)
3 Unipolar current input with monitoring (0 to 20 mA)
4 Bipolar voltage input (-10 to +10 V)
NOTE
For P0756 to P0760, the following applies:
Index 0 : Analog input 1 (ADC1), terminals 3, 4
Index 1 : Analog input 2 (ADC2), terminals 10, 11

Fuente: (Siemens, 2006, pág. 101).

Por último se configuran los valores de PID en los códigos P2280,P2285 y P2274 que corresponden a los parámetros Tiempo derivativo (td), tiempo integral (ti) y ganancia (kp) en el mismo orden descrito, a continuación el PID que se encuentra dentro del variador de frecuencia.

Figura 4-33: PID interno en el variador de frecuencia.



Fuente: (Siemens, 2006, pág. 176).

Como se puede observar, el variador ofrece un sistema de monitoreo de variables a través de unos comandos que son el P2272 correspondiente a la retroalimentación, el P2262 que corresponde la entrada, y la salida que la presenta el P2294, también se puede observar unos switch que permiten anular ciertos valores del PID para hacer un controlador más simple como un PI o un P que es el P2263, este valor obviamente debe colocarse en 1 para tener un control PID.

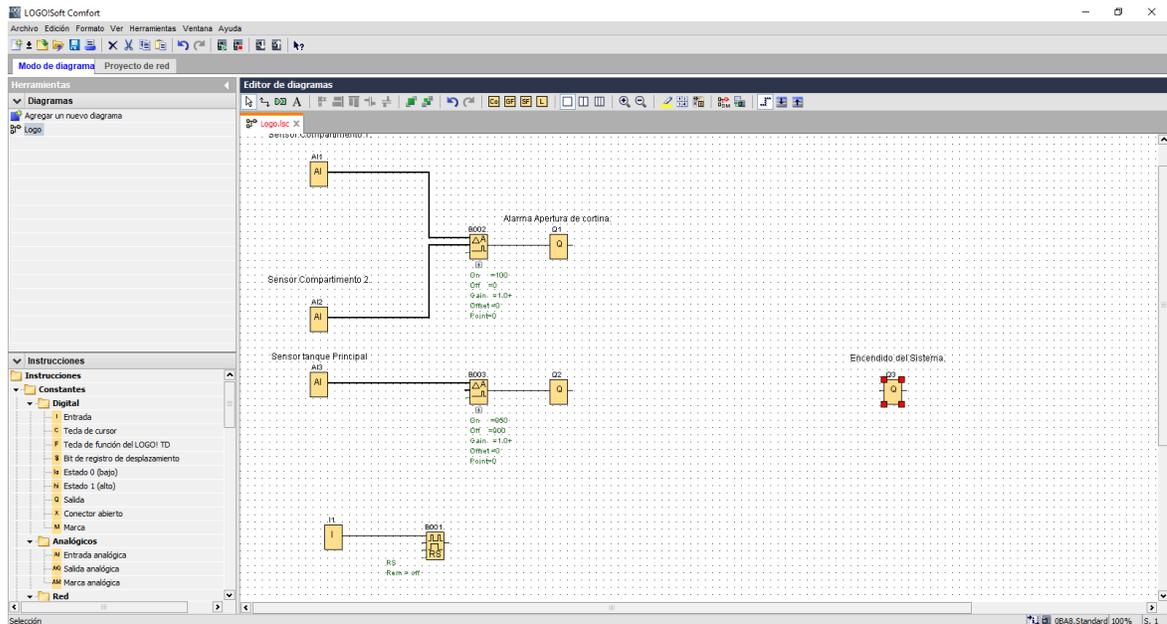
Los valores en el PID no deben ser escalados, debido a que el set-point será escalado en el Logo, es decir si el Set-Point va a ser de 7 GPM debe ser escalado de 0-20 mA por medio de una regla de 3, y el sensor a su vez entrega una salida de 0-20 mA por tal motivo ni la entrada ni la salida deben ser escalados.

Ya programado él se procede a la programación del LOGO! Siemens.

4.2.3 Programación de Logo Siemens.

Para programar el logo se utiliza el software logosoft, de siemens, que es gratuito, debido a que logo es la gama baja de PLC, se descarga el software, y se procede a realizar el programa en el lenguaje FUP que es el lenguaje que viene por defecto para Logo.

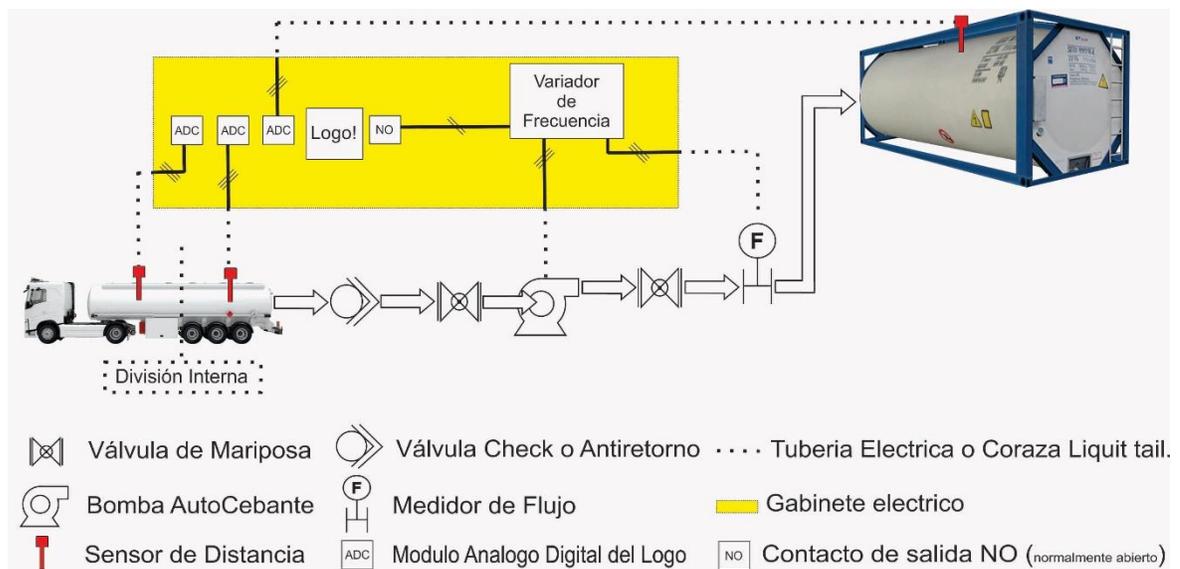
Figura 4-34: Interfaz gráfica de Logosoft y diagrama en lenguaje FUP.



Fuente: Autor del Proyecto.

Para realizar el diseño del programa, se deben ubicar los sensores que serán los ojos del sistema, estos sensores deben ser ubicados dentro del camión cisterna, en cada uno de sus compartimentos, y uno de los sensores debe ser instalado en el tanque principal para que el sistema sepa el nivel de cada uno de los tanques para colocar en funcionamiento la bomba. A continuación se muestra la ubicación de los sensores y la conexión al sistema.

Figura 4-35: Ubicación de los sensores de distancia.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, se ubican dos sensores en el camión cisterna (uno en cada compartimento) y otro en el tanque principal, estos se van a encargar de verificar el nivel de los tanques, y transmitirle este datos a través de una señal análoga de 4-20 mA, esta señal será proporcional a la distancia del mismo, por tal motivo su escalamiento dentro del logo no será necesario.

4.3 Lógica del programa

La lógica del sistema será la siguiente:

Si el sensor 1 (el que se encuentra más cerca a la manguera de desagüe), se encuentra en un nivel muy bajo (a una distancia de 0.5 mts), del sensor 2 emite una alarma y apaga la bomba.

Si el Sensor 1 llegan a una determinada altura (1.75 mts) apagar la bomba.

Si el sensor 3 (el que se encuentra ubicado en el tanque), se encuentra cerca de 0 ma (tanque lleno), entonces apaga la bomba, activa una alarma y apaga la bomba.

Si se oprime el botón start prende la bomba, si se oprime el mismo botón apaga la bomba.

Como el variador de frecuencia fue programado con el PID de manera autónoma, la bomba puede ser accionada a manera manual, pero la lógica del logo quedaría por fuera, dando lugar a un modo automático y manual, automático sería si se acciona la bomba a través del logo y el modo manual sería cuando se accionara desde el variador de frecuencia directamente.

El medidor de flujo instalado en el variador queda instalado de manera autónoma, y queda bajo el control del PID, por tal motivo donde el sensor no se incluye en la lógica.

