

**INGENIERÍA DE DETALLE DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS Y CORTES DE PERFORACIÓN DE
ECOPETROL-ICP**

**JULIO CESAR SANTIAGO ÁLVAREZ
SAMUEL DAVID JEREZ PÉREZ**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2023**

**INGENIERÍA DE DETALLE DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS DE TRANSPORTE DE FLUIDOS Y CORTES DE PERFORACIÓN
DEL ICP**

**JULIO CESAR SANTIAGO ÁLVAREZ
SAMUEL DAVID JEREZ PÉREZ**

**TESIS DE PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR A TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

**DIRECTOR:
SEBASTIAN ROA PRADA, PhD**

**ASESOR:
GONZALO ANDRÉS MORENO OLANO
HERNÁN DARIO MANTILLA HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2023**

Nota de Aceptación



SEBASTIAN ROA PRADA, PhD
Director del Proyecto de Grado
Universidad Autónoma de
Bucaramanga



Ing. GONZALO ANDRÉS MORENO OLANO
Asesor del Proyecto de Grado
Universidad Autónoma de Bucaramanga



Ing. HERNÁN DARIO MANTILLA HERNÁNDEZ
Asesor del Proyecto de Grado
Instituto Colombiano del Petróleo



Evaluador del Proyecto de Grado



Evaluador del Proyecto de Grado

Bucaramanga – 17 de Febrero del 2023

Dedicamos este documento a
nuestras familias y seres
queridos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo dedicar mi total agradecimiento a la vida por permitirme cumplir uno de mis más grandes sueños. Agradecerle a mi familia por ser mi sustento durante todo mi proceso de formación y por brindarme siempre su cariño incondicional, de manera enfática quisiera agradecer a mi madre por jamás permitir que me rinda en ningún aspecto de mi vida y por impulsarme a ser mejor cada día, considero que todo lo que soy se lo debo a ella. Por último, quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible que lograra esta meta y en especial a esa persona que estuvo conmigo cuando nadie más creía en mí y que fue incondicional cuando más lo necesitaba, esto también es gracias a ti, te deseo lo mejor.

Julio Cesar Santiago Álvarez

Agradezco primeramente a Dios por permitirme alcanzar estos logros, reconociendo que es por su infinita gracia y que sin Él no podría haberlos obtenido. Agradezco a mis padres y hermanos por siempre haberme apoyado en cada momento bueno y malo siendo un motor en mi vida para seguir adelante y mejorar en todo lo que hago. A todos mis compañeros y amigos que he conocido a lo largo de mi carrera profesional, doy las gracias, ya que han sido una fuente de buena amistad y aprendizaje a lo largo de este recorrido. Gracias a todos los profesores que en cada semestre se empeñaron en transmitirnos su conocimiento, experiencia orientándonos en cada proyecto y trabajo realizado.

Samuel David Jerez Pérez

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 SISTEMA ANULAR	15
1.2 SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CORTES (SHAKER)	16
1.3 SISTEMA DE MEZCLA DE FLUIDOS	17
1.4 SISTEMA DE BOMBEO Y CIRCULACIÓN	18
1.5 SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES	18
1.6 PANEL DE CONTROL	19
2. OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GENERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. ESTADO DEL ARTE	22
3.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN	22
3.2 COMPORTAMIENTO DEL PROCESO SEGÚN DIVERSOS FACTORES	24
3.3 SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES	27
4. MARCO TEÓRICO	29
4.1 PERFORACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO	29
4.2 SISTEMAS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL	31
4.2.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO	32
4.2.2 CONTROL DE LAZO CERRADO	32
4.2.3 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA	33
4.3 SISTEMAS Y DISPOSITIVOS DE BOMBEO DE LODOS	33
4.3.1 BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	33
4.3.2 BOMBEO DE LODOS Y CORTES DE PERFORACIÓN	34
4.3.3 TIPOS DE FLUJO	35
5. METODOLOGÍA	38
6. DESARROLLO Y DISEÑOS	41
6.1 REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES	41
6.1.1 SELECCIÓN DE SOLUCIÓN PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES	41

6.1.2 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES Y SELECCIÓN DEL EDUCTOR	44
6.2 VALIDACIÓN DEL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES POR SIMULACIÓN CFD	46
6.3 DISEÑO DE PLANOS PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES.....	51
6.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN NECESARIA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO	52
6.4.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES A CONTROLAR	52
6.4.2 REFERENCIAS DE ACTUADORES, SENSORES Y DISPOSITIVOS DE CONTROL EN EL MERCADO.....	55
6.4.3 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN MEDIANTE MATRIZ QFD.....	55
6.4.4 DESARROLLO DE P&ID	60
6.4.5 GUÍA GEMMA.....	62
6.4.6 SELECCIÓN DE CONTROLADOR.....	64
6.5 DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL	67
6.5.1 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA ANULAR.....	68
6.5.2 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN Y BOMBEO.....	70
6.5.3 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE MEZCLA DE FLUIDOS	72
6.5.4 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CORTES:.....	73
6.5.5 PROGRAMACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL EN EL PLC	75
6.5.6 PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI)	79
6.6 SIMULACIÓN Y PRUEBAS	82
6.7 DISEÑO DE PLANOS PARA CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	89
6.8 PRESUPUESTO	94
CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipos del banco de pruebas.[1].....	20
Tabla 2. Matriz QFD para la Selección del Rediseño del Sistema de Incorporación de Cortes.....	42
Tabla 3. Parámetros y condiciones para la selección del educador para el sistema de incorporación.....	45
Tabla 4. Parámetros de Modelo Viscoso utilizados en la simulación del Sistema Educador en Ansys Fluent.....	49
Tabla 5. Parámetros de la inyección de cortes utilizados en la simulación del Sistema Educador en Ansys Fluent.....	49
Tabla 6. Propiedades del fluido utilizado en la simulación del Sistema Educador en Ansys Fluent.....	49
Tabla 7. Lista de Sistemas que componen el Banco de Pruebas de Transporte de Fluidos y Cortes de Perforación. [1].....	53
Tabla 8. Matriz QFD para selección de Sensores de Nivel Continuos.....	56
Tabla 9. Lista de Sensores Seleccionados.....	57
Tabla 10. Lista de Actuadores Seleccionados.....	59
Tabla 11. Conteo de Entradas y Salidas del Controlador.....	65
Tabla 12. Matriz QFD para selección del controlador lógico.....	67
Tabla 13. Lista de Planos de Ingeniería de Detalle.....	90
Tabla 14. Presupuesto Total del Proyecto.....	95

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Banco del ICP.....	15
Figura 2. Sistema Anular.....	16
Figura 3. Sistema de inclinación.	16
Figura 4. Sistema de separación de cortes.	17
Figura 5. Tanque de mezcla.	17
Figura 6. Componentes del sistema de mezcla	17
Figura 7. Sistema de bombeo y circulación (manifold).	18
Figura 8. Sistema de Incorporación	19
Figura 9. Tolva con tornillo sin fin.....	19
Figura 10. Tablero de Control.	20
Figura 11. Esquema del sistema diseñado por Sayindla, Lund, Ytrehus, Saasen para estudio del rendimiento en la limpieza de pozos con fluidos WBM y OBM.....	22
Figura 12. Sistema de flujo en físico de Sayindla, Lund, Ytrehus, Saasen del Departamento de Geociencia y Petróleo de la Norwegian University of Science and Technology.	23
Figura 13. Circuito de flujo horizontal para experimentos de erosión de lecho de recortes utilizado por Fabio Corredor, Majid Bizhani & Ergun Kuru de la University of Alberta, Canadá.....	24
Figura 14. Esquema del sistema diseñado por Kamyab, M., Rasouli, V., Cavanaugh, G.y Mandal, S. del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Curtin University	25
Figura 15. Esquema del montaje experimental diseñado por Amanna. B y Reza. M de la Murdoch University y Amirkabir University of Technology respectivamente.	26
Figura 16. Montaje experimental del simulador utilizado por Amanna. B y Reza. M para el estudio del efecto de diversas variables de flujo sobre el espacio anular.....	26
Figura 17. Principales componentes del equipo de reinyección de cortes utilizado en pozos de perforación petrolera.	28
Figura 18. Función y composición de los fluidos de perforación.....	29
Figura 19. Representación básica de un sistema de perforación.	30
Figura 20. Estructura interna del PLC.	31
Figura 21. Diagrama de bloques de un sistema de lazo abierto.....	32
Figura 22. Diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado.....	33
Figura 23. Bomba de desplazamiento positivo lobular optilobe 42.	34
Figura 24. Esquema del Sistema de Circulación de Lodos utilizado en pozos de perforación petrolera.....	35
Figura 25. Tipos de flujo en un sistema.....	36
Figura 26. Esquema de funcionamiento del actual banco de pruebas de transporte de cortes y fluidos de perforación del ICP.....	41