4.3.1 Programación en FUP.

Se comienza con la primera premisa si el sensor 1 se aleja del sensor 2, apaga la Bomba, esto se hace con el bloque de comparación analógico, el cual permite la entrada de dos señales analógicas, y dentro del bloque se programa si se aleja 30 cms (0.3 mts), debe apagar la bomba.

Para poder conocer el valor de x se debe remitir a una regla de 3 y al datasheet del sensor.

Según (SCULLY, 2018, pág. 2) el sensor tiene un rango de 0-20 mA que equivale de 0mts a 8 mts, esto quiere decir que a 0 ma el camión se encuentra lleno, y a 8 mts del sensor, este debe brindar 20 mA. Por tal motivo se realiza una regla de 3.

$$\text{Si } 20 \text{ mA} = 8 \text{ mts} \rightarrow X = 0.3 \text{ mts} \rightarrow (8 \text{ mts})(X) = (0.3 \text{ mts})(20 \text{ mA}) \rightarrow X = \frac{(0.3 \text{ mts})(20 \text{ mA})}{8 \text{ mts}}$$

$$\rightarrow X = 0.75 \text{ mA}$$

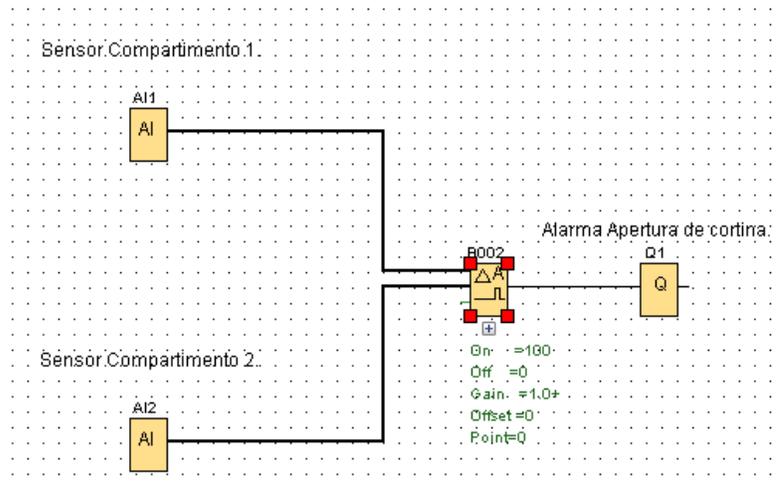
Pero el logo no reconoce la corriente del dispositivo directamente, sino a través de un valor entre 0 a 1000, que es a lo que se llama resolución, por tal motivo se realiza otra regla de 3 para conocer el valor del logo a 0.75 mA.

$$\text{Si } 20 \text{ mA} = 1000 \rightarrow 0.75 \text{ mA} = X \rightarrow (20 \text{ mA})(X) = (0.75 \text{ mA})(1000) \rightarrow X = \frac{(0.75 \text{ mA})(1000)}{20 \text{ mA}}$$

$$\rightarrow X = 37.5$$

Que puede ser redondeado a 38. Ya teniendo el valor del conversor análogo digital se procede a realizar el diagrama FUP dentro de Logosoft e introducir el valor y probar la Lógica.

Figura 4-36: Diagrama FUP de la lógica del camión.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, las entradas analógicas 1 y 2 del logo, entran al comparador y del comparador, se configura la salida para encenderse cuando la diferencia sea de 38 unidades y que se apague cuando la diferencia entre ambas sema igual o inferior a 20 unidades.

Figura 4-37: Configuración del bloque de comparación.

Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, se configura el bloque comparador, con los datos suministrados anteriormente, el logosoft permite evitar las reglas de tres con una configuración interna, pero por motivos de conversiones en caso de implementar una pantalla HMI, o para que el programador que desee implementar el sistema, se guíe de una manera óptima sabiendo de donde salen los valores y porque.

La segunda premisa, es si baja el nivel 1.75 mts que les la medida del tanque vacío se debe apagar la bomba. Se realizan las reglas de 3 para conocer el valor del convertidor analógico digital a 1.75 mts.

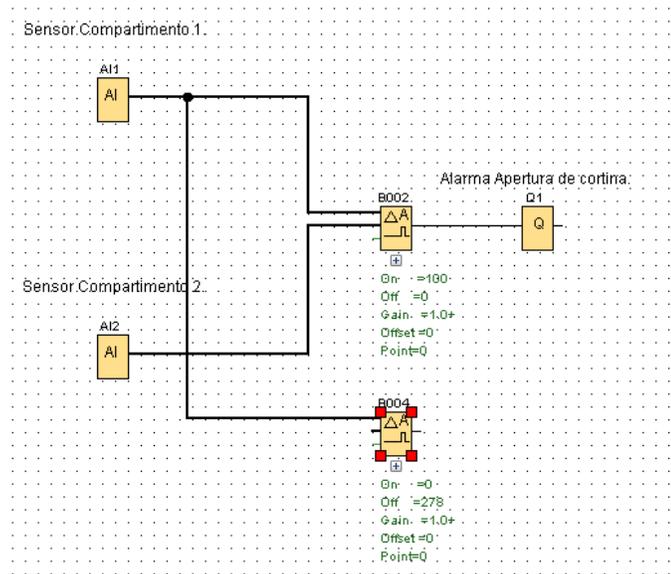
$$\text{Si } 20 \text{ mA} = 8 \text{ mts} \rightarrow X = 1.75 \text{ mts} \rightarrow (8 \text{ mts})(X) = (1.75 \text{ mts})(20 \text{ mA}) \rightarrow X = \frac{(1.75 \text{ mts})(20 \text{ mA})}{8 \text{ mts}}$$

$$\rightarrow X = 4.375 \text{ mA}$$

$$Si 20 \text{ mA} = 1000 \rightarrow 4.375 \text{ mA} = X \rightarrow (20 \text{ mA})(X) = (4.375 \text{ mA})(1000) \rightarrow X = \frac{(4.375 \text{ mA})(1000)}{20 \text{ mA}}$$

$$\rightarrow X = 218.75$$

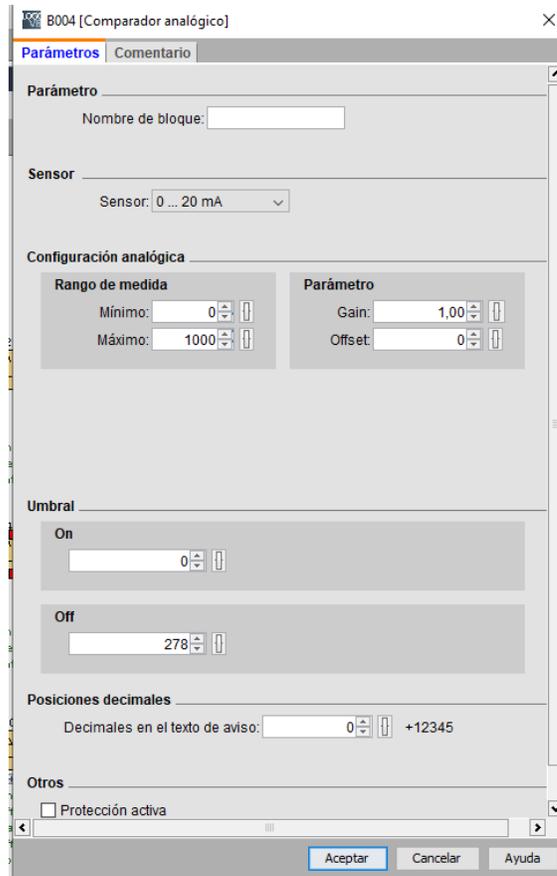
Figura 4-38: Lógica de vaciado del tanque.



Fuente: Autor del Proyecto.

Se toma la sela del análogo digital y se coloca en el segundo comparador, este se configura para apagarse después del valor de 218 que es el equivalente ADC de 1.75 m.

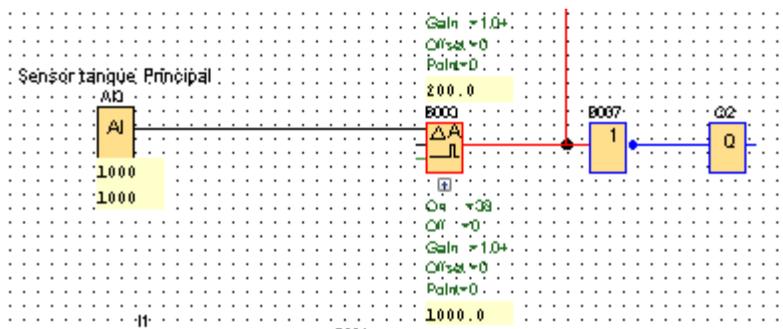
Figura 4-39: configuración del bloque de comparación.



Fuente: Autor del Proyecto.

Procedemos a la siguiente premisa, si el tanque principal se llena entonces debe apagar la bomba, esto se controla con el sensor 3 ubicado dentro del tanque principal, su lógica sería controlada con otro comparador que simplemente este configurado si es menor o igual que 30 cm del sensor, entonces apague la bomba. A continuación se muestra el diagrama de esta premisa.

Figura 4-40: Diagrama FUP de la premisa del tanque principal.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede apreciar, en el diagrama solo hay un comparador que se encuentra configurado para apagarse apenas llegue a un límite, en este caso es 900, debido a que los 30 cm son 38 posiciones, $1000 - 38$, da 968, es decir que la bomba se mantiene encendida en el lapso entre 0 y 968 y faltando 30 cm se apaga.

Se le coloca un bloque negador a la salida de la lógica, para accionar una alarma, en caso de su llenado que en este caso apaga la lógica, entonces encienda la alarma.

Figura 4-41: configuración de Bloque de comparación

B003 [Comparador analógico]

Parámetros Comentario

Parámetro

Nombre de bloque:

Sensor

Sensor: 0 ... 20 mA

Configuración analógica

Rango de medida

Mínimo: 0

Máximo: 1000

Parámetro

Gain: 1,00

Offset: 0

Umbral

On

0

Off

968

Posiciones decimales

Decimales en el texto de aviso: 0 +12345

Otros

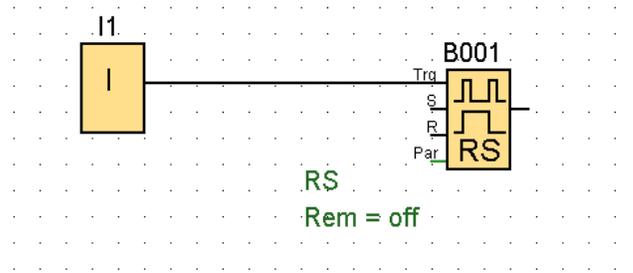
Protección activa

Aceptar Cancelar Ayuda

Fuente: Autor del Proyecto.

Por último, se programa la última premisa que consiste en prender y apagar la bomba con un solo botón, para esto se escoge la entrada digital número 1 y se une a un bloque de releer de impulsos, el cual con un pulso prende su salida y con el otro apaga la salida.

Figura 4-42: Lógica premisa de on-off con un solo botón.

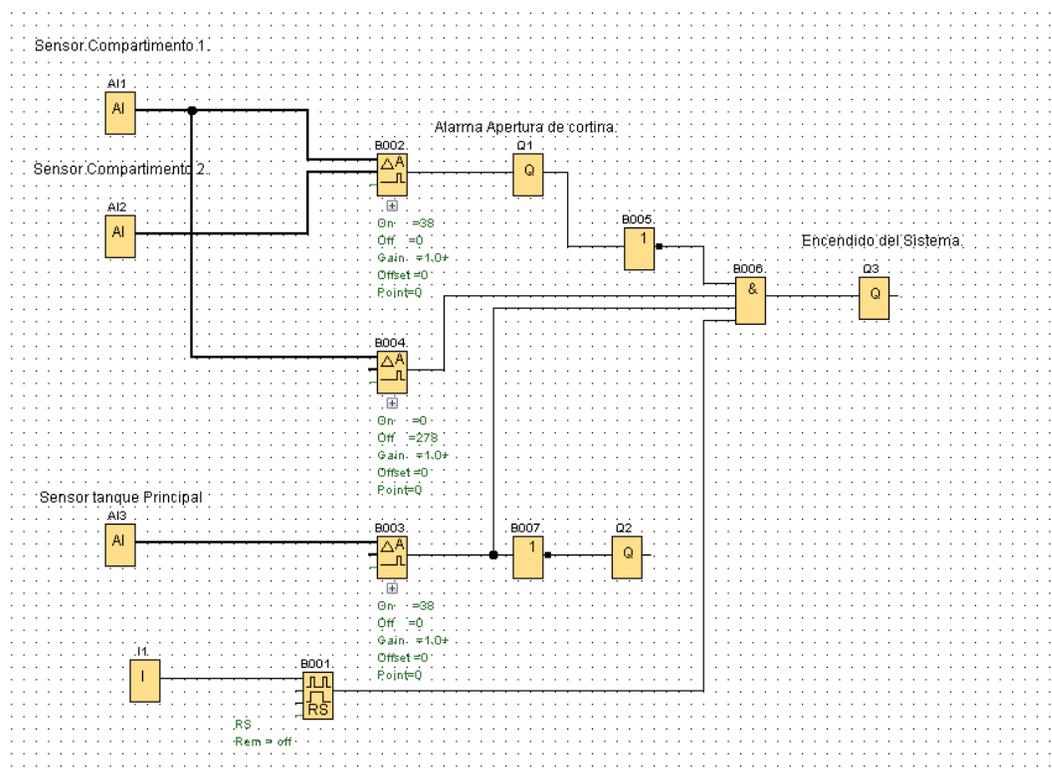


Fuente: Autor del Proyecto.

Este bloque no lleva ninguna configuración, debido a que es un bloque prediseñado que maneja el software logosoft.

Todas estas premisas deben ser unidas con una compuerta AND (&) debido a que se deben cumplir todas las premisas para que la bomba se accione.

Figura 4-43: Diagrama FUP de la lógica y las premisas.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, todas las premisas se unen con una compuerta AND (&) el cual si se cumplen todas las condiciones, accione la bomba, si alguna de las condiciones no se ejecuta la bomba se apaga.

4.3.2 Simulación del Programa.

Logosoft tiene un sistema sencillo de simulación en el cual cada vez que se coloca una entrada y una salida, el genera un potenciómetro digital y un botón para el caso de las entradas y para las salidas.

Figura 4-44: Panel de simulación de entradas y salidas Logosoft.

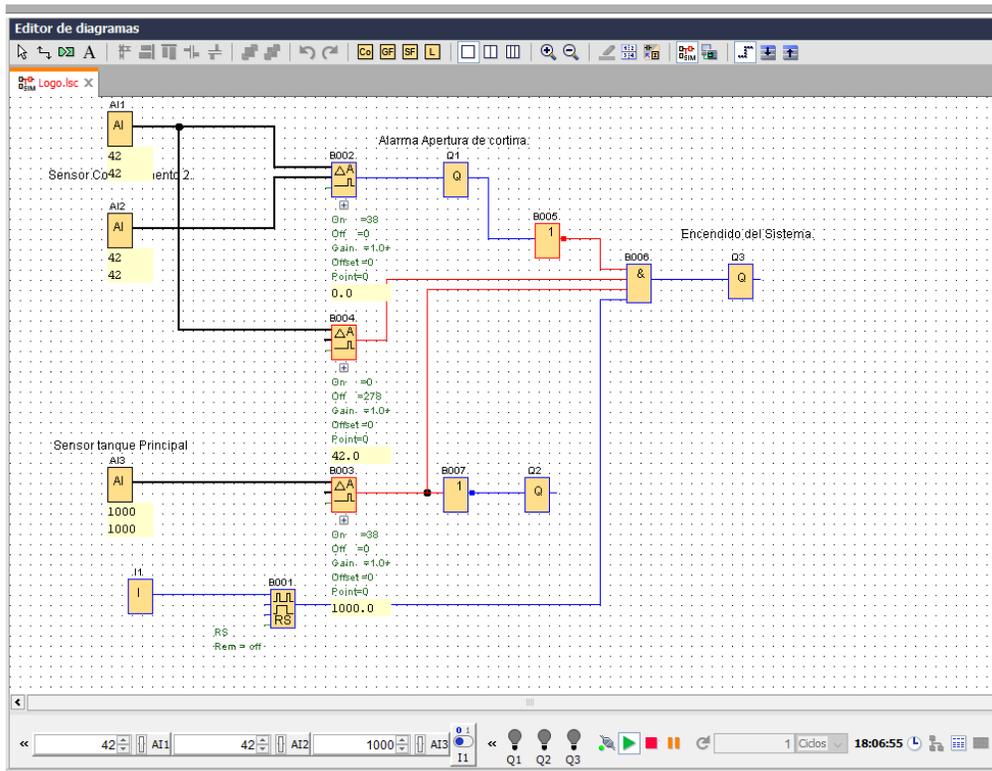


Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, por cada entrada y salida colocada en el diseño existe o un potenciómetro para el caso de las entradas analógicas, 1 botón para el caso del on-off y tres bombillos que representan las salidas del sistema, además de tener un panel de control de simulación con los botones desconectar, iniciar simulación, detener simulación y parar simulación.