Figura 27. Esquema de funcionamiento del eductor incorporado al actual banco de pruebas de transporte de cortes y fluidos de perforación del ICP.	43
Figura 28. Logotipo Schutte & Koerting.....	44
Figura 29. Logotipo EST Venturi Systems.....	44
Figura 30: Flujo másico (g/s) simulado a partir de la velocidad de transporte de cortes..	44
Figura 31. Tiempo de transporte de cortes en función de la velocidad del extrusor.	45
Figura 32. Configuración de parámetros para el mallado del sólido en Ansys.....	47
Figura 33. Vista de Corte de Medida de Asimetría (Skewness) de la operación de mallado en Ansys.....	48
Figura 34. Vista Isométrica del modelo 3D mallado con sus entradas (color azul) y salidas (color rojo) en Ansys.....	48
Figura 35. Resultado de la magnitud de la velocidad del fluido particulado del modelo...	50
Figura 36. Resultado de la Presión Estática en las diferentes regiones del modelo.	50
Figura 37. Gráficos de Trayectoria de las partículas incorporadas y su correspondiente Velocidad en el modelo.....	50
Figura 38. Vista Isométrica del Banco de Pruebas con el Sistema Eductor Incorporado.	51
Figura 39. Planos para la Incorporación del Sistema Eductor en el Sistema de Circulación del Banco de Pruebas.	52
Figura 40. Representación 3D de los sistemas que componen el Banco De Pruebas De Transporte De Fluidos Y Cortes Perforación.[1].....	53
Figura 41. Modelo 3D del Sistema Anular.....	58
Figura 42. Resultados de Velocidad Angular en Simulación del Sistema Anular.....	58
Figura 43. Resultados de Torque en Simulación del Sistema Anular.	59
Figura 44. Diagrama P&ID para Banco de Pruebas de Transporte de Cortes y Fluidos de Perforación.....	61
Figura 45. Diseño de la Guía GEMMA para la propuesta de automatización.....	63
Figura 46. Sistema Anular (con instrumentación).....	68
Figura 47. Sistema de Circulación y Bombeo (con instrumentación).....	70
Figura 48. Elementos definidos en el diagrama del circuito de circulación.	71
Figura 49. Circuito de circulación del banco de pruebas con incorporación de cortes.	71
Figura 50. Sistema de Mezcla de Fluidos (con instrumentación).....	72
Figura 51. Sistema de Separación de Cortes (con instrumentación).	74
Figura 52. Vista de Red del Sistema de Control en el entorno de TIA PORTAL.....	75
Figura 53. Segmento de código Ladder del Bloque Función (FC1)	76
Figura 54. Segmento de código Ladder del Bloque Main (OB1).....	76
Figura 55. Segmento de código Ladder del Bloque ControlVariadores (OB124) (Arranque Bomba Lobular).	77
Figura 56. Segmento de código Ladder del Bloque ControlVariadores (OB124) (Parada Rápida Bomba Lobular).	78
Figura 57. Segmento de código Ladder del Bloque ElectroValvulas (OB123) (Activación del Circuito con Incorporación de Cortes).	78
Figura 58. Diagrama de Navegación de la HMI.....	80

Figura 59. Vista General del Proceso en la HMI en WinCC RT Advanced.	81
Figura 60. Vista de Inicio - HMI	82
Figura 61. Respuesta de la HMI ante un ingreso incorrecto de datos.	82
Figura 62. Vista general del proceso en la HMI (Banco habilitado para funcionamiento normal).	83
Figura 63. Vista del Sistema de Circulación y Bombeo en la HMI (Circuito con Incorporación de Cortes seleccionado).	84
Figura 64. Vista de Panel de Control de Bomba Lobular en la HMI.....	85
Figura 65. Tabla de variables simuladas en PLCSIM (Variables para envío de comandos a variadores resaltadas).	85
Figura 66. Vista General del Banco en Funcionamiento.....	86
Figura 67. Vista del Sistema de Mezcla de Fluidos.	87
Figura 68. Vista de Visualización de Datos.	87
Figura 69. Tabla de Variables y Vista General luego de presionar el botón Stop.	88
Figura 70. Plano de Conexiones de Sensor de Nivel Continuo para el Tanque de Mezcla.....	91
Figura 71. Plano de Conexiones para Sensor de Aceleración para Zaranda Vibratoria. .	92
Figura 72. Plano de Conexiones de Actuador Lineal para Zaranda Vibratoria.	93

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. PARAMETROS DE CONFIGURACIÓN DE SIMULACIÓN CFD EN ANSYS FLUENT DEL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES	103
ANEXO B. BLOQUES DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ..	106
ANEXO C. VISTAS DE LA INTEFAZ HMI	121
ANEXO D. PLANOS DE CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN.....	127
ANEXO E. DATASHEETS DE INSTRUMENTACIÓN.....	132

1. INTRODUCCIÓN

Durante los procesos de perforación de petróleo, la acumulación de cortes en el fondo del pozo puede causar varios problemas tales como: tubería atascada, aumento de torque, agotamiento de la barrena y, lo más importante, una disminución considerable en la tasa de perforación, todo esto conduce a periodos de operación prolongados y elevados costos de hasta un 10% del presupuesto para la extracción del hidrocarburo, cifra que llega a ser significativa considerando que el costo de las perforaciones de pozos puede ascender a millones de dólares. Por lo cual se hace necesario el estudio, en un ambiente controlado, del comportamiento de las variables que intervienen en los procesos de perforación para mejorar y fortalecer las operaciones involucradas.

El banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación del ICP (Instituto Colombiano Del Petróleo) está compuesto por diferentes sistemas, en los cuales se llevan a cabo ensayos que simulan el comportamiento del transporte de los fluidos y cortes de perforación en diferentes etapas del proceso de creación de un pozo para extracción de petróleo. Esto con el fin de estudiar las variables que permitan optimizar la calidad, reducir tiempos y disminuir pérdidas económicas y materiales durante las perforaciones. Este banco carece de la automatización que permita el seguimiento y control de las variables involucradas en el proceso. Debido a esto, el ICP ha considerado iniciar el desarrollo de un proyecto para automatizar el banco de pruebas de fluidos de perforación, con el fin de realizar ensayos con las cualidades previamente mencionadas permitiendo la realización de muchas pruebas de manera autónoma, con posibilidad de control y monitoreo remoto del funcionamiento del banco, además de mayor eficiencia y trazabilidad en la toma de datos descartando el error por factores humanos y disminuyendo la tasa de accidentes laborales.

Para desarrollar el proyecto de automatización del banco de pruebas de fluidos y cortes de perforación del ICP, la Universidad Autónoma de Bucaramanga toma parte en un acuerdo importante en el cual uno de sus ítems es la realización de este proyecto. En este trabajo se llevará a cabo una etapa temprana que involucra la ingeniería de detalle de la automatización y el rediseño del sistema existente de incorporación de cortes de roca al circuito hidráulico el cual presenta fallas de funcionamiento. No se ejecutarán etapas de implementación debido a desfases en los cronogramas dispuestos en el acuerdo por parte del ICP y la UNAB para el desarrollo y finalización de este proyecto.

Actualmente el banco está conformado por 5 sistemas que en conjunto permiten caracterizar las diferentes etapas en el proceso de perforación de un pozo petrolero:

1. Sistema anular.
2. Sistema de separación de cortes (Shaker).
3. Sistema de mezcla de fluidos.
4. Sistema de bombeo y circulación.
5. Sistema de incorporación de cortes.