Para verificar que la lógica es funcional, se realiza una simulación desde 0, asumiendo que los tanques del camión cisterna están llenos y el tanque de almacenamiento este vacío.

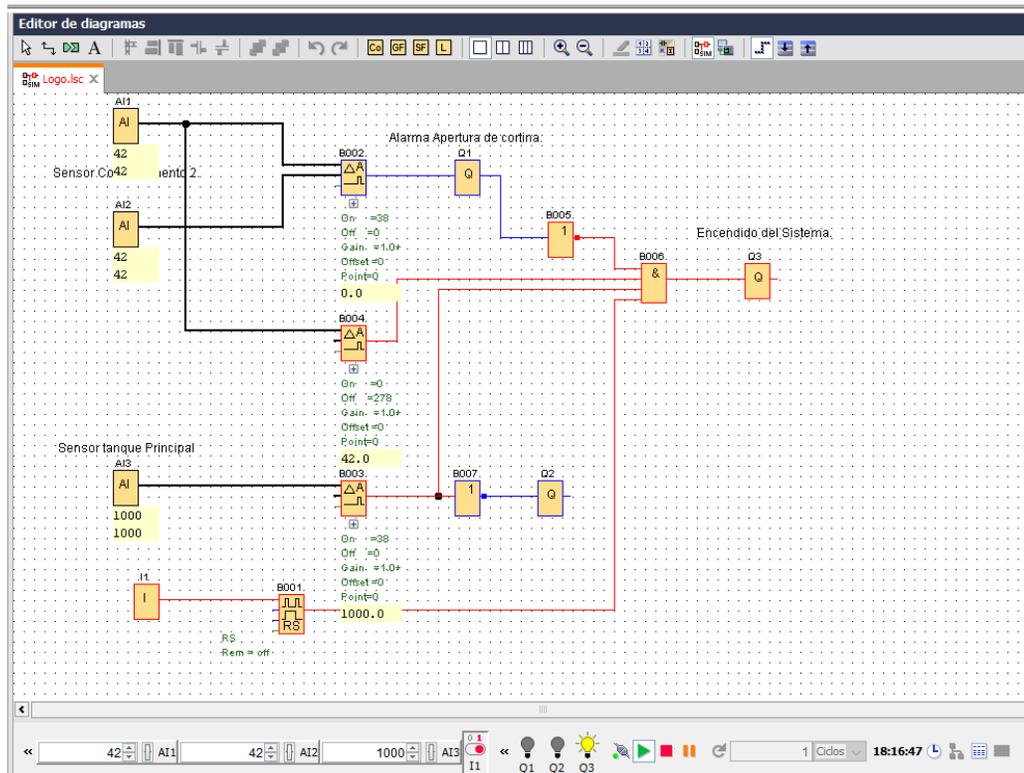
Figura 4-45: simulación del sistema.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar los valores de los sensores se inician en 42 en ambos sensores, esto debido a la suposición que los tanques se encuentran llenos, como se puede observar las líneas rojas indican que se encuentra energizada la línea, a pesar que se cumpla varias condiciones que inicien la bomba, que es la salida Q3 no se energiza debido a que no se le ha dado la orden de start. Al enviarle un pulso, por el botón I1, automáticamente la bomba arranca ya que se completaron todas las condiciones para que la misma funcione.

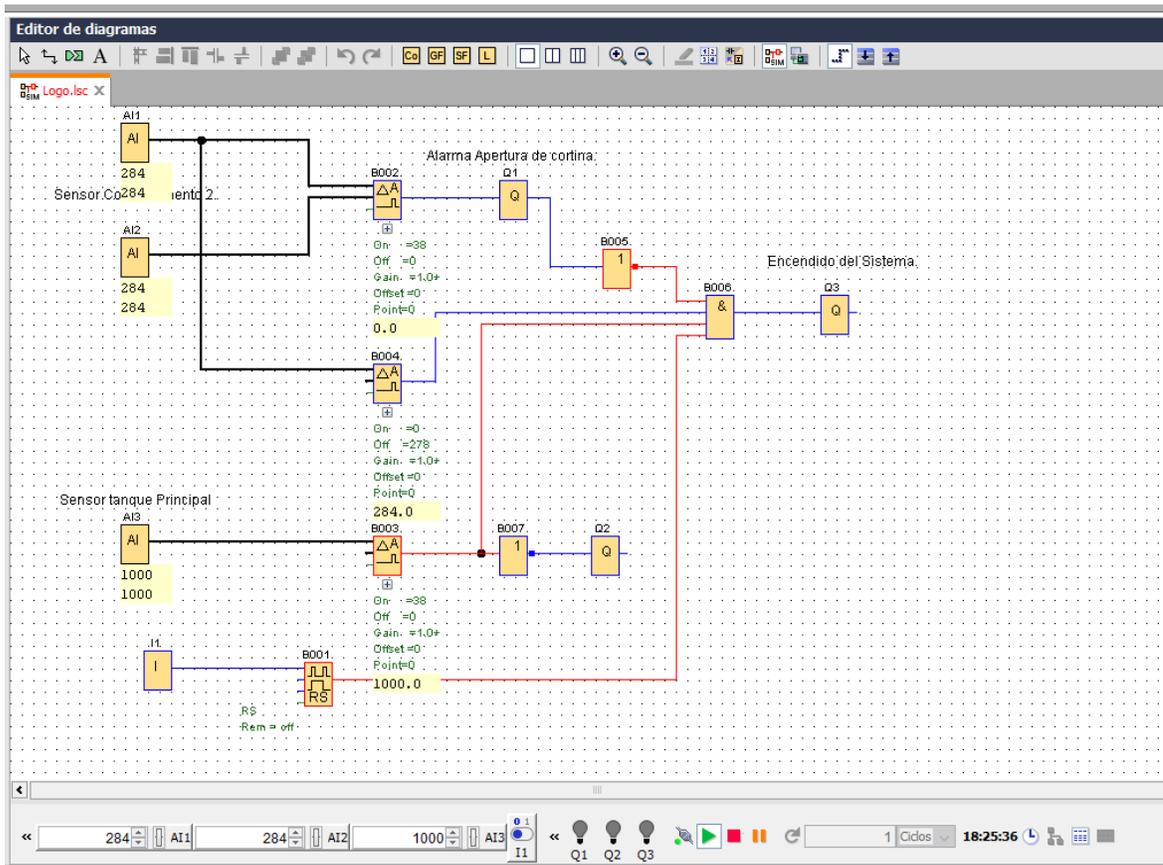
Figura 4-46: activación del motor de la bomba.



Fuente: Autor del Proyecto.

Al soltar el pulsador, el sistema se enciende y los tanques comienzan a bajar teóricamente al mismo tiempo, en la práctica depende si abrieron la cortina divisoria o no, se va a suponer en caso a falla de que la cortina estuviera cerrada, entonces el sistema se debe apagar, así que se simula este fenómeno incrementando el potenciómetro AI1 pero dejando el potenciómetro AI2 como esta.

Figura 4-48: Apagado de la bomba por bajo nivel en la cisterna.

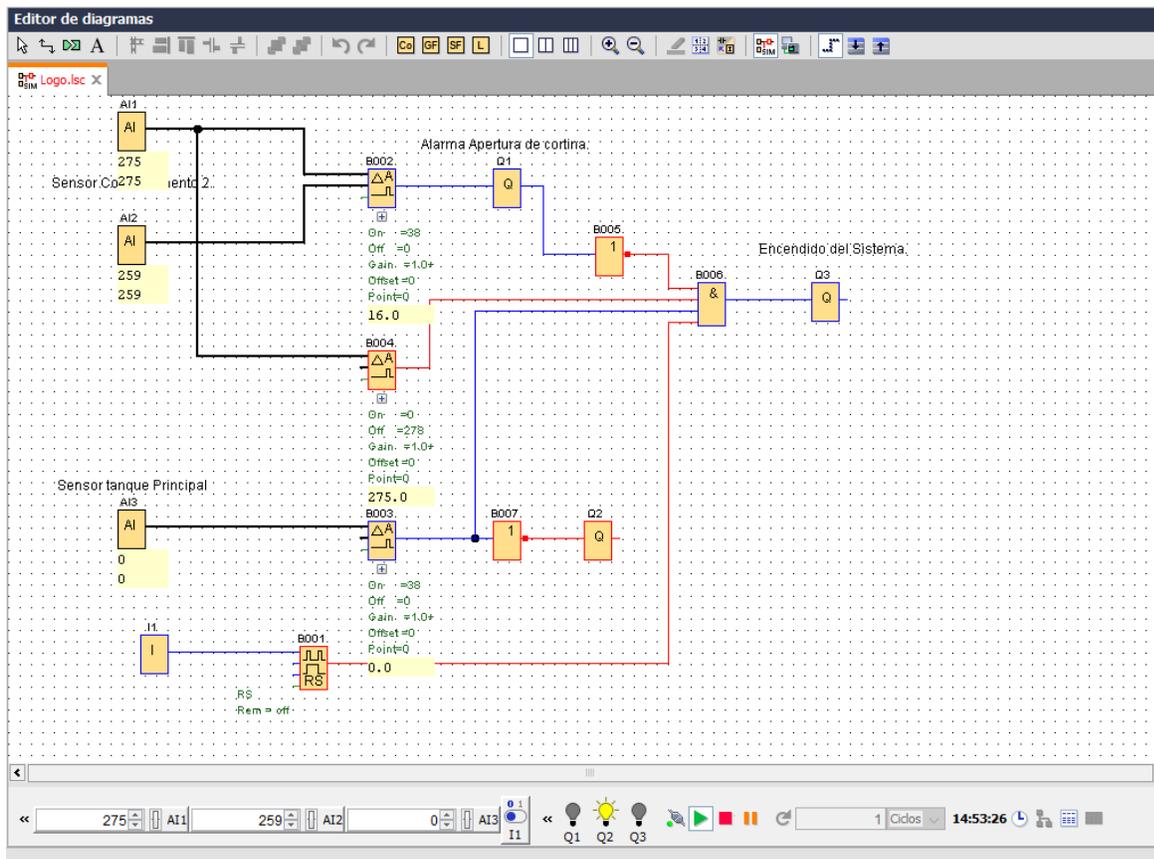


Fuente: Autor del Proyecto.

Al momento de llegar a los 1.75 m (278 unidades) la bomba se apaga, la bomba debe llevar un piloto en la parte de potencia, debido al arranque manual que no puede ser verificado por el logo, se aconseja colocar el piloto en el motor.

Ahora se va a simular el llenado del tanque principal, al aproximarse el sensor a 0 debe apagar la bomba.

Figura 4-49: Lógica de Llenado de tanque principal



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, se apagó la bomba por llenado del tanque al sensor acercarse a 0.

Ya probada la lógica en el simulador del Logosoft, se procede a realizar el diagrama de conexiones con logo! Siemens.

4.3.3 Conexiones físicas entre Logosoft y Micromaster Siemens.

Para poder continuar con el proceso de conexiones se tiene que tener en cuenta que logo se va a utilizar, para este caso se debe utilizar la última generación de logo Siemens hasta el momento de hacer este trabajo que es el Logo V8.

Figura 4-50: Imagen de LOGO V8.



Fuente: (Siemens, 2020)

- Especificaciones

TIPO: 230RCE

MODELO: 6ED1052-1MD08-0BA0

ALIMENTACIÓN: 115/230VDC

ENTRADAS: 8 a 12/24VDC, 4 de estas entradas pueden configurarse a 0-10Vdc

SALIDAS: 4 tipo relé

AMPLIABLE MODULARMENTE

WEB SERVER INTEGRADO

FUNCIÓN RECOLECTORA DE DATOS (DATA LOGGING)

PUERTO ETHERNET

CAPACIDAD RELOJ TIEMPO REAL: 20 días

MONTAJE EN RED: Hasta 8 equipos V8.

Este logo posee 8 entradas digitales DC, alimentación 110-220 y salidas a relay, por tal motivo se necesitan los módulos de ampliación análogo digital y se necesita una fuente de alimentación externa a 24 V dc que alimentaría los sensores que son a 24V y las entradas del mismo dispositivo.

Como fuente se debe escoger una con 24V DC y una corriente igual o superior a 3 amperios, (100W) para montaje en riel omega se recomienda una fuente Siemens 6EP13363BA10.

Figura 4-51: Fuente Siemens 24VDC.



Fuente: (Siemens, 2020)

Esta fuente puede suministrar hasta 4A 24V (100W), con una potencia suficiente para encender el logo, los sensores y alimentar los pulsadores y si a futuro desean instalar una pantalla HMI también se puede alimentar con la misma Fuente.

Logo como se puede apreciar en sus especificaciones, no soporta entradas Análogas directamente, por eso es necesario adicionarle al logo las entradas análogas digitales, siemens el modulo es el Siemens LOGO! 8 AM2 - 6ED1055-1MA00-0BA2, el cual posee dos entradas analógicas digitales (ADC) de 0-20 ma y de 0-10V, por tal motivo y debido a que son 3 sensores se necesitan dos módulos anteriormente mencionados.

Figura 4-52: modulo conversor análogo digital siemens LOGO! 8 AM2

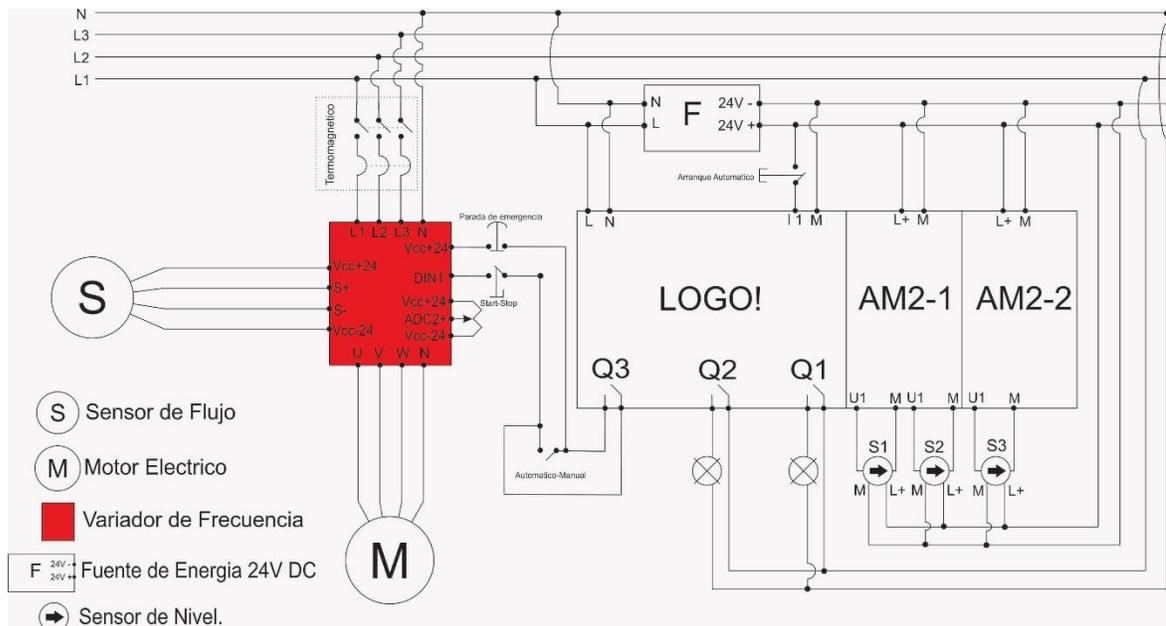


Fuente: (Siemens, 2020)

Este módulo debe ser alimentado por separado del logo, su alimentación es de 24VDC, que se le adiciona a la fuente de tensión.

A continuación se presenta el diagrama para implementar y unir los sistemas anteriormente programados.

Figura 4-53: Diagrama Eléctrico de control del Variador de frecuencia



Fuente: Autor del Proyecto.