Figura 1. Banco del ICP. [1]

1.1 SISTEMA ANULAR

El sistema anular está compuesto por dos tubos concéntricos, uno de acrílico traslúcido de 2" que simula la pared o cara del pozo, con el cual es posible analizar los diferentes fenómenos de flujo e interacción entre el fluido y los cortes. El segundo, es un tubo rígido en acero inoxidable de 1/2", el cual simula la sarta de perforación, este puede girar a diferentes velocidades (RPM) según las condiciones que se quieran evaluar. El conjunto está pernado a una estructura rígida que se encuentra anclada a piso y pared, lo cual le da estabilidad al sistema, además cuenta con un malacate con el que se puede posicionar el tubo a diferentes inclinaciones y un motor que le suministra rotación al tubo interno. [1]



Figura 2. Sistema Anular. [1]

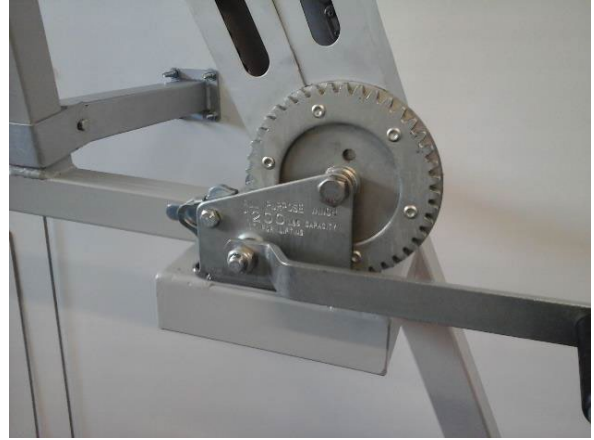


Figura 3. Sistema de inclinación. [1]

1.2 SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CORTES (SHAKER)

Este sistema es el encargado de hacer la separación de la mezcla sólidos-lodo, de tal manera que los cortes se redireccionan a lo largo de la shaker hacia la tolva de incorporación de cortes, mientras que el fluido pasa por el tanque de retorno que hace las veces de decantador, para luego regresar al tanque de mezcla.

La sección de separación se compone por una zaranda (shaker) que está integrada por una canasta que cuenta con una malla la cual retiene los sólidos de mayor tamaño y permite el paso del fluido hacia un tanque de retorno. La canasta está suspendida sobre unos resortes que le posibilitan el movimiento que es suministrado por un motor vibrador de tipo lineal que se encuentra dispuesto a una inclinación de 30° con respecto a la base de la shaker, con el fin de transmitir el movimiento a los cortes a lo largo de la malla, de tal manera que los transporte hacia la tolva de incorporación. La canasta cuenta con un mecanismo de tornillo que le permite variar la inclinación hasta en 8° , con lo cual se logra mayor transporte de los sólidos. [1]

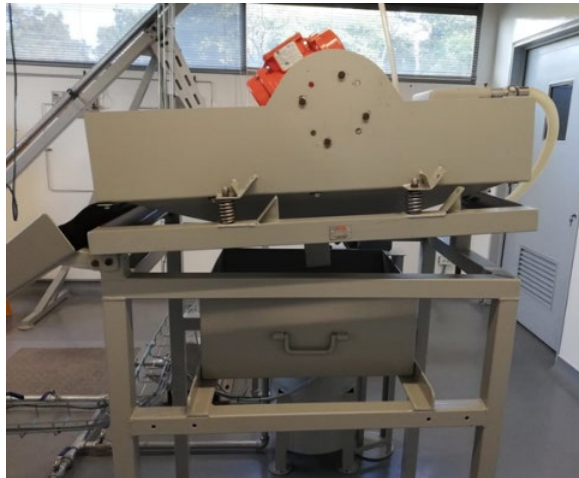


Figura 4. Sistema de separación de cortes. [1]

1.3 SISTEMA DE MEZCLA DE FLUIDOS

Este sistema está compuesto por un tanque cilíndrico con capacidad máxima para preparar 23 galones de fluido (este volumen es teórico, ya que corresponde al volumen total del tanque. Para efectos prácticos se debe tener en cuenta que la capacidad por pulgada del tanque es de 0,843 gal/pulgada y en centímetros corresponde a 0,332 gal/cm). El tanque cuenta en su parte superior con un motorreductor que mediante un eje provisto de dos conjuntos de aspas funciona como agitador para la mezcla de los productos químicos, el interior del cuerpo del tanque cuenta con platinas longitudinales que cumplen la función de deflectores para aumentar la turbulencia favoreciendo la mezcla, adicionalmente la tapa del tanque cuenta con un orificio para la instalación de un embudo con el cual se dosifica la cantidad de productos requeridos para preparar el fluido. [1]



Figura 5. Tanque de mezcla. [1]

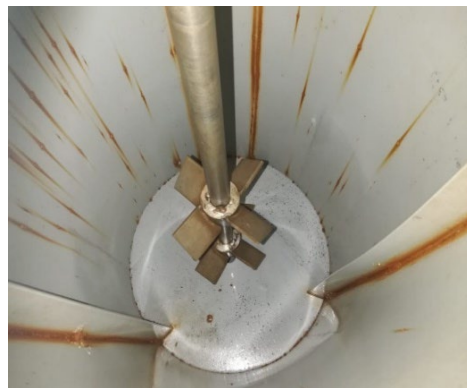


Figura 6. Componentes del sistema de mezcla [1]

1.4 SISTEMA DE BOMBEO Y CIRCULACIÓN

Estos sistemas son considerados el corazón del prototipo, ya que mediante ellos se genera y transmite el flujo a través de los otros sistemas, es posible identificar la bomba (recuadro negro) y el manifold (recuadro amarillo). Este sistema está compuesto por una bomba de desplazamiento positivo de tipo lobular en acero inoxidable y un manifold en tubería galvanizada de 1" con una serie de válvulas (manifold) que permiten redireccionar el flujo de tal manera que el sistema pueda ser aislado para circulación en circuito corto al tanque de preparación, se aisle el sistema de incorporación de cortes o se circule involucrando todo el prototipo. [1]

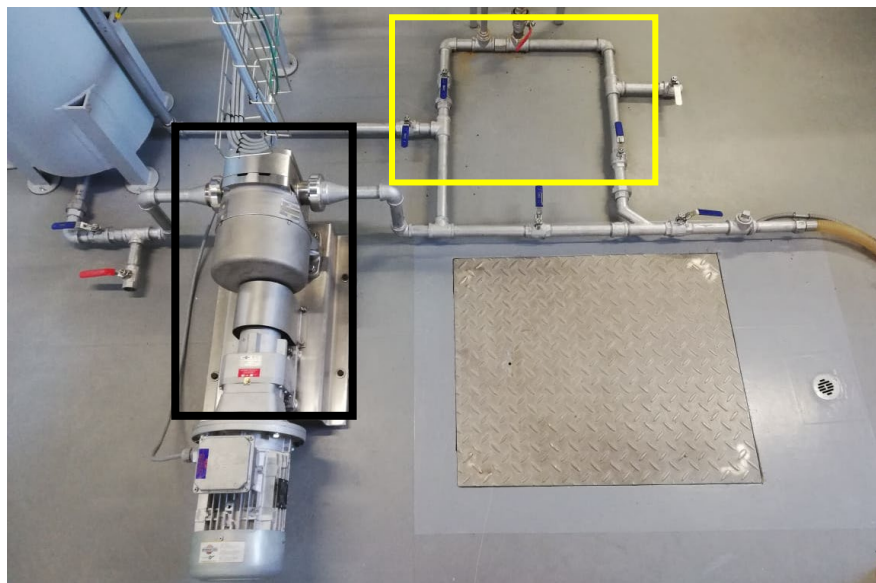


Figura 7. Sistema de bombeo y circulación (manifold).[1]