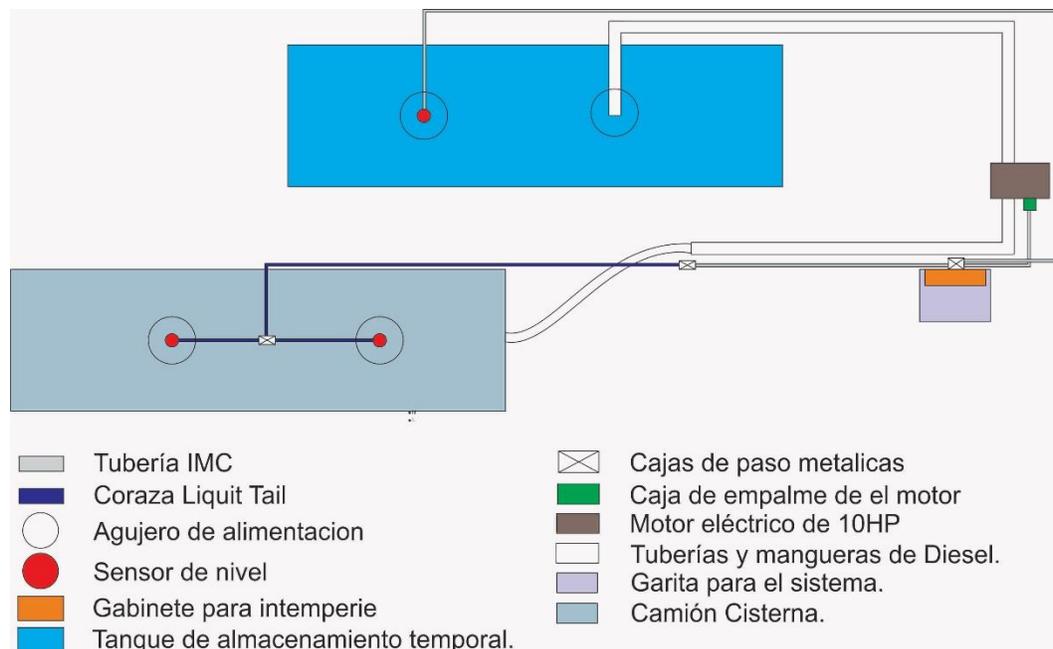
Como se puede observar, el logo se conecta en cada una de las etapas del proyecto, el switch automático-manual, anula el sistema de logo puentando el sistema y dejando el logo por fuera en el caso deseado el pulsador de auto retención Start-Stop es el pulsador que permite arrancar el variador de frecuencia, en modo automático debe permanecer activo para darle la orden al logo que vigile todas las variables y debe apagarse para evitar que el logo arranque el variador de frecuencia, el potenciómetro al lado del variador de frecuencia se usa para ajustar el set point y ajustar la potencia de la bomba, por tal motivo para su funcionamiento normal se debe colar al 100% para que la bomba tranaje al máximo, el PID se ajustara solo para tratar de mantener los 7 GPS, pero en caso de un descargue lento o el descargue de un líquido que requiera una velocidad menor de desocupación del camión cisterna.

4.3.4 Protección contra intemperie del sistema.

Se aconseja construir una garita en concreto, la ubicación del sistema depende de la empresa, pero se aconseja ubicarla lo más cerca posible de la bomba y donde el operador pueda observar las alertas visuales. Las dimensiones de la garita se aconsejan de 1.8 m de ancho por 2.5 m de altura, dentro de se debe instalar el sistema dentro de un gabinete con medidas 1 m de ancho, con 1.5 m de alto y 40 cm de profundidad. El sistema debe ser montado en la placa de doble fondo para montura rápida.

A continuación se muestra un plano de donde se puede colocar cada uno de los componentes.

Figura 4-54: Plano aproximado de ubicación de componentes.



Fuente: Autor del Proyecto.

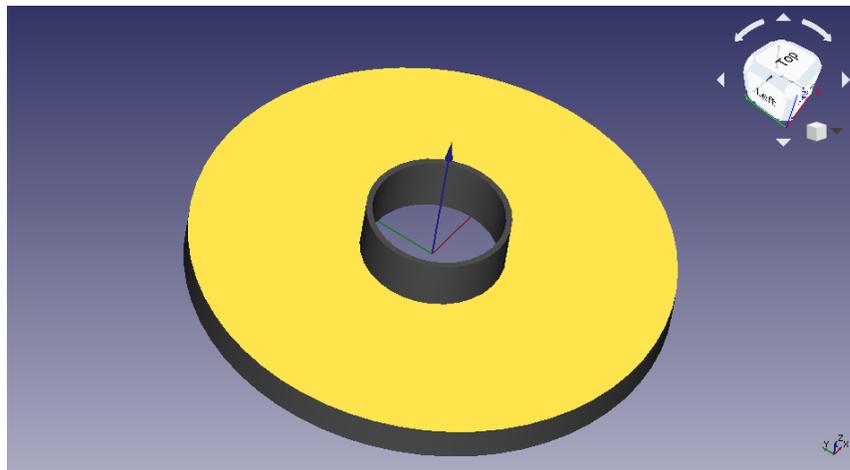
Se realiza un plano ilustrativo, debido a que la ubicación final lo coloca la empresa si decide realizar el proyecto y se encuentra sujeto a cambios, esta vista desde arriba es ilustrativa y solo sirve para realizar una guía para el cálculo de materiales.

4.3.5 Diseño de tapa para el camión cisterna para el sensor de nivel.

Para el diseño de la tapa, se tiene en cuenta que el camión sistema tiene una abertura de diámetros standard de 16" y 20", estos diámetros dependen del modelo de la cisterna, por tal motivo se deben fabricar las tapas para ambos casos, la tapa debe ser resistente y liviana, y debe tener un seguro para que el viento no la levante.

Se escoge como material de diseño, el latón, debido que es inmune a la oxidación de los gases del combustible, además de que es inmune a las salpicaduras del Biodiesel, a continuación se presenta un modelamiento 3D hecho en solidwoks con la tapa de 16", la tapa de 20" debería tener las mismas medidas en la parte de del sensor, pero 4" más de diámetro.

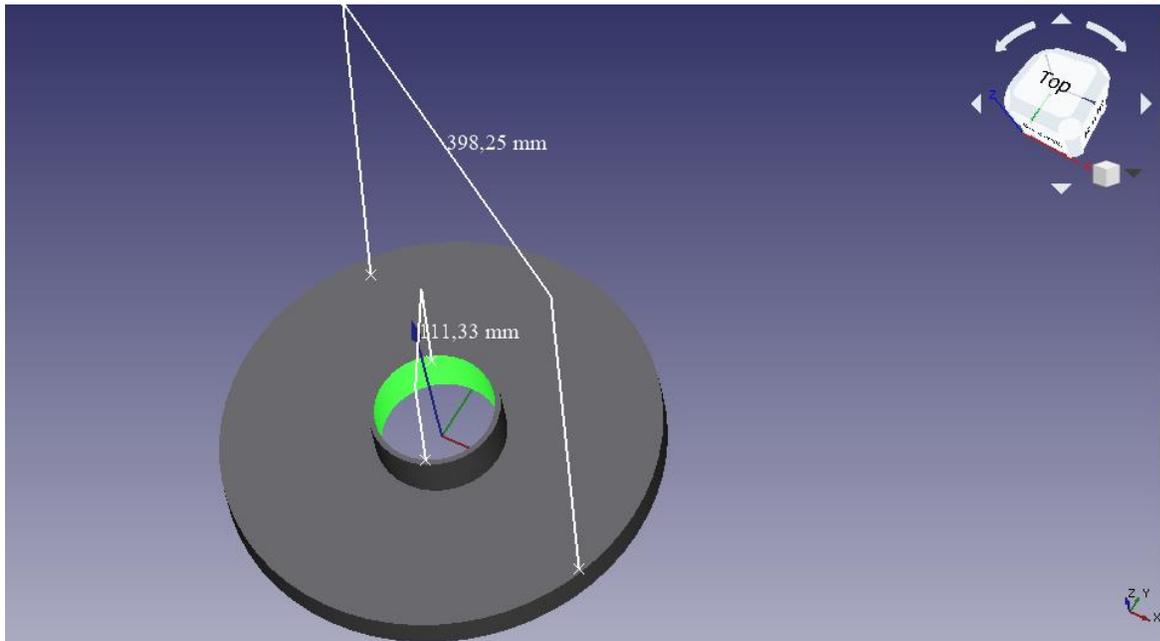
Figura 55: Dibuje en 3D de la tapa.



Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, se deja el espacio para que entre el sensor, como el sensor posee una rosca de 2", el hueco del sensor debe ser de 2" NPT Rosca fina como lo especifica el fabricante del sensor. El seguro puede ser un pasador tipo oreja que se le instale a un lado y que encaje en el seguro de los candados de las tapas.

Figura 56: Cotas de la tapa.



Fuente: Autor del Proyecto.

Las tapas deben ser colocadas en el momento en que el camión ingrese al patio y deben ser colocadas con el sensor.

El sensor puede ser desenroscado para ser reutilizado con cualquiera de las 2 tapas expuestas en el proyecto.

4.4 Coste Beneficio

Para realizar el coste beneficio del sistema, se deben tener en cuenta dos aspectos.

- a) El sistema instalado anteriormente.
- b) La cantidad de operarios necesarios en el anterior sistema y en el nuevo.

Evaluando los aspectos anteriores, según las Figura 4-1: Inspección manual del Camión cisterna. a la Figura 4-3: Verificación de nivel del camión cisterna., se requieren de 3 Operarios para manipular el sistema manual, uno que este midiendo el nivel de Biodiesel del tanque, otro que observe el nivel del tanque de almacenamiento y el ultimo que opere

la máquina y esté atento a las maquinas en tierra, la reducción de personal encargado del proceso es un factor clave al momento de realizar la parte del beneficio, y el sistema instalado anteriormente, sirve para ahorrar en la implementación del sistema, por tal motivo se presenta a continuación los gastos de implementación del sistema.