1.5 SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES

Con este sistema se busca simular el efecto causado por la broca al incorporar cortes hacia el sistema de circulación, sin embargo, la funcionalidad se limita al movimiento de válvulas para poder hacer la incorporación, ya que el diseño conceptual no contempló el contraflujo que podría generar la bomba hacia el interior de la cámara de la tolva, imposibilitando que los cortes puedan ingresar al circuito de forma continua, por lo cual se hace necesario obstaculizar el flujo hacia el sistema, mediante un arreglo de válvulas. El sistema está compuesto por una tolva en cuyo interior dispone de un tornillo sin fin que es el encargado de transportar los cortes hacia una cámara de incorporación, la cual, debió ser aislada por una válvula para evitar el contraflujo proveniente de la bomba. La tolva

puede ser alimentada de forma manual o “automática” por los cortes provenientes de la shaker, los cuales se incorporan gracias a la bandeja que comunica el sistema de separación con el de incorporación de cortes. [1]



Figura 8. Sistema de Incorporación de Cortes. [1]



Figura 9. Tolva con tornillo sin fin. [1]

1.6 PANEL DE CONTROL

Este instrumento es el centro de mando de todos los sistemas que conforman el prototipo de flujo de cavings. Está compuesto por una carcasa protectora que contiene los sistemas de accionamiento y variadores de velocidad de los diferentes motores. En su parte externa (tapa frontal), cuenta con los mandos correspondientes a encendido de los motores (botones verdes), apagado de los equipos (botones rojos), variadores de velocidad (perillas blancas con indicadores de velocidad) y un sistema de apagado de emergencia (botón rojo en la parte inferior) con el cual se suspenden todos los sistemas que se encuentren en funcionamiento. [1]



Figura 10. Tablero de Control.[1]

Referencia de los Equipos para el Sistema Caracterizador de Cavings y Flujo de Lodos									
Descripción	Referencia	Cantidad	Tensión	Potencia	RPM	Presión max.	Caudal	Protección IP	Marca
Motobomba de Desplazamiento Positivo de tipo Lobular para lodos en acero inoxidable	OPTILOBE 42	1	220 VAC	2,2 KW	1800	8 BAR	35 - 50 GPM	IP 55	ALFA LAVAL
Motorreductor del Sistema Agitador	SF37DRN80MK4	1	220 VAC	0,55 KW	440	NO APLICA	NO APLICA	IP 55	SEW
Motorreductor del Sistema Extrusor	RF27DRN71M4	1	220 VAC	0,37 KW	146	NO APLICA	NO APLICA	IP 55	SEW
Motovibradores del Shaker Lineal	MVE 400 196KGF	2	220 VAC	0,14 KW	1800	NO APLICA	NO APLICA	IP 55	WAMGROUP
Motor DC Sistema Anular	BLM5120HP-30S	1	220 VDC	0,12 KW	2,7 - 133	NO APLICA	NO APLICA	IP 66	ORIENTAL MOTOR
Variador de frecuencia para Motobomba de lodos, Sistema Agitador, Sistema Extrusor y Shaker Lineal	ATV320	4	220 VAC	0,37 - 2,2 KW	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	IP 20	SCHNEIDER
Driver AC/DC para Motor Sistema Anular	BMUD120-C2	1	220 VAC	0,12 KW	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	IP 20	ORIENTAL MOTOR

Tabla 1. Equipos del banco de pruebas.[1]

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la ingeniería de detalle de la automatización del banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación del ICP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Rediseñar el sistema de incorporación de cortes del banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación para el funcionamiento continuo del sistema teniendo en cuenta las especificaciones del cliente.
- Seleccionar la instrumentación necesaria para la automatización del banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación.
- Diseñar las estrategias para el control de flujo del banco, velocidad angular e inclinación del sistema anular, y la interfaz Hombre-Máquina (HMI) para monitorear el comportamiento de la presión del sistema anular y el nivel de los tanques del banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación.
- Realizar pruebas simuladas de los sistemas desarrollados que evidencien el funcionamiento de las estrategias de control implementadas.

3. ESTADO DEL ARTE

En el presente apartado se hace una revisión exhaustiva de investigaciones que hablan sobre los diversos factores que influyen en los procesos de limpieza de pozos y transporte de cortes de perforación, validadas según pruebas simuladas y experimentales.

A continuación, se presentan dos diferentes enfoques en cuanto a los factores que afectan este proceso: en primer lugar, se revisará los efectos causados en las variables del proceso por el uso de distintos tipos de fluidos de perforación que han sido empleados en pruebas experimentales hasta el momento. Posteriormente, se tratarán estudios relacionados con otros factores como: la velocidad del sistema anular, tamaño de los cortes, inclinación del pozo, entre otros.

3.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

En relación con los efectos de los diferentes fluidos reductores de arrastre en los procesos de perforación, Sayindla, Lund, Ytrehus, Saasen; 2017 [2], realizan una aproximación a este tópico, comparando el rendimiento del proceso al usar fluidos basados en aceite y basados en agua. A partir de pruebas experimentales, los investigadores concluyen que, en ausencia de rotación de la sarta de perforación, la limpieza del pozo fue significativamente mejor con el fluido basado en aceite que con el fluido basado en agua, pero a una alta tasa de rotación de la sarta el rendimiento de la limpieza con fluido basado en agua (WBM) se acerca al del fluido basado en aceite (OBM).

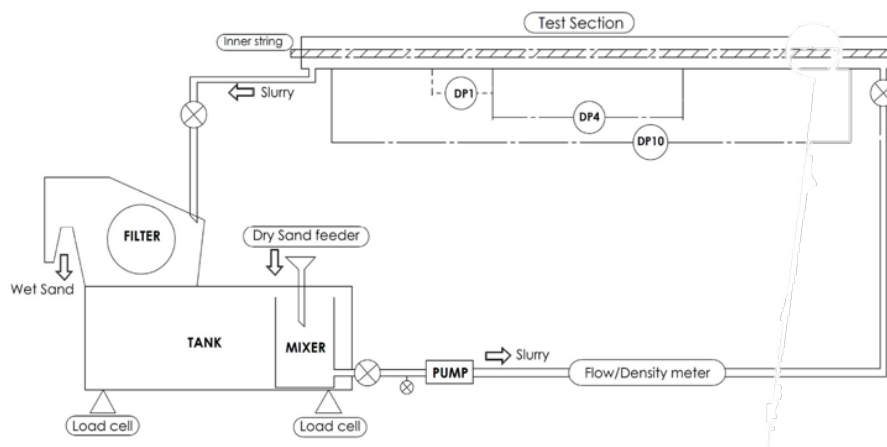


Figura 11. Esquema del sistema diseñado por Sayindla, Lund, Ytrehus, Saasen para estudio del rendimiento en la limpieza de pozos con fluidos WBM y OBM. [2]



Figura 12. Sistema de flujo en físico de Sayindla, Lund, Ytrehus, Saasen del Departamento de Geociencia y Petróleo de la Norwegian University of Science and Technology. [2]

De igual manera las investigaciones publicadas por Fabio Corredor, Majid Bizhani & Ergun Kuru [3] en el año 2016 detallan los estudios realizados para analizar los mecanismos de eliminación de partículas sólidas de los depósitos del lecho (es decir, la erosión del lecho) en pozos horizontales utilizando agua y un fluido reductor de arrastre. Los experimentos de erosión del lecho de recortes se llevaron a cabo utilizando un circuito de flujo horizontal de 9 m de largo con geometría anular concéntrica. Se utilizaron agua y dos fluidos reductores de arrastre con concentraciones de PHPA de 0,07% V / V y 0,1% V / V. Se determinaron y compararon las velocidades críticas para el inicio del movimiento de los cortes de perforación con los modos de balanceo, saltación / dunas y suspensión cuando se utilizó agua y fluidos reductores de arrastre como fluido portador. Se encontró que las velocidades críticas para el inicio del movimiento de los recortes eran más bajas con agua que con el fluido reductor de arrastre en todos los modos de transporte.