Tabla 10: coste del proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	V UND	V TOTAL
1	Logo Siemens V8	1	\$ 850.000	\$ 850.000
2	Pantalla HMI	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
3	Expansión ADC AM2 - 6ED1055-1MA00-0BA2	2	\$ 250.000	\$ 500.000
4	Variador de frecuencia 10HP Siemens Micro master	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
5	Gabinete tipo intemperie 120X40X30 cms	1	\$ 950.000	\$ 950.000
6	Cajas metálicas con rosca NPT 2X4	7	\$ 55.000	\$ 385.000
7	tapa impermeables para caja metálica 2X4	7	\$ 15.000	\$ 105.000
8	coraza Liquidtail	50	\$ 22.000	\$ 1.100.000
9	Varilla de polo a tierra 2,4 100% cobre	4	\$ 220.000	\$ 880.000
10	terminales de Polo a tierra	4	\$ 8.500	\$ 34.000
11	Bulto de Hidrosolta	6	\$ 45.000	\$ 270.000
12	Cable SMTP 4 Hilos	150	\$ 4.500	\$ 675.000
13	cable 7 Hilos # 6	15	\$ 4.500	\$ 67.500
14	Tapa en Laton	5	\$ 650.000	\$ 3.250.000
15	Riel Omega	2	\$ 7.500	\$ 15.000
16	Conectores AWG 8-6	20	\$ 12.500	\$ 250.000
17	Terminales NPT para coraza metálica	18	\$ 25.000	\$ 450.000
18	cable desnudo AWG 6	50	\$ 45.000	\$ 2.250.000
19	Terminales de Punta	50	\$ 500	\$ 25.000
20	Cemento	3	\$ 25.000	\$ 75.000
21	Varilla de 3/8	4	\$ 9.500	\$ 38.000
22	Botones	6	\$ 12.500	\$ 75.000
23	Pilotos	6	\$ 12.500	\$ 75.000
24	Armado del Gabinete	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
25	Obra civil montaje de Gabinete	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
			Total	\$ 22.319.500

Fuente: Autor del Proyecto.

Como se observa en la tabla anterior no se necesita ningún elemento hidráulico debido al reusó del sistema ya instalado en el lugar.

En la parte de beneficio, se encuentra el uso de menor personal para manipular el sistema, es decir se pasa de 3 operarios a 1 solo debido que los sensores de nivel revisaran en tiempo real y tomaran las decisiones para el descargue del sistema a continuación se realiza la tabla de beneficio.

Tabla 11: Ahorro de dinero en la implementación del sistema.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V UND	V TOTAL
1	Sueldo de Operario	2	\$ 3.500.000	\$ 7.000.000

Fuente: Autor del Proyecto.

Como se puede observar, la mano de obra de un operario mensual, es relativamente alto, en comparación con 1 solo operario que manipule el sistema, también se deben tener en cuenta los accidentes laborales que pueden ocurrir al manipular el sistema de manera manual, también la coordinación humana es más lenta que la coordinación maquina por tal motivo se recomienda la instalación de supervisión del sistema.

Para montar los sensores solo se necesita de un operario y colocar en marcha el sistema solo necesita que el operario se baje del camión y coloque en marcha el sistema, evitando un accidente y alejando al operador del camión al momento del descargue.

La modificación al sistema se recuperaría en 3 meses debido a que los operarios se mantendrían en standby o en su defecto serían utilizados en otros procesos donde fueran necesarios.

5 Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

En la documentación del trabajo se encontró que cada empresa tiene sus propios protocolos de descargue, cada estación de servicio, para las grandes empresas como Ecopetrol, los protocolos son básicos debido a la cantidad de camiones que ellos descargan al día.

Se obtiene como conclusión que se puede modelar el sistema a través de caja negra, sin utilizar métodos matemáticos exhaustivos, ahorra Tiempo y se asemeja más a la realidad evitando comportamientos diferentes entre la teoría y la práctica, en el modelo matemático no se tienen en cuenta muchos factores aleatorios, que en la vida real se pueden presentar, como es el caso del ruido en las tuberías, los movimientos de los golpes de ariete y todo ese tipo de factores que hacen que un modelo de caja blanca no sea 100% fiable frente al modelo obtenido en la caja negra. Esto se obtuvo, gracias al modelamiento mediante la toma de muestras.

Matlab-simulink es un sistema de modelado de sistemas dinámicos potente, permite modelar y darle una idea al diseñador de como actuara el sistema en el tiempo, esto permite el desarrollo de sistemas PID, los cuales ayudan a realizar un control robusto a cualquier proceso. Para este caso se utiliza el controlador PID para evitar los golpes de Ariete que pueden provocar daños a la infraestructura de la empresa, se destaca, que el uso de Matlab, se omiten ciertos factores medio ambientales, que repercuten en que el sistema debe ser probado durante su futura implementación.

El variador de frecuencia permite la introducción de los valores PID y controlar el sistema de manera autónoma al Logo, para liberar al controlador de trabajo.

LogoSoft es una herramienta de diseño y simulación de programas para los sistemas Siemens Logo, esto permitió realizar la lógica y probarla de manera preventiva a manera de simulación y así facilitar el diseño de sistemas de control.

El coste beneficio del sistema, apunta que la automatización del mismo es rentable, debido a la disminución de operarios del sistema, además de que aleja a los operarios del proceso evitando un accidente de trabajo en caso de una conflagración

5.2 Recomendaciones.

Se recomienda comparar el proceso de Ecopetrol S.A de descargue de Biodiesel, con otras empresas en el sector como es el caso de PEMEX, o cualquiera que procese el biodiesel.

Se recomienda realizar el modelamiento matemático en caja blanca (modelo matemático completo), para realizar la comparación con el modelo de caja negra. Cabe resaltar que el modelo de caja negra es una aproximación al modelo matemático real teniendo en cuenta fricciones... etc.

Se recomienda un modelado completo del sistema en Matlab simulink que permita una comprensión académica más detallada del sistema.

Se recomienda probar con la utilización de otro sistema de automatización como es el sistema de variación de frecuencia ABB o con un sistema PLC AllenBratley, para comprobar el coste beneficio actual.

Se deben realizar un manual de usuario de uso del mismo sistema, en este proyecto no se especifica debido a que debe ser montado físicamente para establecer el nuevo manual de procedimientos.

Se recomienda su implementación.

6 Bibliografía

- Agencia para Sustancias Tóxicas y registro de Enfermedades. (1999). *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO*. Madrid España: Agencia para Sustancias Tóxicas y registro de Enfermedades Española.
- Arias perez, D. E., Teuta Ramirez, C., & Parra Plazas, J. (2011). *Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico*. Bogotá: Universidad libre de Colombia.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas: El Pasillo.
- Castillo Rojas, D. (2012). *Automatización en el llenado de los camiones cisterna en los planteles de RECOPE*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Duarte V, O. G. (2010). *Análisis de Sistemas Dinámicos*. Bogotá: Universidad Nacional.
- EKIP. (2017). *Catálogo de Aplicaciones En Petróleo*. Bogotá.: EKIP.
- FedebioCombustibles. (18 de 04 de 2018). *fedebiocombustibles*. Obtenido de fedebiocombustibles: <http://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-3003.htm>
- García Muentes, S. A., Lafargue Pérez, F., Labrada Vázquez, B., Díaz Velázquez, M., & Sánchez del Campo Lafita, A. E. (2018). *Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la Jatropha curcas L. en la provincia de Manabí, Ecuador*. *Revista científica Cubana*, 142-158.
- Gobierno Colombiano. (2004). *LEY 939 DE 2004*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente.
- GreenPeace. (s.f.). *EFFECTOS DEL PETRÓLEO SOBRE LA SALUD*. Madrid: GreenPeace.
- Honeywell. (s.f.). *RAE Systems*. Obtenido de RAE Systems: https://www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/Nota-de-aplicaci%C3%A2n-219_Uso-de-PID-para-tomar-decisiones-relativas-al-10%25-de-LEL_08-00.pdf
- Jorge, M. (13 de 6 de 17). *Gizmodo*. Obtenido de Gizmodo: <https://es.gizmodo.com/en-que-se-diferencia-exactamente-un-motor-de-gasolina-d-1796060905>
- KROHN. (2020). *Signal converter for electromagnetic flowmeters*. Alemania: Ludwig-Krohne.
- Lara, A. R. (Marzo de 2018). *msdmanuals*. Obtenido de msdmanuals: <https://www.msdmanuals.com/es-co/professional/trastornos->

pulmonares/enfermedades-pulmonares-medioambientales/lesi%C3%B3n-por-inhalaci%C3%B3n-de-gas-irritante