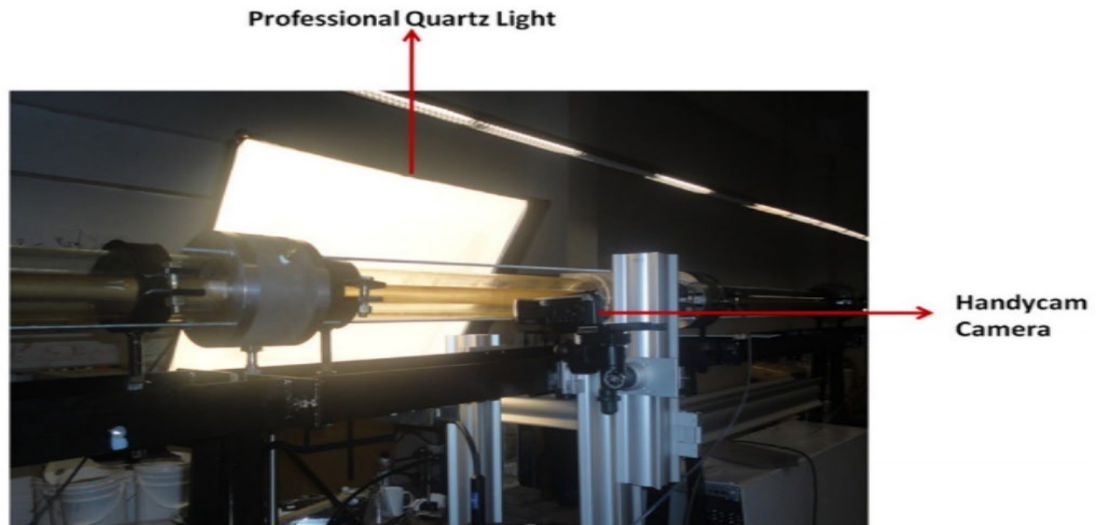


Figura 13. Circuito de flujo horizontal para experimentos de erosión de lecho de recortes utilizado por Fabio Corredor, Majid Bizhani & Ergun Kuru de la University of Alberta, Canadá. [3]

3.2 COMPORTAMIENTO DEL PROCESO SEGÚN DIVERSOS FACTORES

En correlación al estudio del transporte de los fluidos de perforación para la limpieza de los cortes en el pozo, Kamyab, M., Rasouli, V., Cavanough, G., & Mandal, S. [4] publicaron en 2013 una investigación sobre el diseño y construcción de un banco para estudiar las variables que afectan dicho proceso. En el cual podemos encontrar el diseño, instrumentación y construcción del banco con la capacidad de visualizar y controlar variables como propiedades reológicas del fluido, propiedades de los cortes como densidad, tamaño y concentración y variables que afectan los experimentos como el caudal, la presión en puntos estratégicos ubicados en el circuito mediante transductores y la inclinación de los tubos concéntricos que conforman el sistema anular que simulan el pozo. El estudio realizado en esta investigación al proceso del transporte de los fluidos de perforación mediante la construcción de dicho banco es similar al que se plantea realizar en este proyecto, difiriendo es aspectos como el tamaño de la sección anular que es objeto de estudio y en la cantidad de subsistemas que componen el banco de pruebas lo que sugiere un análisis más complejo debido a que el banco del ICP cuenta con una cantidad mayor.

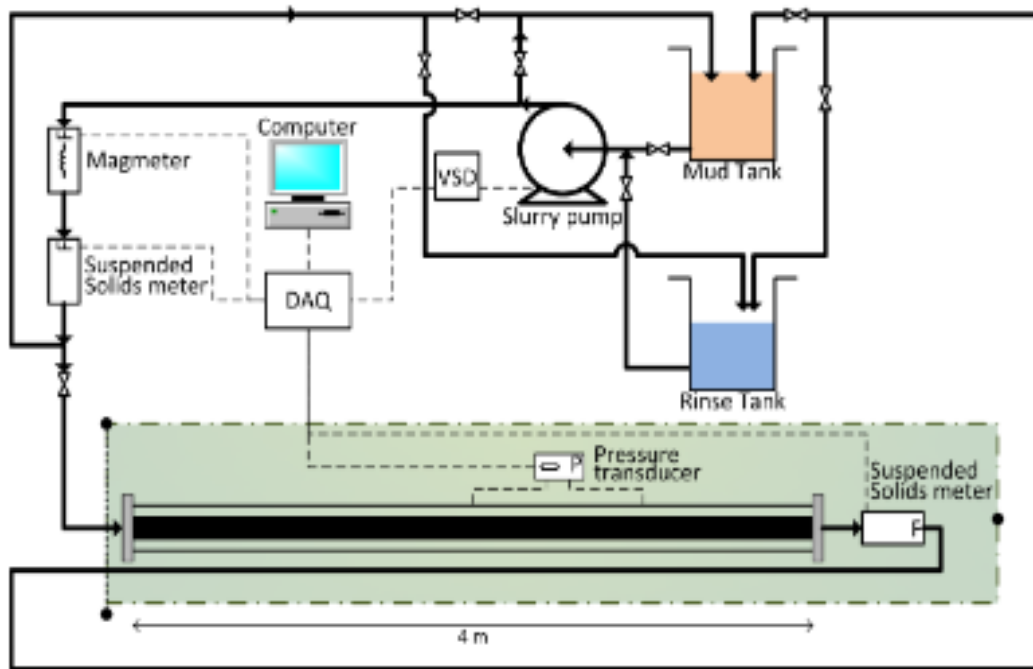


Figura 14. Esquema del sistema diseñado por Kamyab, M., Rasouli, V., Cavanough, G.y Mandal, S. del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Curtin University [4]

En esta investigación se discutieron las diferencias entre las características del flujo en los pozos de exploración de petróleo y minerales. Se determinó que las concentraciones de cortes de tamaños pequeños en espacio anulares pequeños cambiarán la reología del fluido al perforar rocas duras. La información relevante para la consecución del proyecto consta de la descripción y disposición de sensores, actuadores y componentes para el control de las principales variables involucradas en el proceso de transporte de fluidos y cortes de perforación.

Adicionalmente, en el año 2016 Amanna. B y Reza. M [5] publican un estudio, en el cual se utilizó un enfoque tridimensional acompañado de un modelo implementado físicamente para investigar el efecto del caudal de fluido, la inclinación del pozo, la rotación de la tubería de perforación y el tamaño de corte en el espacio anular. Al utilizar el modelo para obtener los resultados requeridos, se determina que las inclinaciones críticas del pozo son entre los 45 y 60°, la eliminación del corte es más conveniente para partículas de corte más grandes y que el transporte de corte aumenta a medida que aumenta el caudal de lodo y la velocidad de rotación de la tubería de perforación.

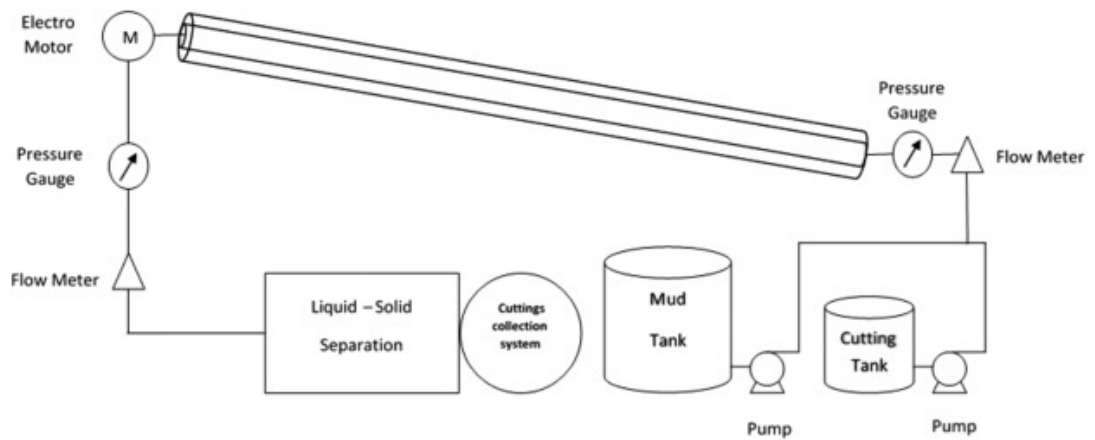


Figura 15. Esquema del montaje experimental diseñado por Amanna. B y Reza. M de la Murdoch University y Amirkabir University of Technology respectivamente. [5]



Figura 16. Montaje experimental del simulador utilizado por Amanna. B y Reza. M para el estudio del efecto de diversas variables de flujo sobre el espacio anular. [5]

3.3 SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES

Entre los diferentes métodos que existen para el procesamiento de cortes de perforación está la reinyección de cortes, el cual ha sido incluido en numerosos estudios e investigaciones como parte del simulador de perforación.