- Lombana Coy, j., Vega Jurado, J., Britton Acevedo, E., & Herrera Velasquez, S. (2015). *ANALISIS DEL SECTOR BIODIESEL EN COLOMBIA Y SU CADENA DE SUMINISTROS*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Ministerio de Transporte. (2002). *DECRETO NUMERO 1609 DE 2002*. Bogota.: Ministerio de Transporte.
- Ogata, k. (1998). *Ingenieria de control moderna*. Minesota: Pearson.
- OGATA, K. (2000). *TEORIA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE PROCESOS*. Minesota: Prendice Hall.
- PEÑA LONDOÑO, E. (209). *REFORMA Y AUTOMATIZACIÓN DEL CIP DE CARROTANQUES Y SILOS DE ALMACENAMIENTO EN LA COOPERATIVA COLANTA*. . Medellin: Universidad Nacional.
- San Juan, D. (04 de 04 de 2016). *Ogrados*. Obtenido de Ogrados: <https://0grados.com.mx/golpe-de-ariete-consecuencias-y-prevenciones/>
- Sánchez Rivera, M. (2015). *Control de prensado mediante variador de frecuencia controlado por PLC*. VALLADOLID-España: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- SCULLY. (2018). *Datasheet Scul-Sense Five-Wire Optic Sensor*. Wilmington: SCULLY.
- Siemens. (2006). *MICROMASTER 440* . Siemens.
- Siemens. (02 de 03 de 2020). *Siemens*. Obtenido de Siemens: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-basic-modules.html>
- Sistema Globalmente Armonizado (GHS). (2010). *Líquidos Inflamables (y Combustibles)*. New York: Sistema Globalmente Armonizado (GHS).
- SMITH, C. A., & CORRIPIO, A. B. (1991). *CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS*. MEXICO: LIMUSA.
- Terpel. (s.f.). *Manual de Cargue, Almacenamiento y descargue de Combustibles en las estaciones terpel*. Bogota: Terpel.

7 Anexos.

7.1 Hoja de datos del Sensor de Nivel.

ScuL-Sense™ Five-Wire Optic Sensor
 Liquid Level Sensor for Tank Truck Overfill Prevention
Featuring Dynacheck® – Automatic and Continuous Self-Checking Circuitry



5-Wire Sensor

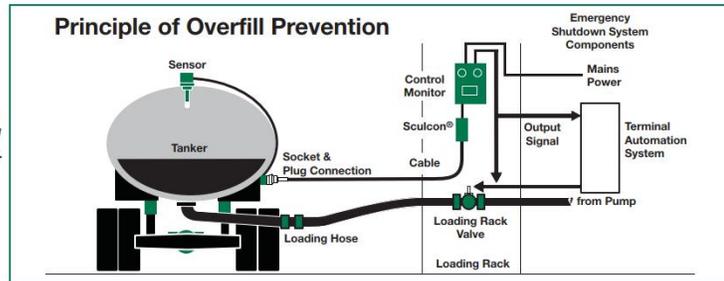
The ScuL-Sense™ design is API compliant and withstands temperature related stresses, dramatically improving reliability across a wide operating range.

DESCRIPTION

Scully five-wire optic sensors are purpose-built for liquid petroleum product overfill prevention and point level detection.

They are designed to be used with the Scully Intellitrol® and ST-35 series loading rack control monitors. The sensors can also be used with the Scully IntelliCheck® II Monitor or Scully Load Anywhere® Truck Monitor. There is no waiting for the control monitors' permit light to go on because the sensor requires no warm up time. Overfill prevention applications include road tankers, rail cars and storage tanks.

The five-wire optic sensor is a critical component in Scully's unique and patented Dynacheck circuit design. When used in conjunction with Scully electronic monitoring equipment, our overfill protection sensor will provide consistent failsafe monitoring. By constantly checking a "closed loop" pulsing signal across the entire system, Scully ensures a safe and reliable loading operation. If rising fuel contacts the sensor, this signal is interrupted and the controlling pumps and valves are shutdown. No operator involvement is needed to end the loading operation.



IEC 61508 SIL 3 Capable

$\lambda_{DU}=1.0 \text{ FIT}^*$ $\lambda_{SU}=116 \text{ FIT}^*$

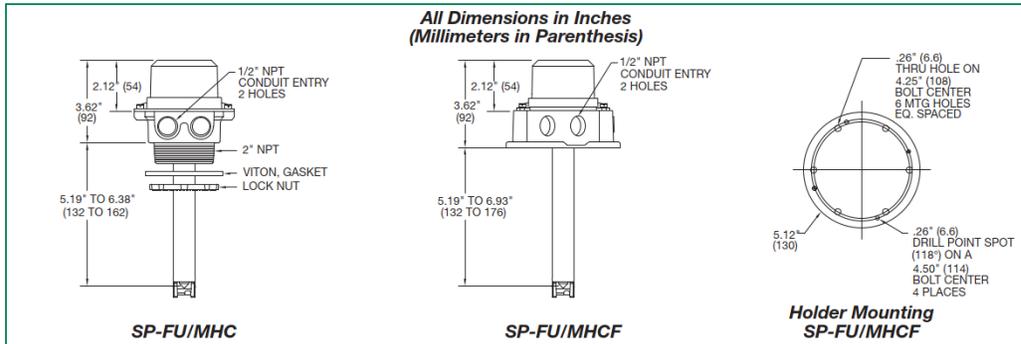
*FIT = Failure In Time (1x10⁹ failures per hour)

FEATURES AND BENEFITS

- Maximum safety with Dynacheck— Automatic and continuous self-checking circuitry when used with Scully electronic rack and vehicle onboard monitoring systems.
- Scully's field-proven electro-optics technology.
- Wide Temperature Range.
- Adjustable Sensing Level.
- Instant-On™—Instant permissive signal. No warmup time required.
- Quick purging of liquid—"fast" repermit as product level drops below the sensing point.
- Fully compatible with all Scully optic controllers.
- FM approvals for Class I, Division 1, Groups C and D hazardous locations in the US and Canada.
- Meets requirements of API Recommended Practice RP-1004.



60678 Rev E



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Operating Temp. Range: -40°F to +140°F
(-40°C to +60°C)

Petroleum Product Range: Gasoline blends & light fuel oils

Exposed Materials: Aluminum, zinc, borosilicate (Pyrex®) glass, epoxy, conductive nylon and Viton® seals

Level Repeatability: ±1/16" (±1 mm)

Electrical Leads: 18" (45cm) long, 22 AWG (0.33 mm²)

Cable Entry: Two holes, 1/2" NPT threads

Detection Level and Size: The detection level is adjustable, refer to sensor outline drawing above, shown for 7" shaft length

Approvals: The sensor is intrinsically safe for mounting in Class I, Division 1, Groups C & D Hazardous location in accordance with Scully Control Unit approval ratings.

SIL Capable



ORDERING INFORMATION

Model	Description	Shaft Length	Part Number
SP-FU/MHC(MC)	Five-Wire Optic Sensor, 2" NPT holder, 2 1/8" Medium Cap	7" (175mm)	09208L1
		12" (300mm)	09213L1
		15" (375mm)	09216L1
SP-FU/MHCF(MC)	Five-Wire Optic Sensor, flanged holder, 2 1/8" Medium Cap	7" (175mm)	09207L1
		12" (300mm)	09212L1
		15" (375mm)	09215L1

REPLACEMENT PARTS

Model	Description	Shaft Length	Part Number
SP-FU	Five-Wire Optic Sensor, (without holder)	7" (175mm) 12" (300mm) 15" (375mm)	09209L1 09214L1 09217L1
SP-MHC(MC)	2" NPT Threaded Holder Only		09065
SP-MHCF(MC)	Flanged Holder Only		08265

Copyright © 2014 Scully Signal Company. Dynacheck, Dynamic Self-Checking, Dynamic Self-Testing, Faylsafe, IntelliCheck, Intellitrol are registered trademarks of Scully Signal Company. All Rights Reserved. Specifications are subject to change without notice.

Viton® is a registered trademark of DuPont. Pyrex® is a registered trademark of Corning.

60678 Rev E
June 2016



Scully Signal Company
70 Industrial Way
Wilmington, MA 01887, USA
800 272 8559 • sales@scully.com

Scully Systems Europe NV
Maanstraat 25
2800 Mechelen, Belgium
+32 (0) 15 56 00 70 • info@scully.be

Scully UK Ltd
Meridian House, Unit 33
37 Road One Winsford Industrial Estate,
Winsford Cheshire CW7 3QG, UK
+44 (0) 1606 553805 • sales@scullyuk.com



Dynamic Self-Testing® Overfill Prevention Systems