“En los últimos años, las reinyecciones se desarrollan sin presentar contratiempos serios. Sin embargo, hay ocasiones en las que las operaciones de CRI (Cuttings Reinjection) se ven comprometidas por numerosos factores, tales como fallas mecánicas en la superficie o la capacidad deficiente del sistema de eliminación o separación, lo que produce demoras costosas en el proyecto de perforación, y dependiendo de las circunstancias, derivan en pasivos ambientales”. [6]

En el artículo publicado por Sayindla, Lund, Ytrehus, Saasen [2] en el año 2017 visto anteriormente, se describe un sistema de inyección de arena para una instalación experimental diseñada, el cual está calibrado para que suministre un valor predeterminado de tasa de arena a la prueba, que además cuenta con sensores para medir la variación de peso debido a la correspondiente variación en la cantidad de arena en la sección de prueba. Por lo tanto, los cortes retenidos en el sistema podrían calcularse en función del tiempo.

A continuación, se muestra el diagrama de componentes con los que debe contar el equipo para realizar con éxito las operaciones de CRI en trabajos de campo:

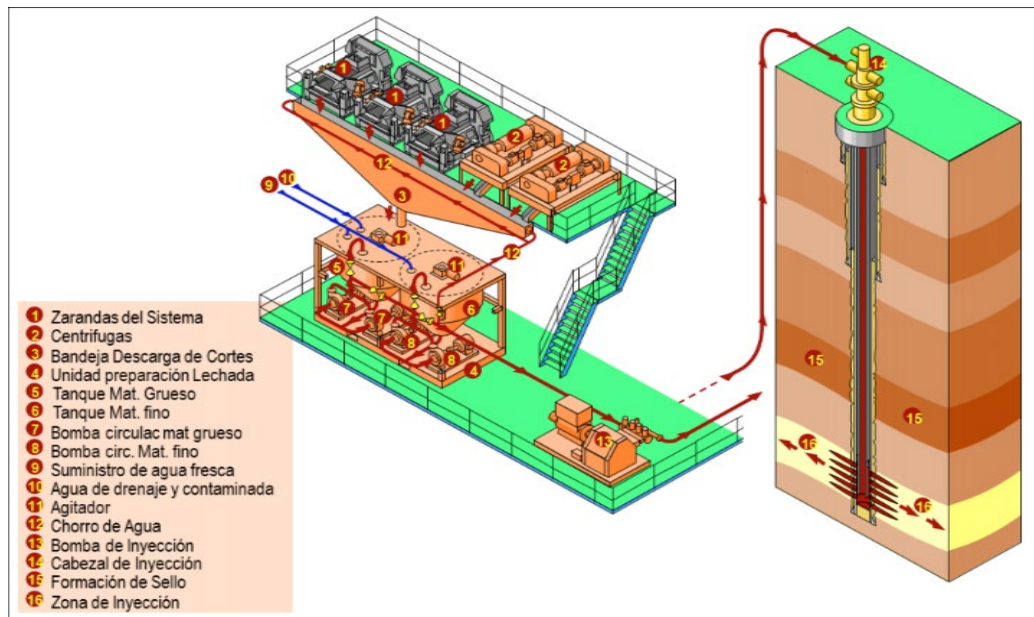


Figura 17. Principales componentes del equipo de reinyección de cortes utilizado en pozos de perforación petrolera. [7]

4. MARCO TEÓRICO

4.1 PERFORACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO

El proceso de perforación consiste en hacer un hueco con una sarta de perforación, a medida que se va avanzando se tiene que ir bombeando un fluido de perforación a través de la tubería que se va colocando. Este fluido está compuesto generalmente por arcilla, agua y productos químicos.

Fluidos de perforación: Puede ser cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas apropiadas, como, por ejemplo: aire o gas, agua, petróleo o combinaciones de agua y aceite con determinado porcentaje de sólidos. [8]

Funciones:

1. Retirar los recortes del pozo.
2. Controlar las presiones de la formación.
3. Suspender y descargar los recortes.
4. Obturar las formaciones permeables.
5. Mantener la estabilidad del agujero.
6. Minimizar los daños al yacimiento.
7. Enfriar, lubricar y apoyar la barrena y el conjunto de perforación.
8. Transmitir la energía hidráulica a las herramientas y a la barrena.
9. Asegurar una evaluación adecuada de la formación.
10. Controlar la corrosión.
11. Facilitar la cementación y la completación.
12. Minimizar el impacto al ambiente. [9]



Figura 18. Función y composición de los fluidos de perforación. [10]

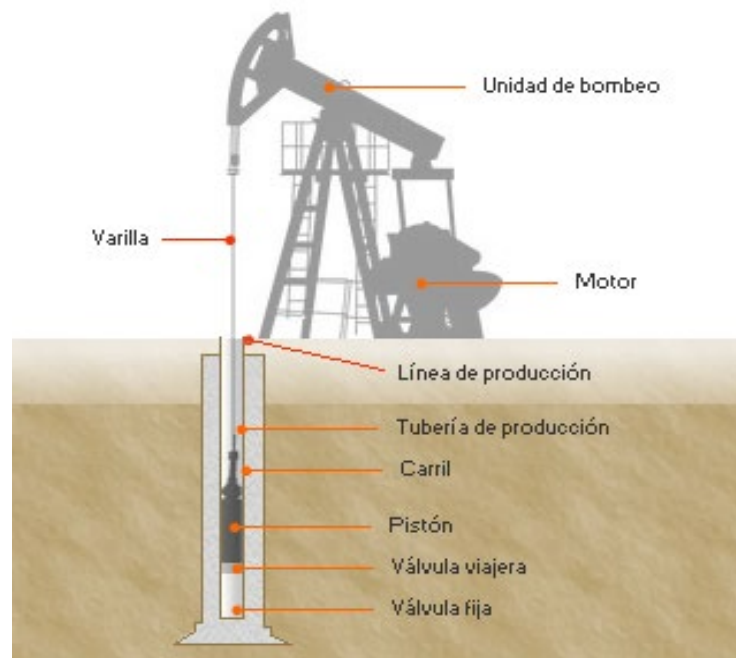


Figura 19. Representación básica de un sistema de perforación. [11]

Los procesos de perforación de pozos petroleros son posibles gracias a la utilización de diferente maquinaria y equipos encargados de realizar una función en específico en cada una de las fases del proceso, entre ellos se resaltan los siguientes:

- **Torre de perforación:** Es una estructura metálica en la que se concentra prácticamente todo el trabajo de perforación. [12]
- **Sarta de perforación:** Enlace mecánico que conecta la barrena de perforación que está en el fondo con el sistema de impulsión rotario que está en la superficie.[13] Cumple con algunas funciones como, por ejemplo: Transmitir rotación a la barrena, colocar peso sobre la barrena para perforar y permitir la circulación de fluidos para limpiar el pozo. [14]
- **Broca:** Es la que perfora el subsuelo y permite la apertura del pozo.[12]
- **Malacate:** Es la unidad que enrolla y desenrolla un cable de acero con el cual se baja y se levanta la sarta de perforación y soporta su peso. [12]
- **Sistema de lodos:** Es el que prepara, almacena, bombea, inyecta y circula permanentemente por dentro de la sarta un lodo de perforación que cumple

varios objetivos: lubrica y mantiene fría la broca, sostiene las paredes del pozo y saca a la superficie el material rocoso que se va perforando. [12]

- **Sistema de cementación:** Es el que prepara e inyecta un cemento especial que pega los tubos de acero del revestimiento del pozo a sus paredes. [12]
- **Casing:** Tubería de revestimiento del pozo, esto evita que las paredes se derrumben, también prevé la contaminación de rocas en formación y ayuda a separar diferentes zonas de presión a medida que se va cavando el hoyo. Actúa como las paredes del pozo separando el hoyo del ambiente natural alrededor de él.

4.2 SISTEMAS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL.

Cuando hablamos de automatización industrial nos referimos a la aplicación de diversas tecnologías que se han aplicado al control y seguimiento de procesos, equipos, máquinas o equipos que muchas veces realizan tareas repetitivas, haciéndolos funcionar de forma automática y minimizando el esfuerzo humano.

El PLC (controlador lógico programable) o autómeta programable, es un dispositivo electrónico capaz de estructurar y procesar la información que recibe de los elementos conectados a las entradas o en forma de programa, para entregar una nueva información en las salidas, que permite el funcionamiento automático de una secuencia o de un proceso, así como su optimización. [15]

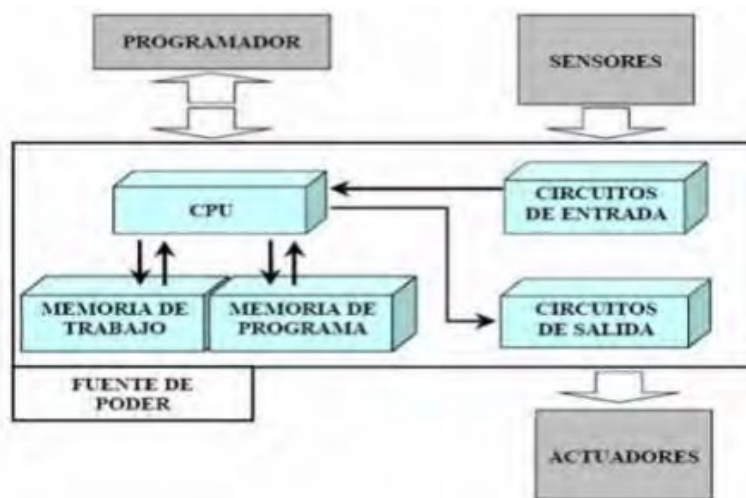


Figura 20. Estructura interna del PLC. [16]

La estructura básica del PLC está constituida por:

- Fuente de alimentación: la función de la fuente de alimentación en un controlador es suministrar la energía a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC.
- Unidad de procesamiento central (CPU): es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, que en otros términos podría considerarse el cerebro del controlador.
- Módulos de entrada digitales o analógicos, a los que se conectan pulsadores, finales de carreras, fotocélulas, detectores, transmisores, entre otros.
- Módulos de salida digitales o analógicos a los que se conectan bobinas, contactores, electroválvulas, lámparas, elementos finales de control como válvulas, entre otros. [17]

4.2.1 CONTROL DE LAZO ABIERTO

Son sistemas de control en los que la salida o resultado del proceso no tiene ningún efecto sobre la acción de control, es decir, en un sistema de control de lazo abierto la salida no se mide (no se retroalimenta) para comparar con lo que deseamos obtener y así verificar que tanto nos estamos desviando de ello.

La precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y en la ausencia de perturbaciones externas o internas. [18]

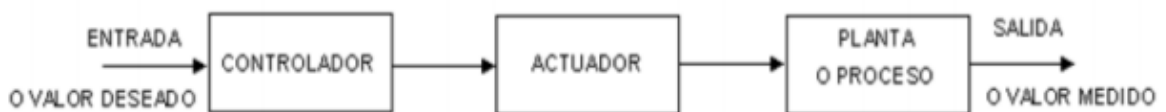


Figura 21. Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto. [18]

4.2.2 CONTROL DE LAZO CERRADO

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y lleva la salida del sistema a un valor deseado. El termino control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. [18]

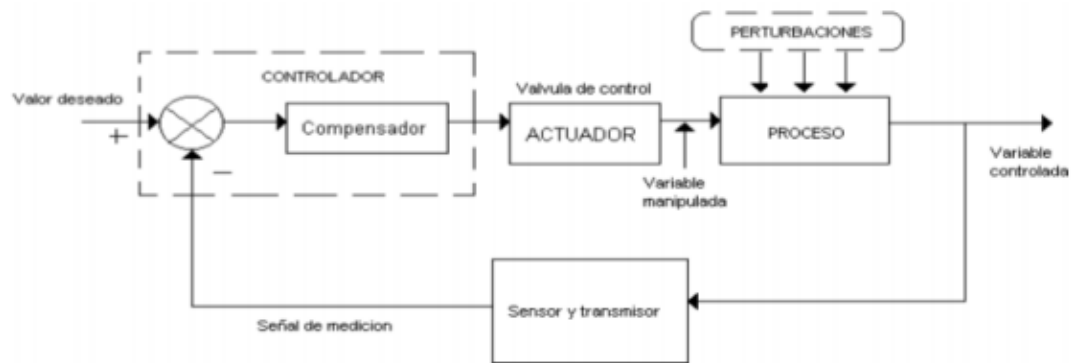


Figura 22. Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado. [18]

4.2.3 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA

Conocida como HMI por sus siglas en inglés Human-Machine Interface. Se refieren a un panel que permite a un usuario comunicarse con una máquina, software o sistema. Técnicamente, se puede referir a cualquier pantalla que se use para interactuar con un equipo, pero se utiliza normalmente para las de entornos industriales. Las HMI muestran datos en tiempo real y permiten al usuario controlar las máquinas con una interfaz gráfica de usuario. [19]

4.3 SISTEMAS Y DISPOSITIVOS DE BOMBEO DE LODOS

4.3.1 BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Una bomba de desplazamiento positivo es aquella que desplaza (entrega) la misma cantidad de fluido por cada ciclo de rotación del elemento de bombeo. La entrega constante durante cada ciclo es posible gracias a las tolerancias que existen entre el elemento de bombeo y su contenedor (estator, bloque de pistones, carcasa, etc.). La cantidad de líquido (fuga interna) que pasa a través del elemento de bombeo en una bomba de desplazamiento positivo es mínima y despreciable en comparación con el caudal máximo teórico de la bomba y el volumen por ciclo permanece relativamente constante a pesar de los cambios de presión en el sistema.

El trabajo realizado Ws es el resultado del producto de la fuerza de desplazamiento F y la distancia de desplazamiento s . Esta ecuación también puede expresarse como el producto de la cilindrada Vs y la presión de elevación p .

$$Ws = F \cdot s = A \cdot p \cdot s = Vs \cdot p$$

La potencia transmitida al fluido se calcula a partir del caudal volumétrico Q y la presión de elevación p . [20]

$$P = Q \cdot p$$

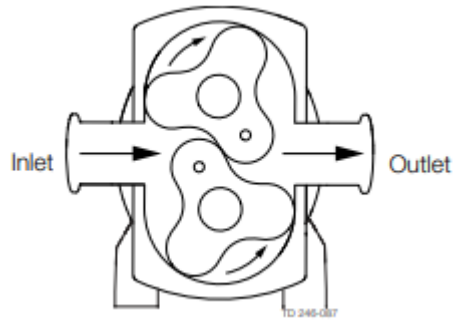


Figura 23. Bomba de desplazamiento positivo lobular optilobe 42.[21]

4.3.2 BOMBEO DE LODOS Y CORTES DE PERFORACIÓN

Estas bombas y los motores que las accionan representan el “corazón” del sistema de lodo, de la misma manera que el lodo en circulación constituye el alma de la operación de perforación. Las bombas de lodo son bombas de desplazamiento positivo, algunas de las cuales producen hasta 5.000 psi (libras por pulgada cuadrada). Estas bombas son accionadas por motores diésel o eléctricos.[9]

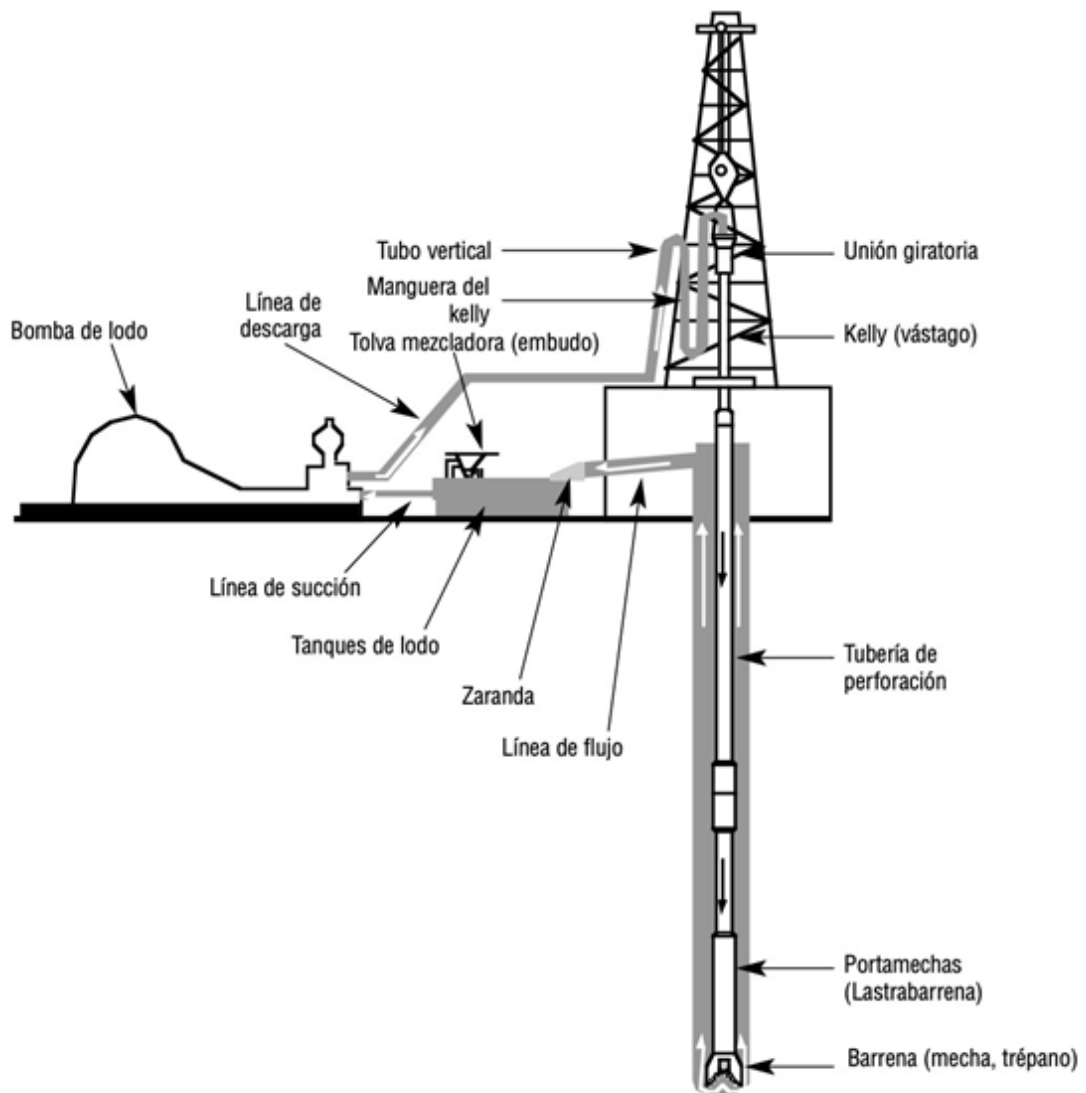


Figura 24. Esquema del Sistema de Circulación de Lodos utilizado en pozos de perforación petrolera.[9]

4.3.3 TIPOS DE FLUJO

En este tipo de procesos se pueden experimentar tres tipos de flujos los cuales son: flujo laminar, transicional o turbulento. Cada uno de estos tipos de flujo tienen un efecto importante en el desempeño del proceso debido a sus características como se explicará a continuación: [22]

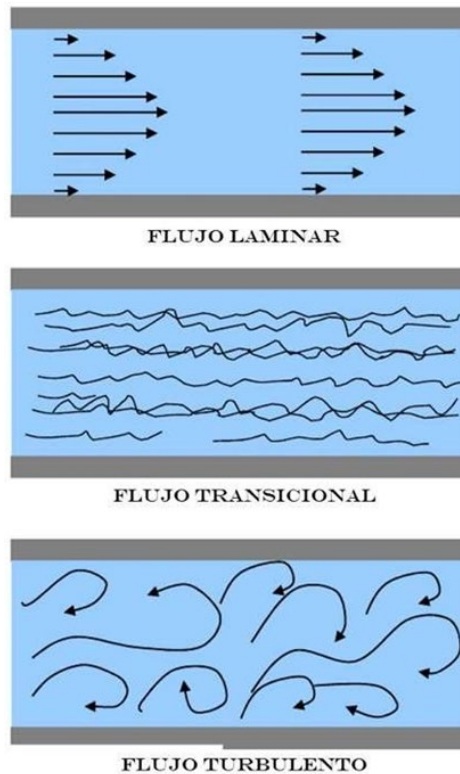


Figura 25. Tipos de flujo en un sistema. [24]

Generalmente, el flujo laminar es el perfil de flujo anular preferido porque da como resultado una menor pérdida de presión y reduce la erosión del pozo. El flujo turbulento generalmente se presenta en el espacio anular, mientras que en la tubería de perforación es laminar.

Hay que tener en cuenta que, en turbulencia, las propiedades viscosas de un lodo ya no tienen efecto sobre la eficiencia de remoción de los recortes.

Para conocer en que régimen se encontrará un fluido en determinadas circunstancias se recurre al Número de Reynolds el cual nos permite saber el tipo de flujo dependiendo de la magnitud de este parámetro. A su vez su valor depende de la densidad del fluido ρ , su velocidad V , el diámetro de la tubería D y la viscosidad del fluido μ . [22]

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

$Re \leq 2300$	Flujo Laminar
$2300 < Re \leq 4000$	Flujo Transicional
$Re \geq 4000$	Flujo Turbulento

Velocidad anular: Es un parámetro que determina la velocidad del fluido con que se mueve dentro del espacio anular. Esta velocidad debe ser mayor que la velocidad de caída de los cortes para que estos puedan ser removidos, teniendo una óptima limpieza del pozo y evitar atascamiento o pega de tubería. La velocidad anular depende de algunos factores cuya influencia se puede ver reflejados en la siguiente ecuación: [25]

$$Va = 24,51 * Q / (Dh^2 - Dt^2)$$

Donde:

Q = tasa de penetración

Dh = Diámetro del pozo

Dt = Diámetro de la tubería

Velocidad crítica: Es el valor de velocidad en el cual el fluido cambia de flujo turbulento a laminar o viceversa. Este valor se puede calcular a partir de la siguiente ecuación: [25]

$$V_c = \left[\frac{Re_L K_a \left(\frac{2n_a + 1}{3n_a} \right)^{n_a}}{928 \rho (D_2 - D_1) \left[\left(\frac{144}{D_2 - D_1} \right)^{1 - n_a} \right]} \right]^{\frac{1}{2 - n_a}}$$

Donde:

Re = Nro de Reynolds

L = Longitud de la tubería

K = Índice de consistencia

n = Índice de comportamiento del flujo

D2 = Diámetro externo

D1 = Diámetro Interno

5. METODOLOGÍA

Se optó por implementar una metodología de etapas secuenciales para el diseño en ingeniería y desarrollo de software debido que comprende las etapas necesarias para garantizar el funcionamiento del sistema desarrollado.

5.1. Definición e investigación del banco de pruebas del ICP:

5.1.1. Identificación de componentes, especificaciones técnicas y funcionamiento del sistema de incorporación de cortes.

5.1.2. Identificación de las necesidades del cliente con respecto a el rediseño del sistema de incorporación de cortes.

5.1.3. Reconocimiento de fallas en el funcionamiento del sistema de incorporación de cortes con respecto al comportamiento deseado por el cliente.

5.1.4. Definición de posibles soluciones a cada falla que presenta el sistema de incorporación de cortes.

5.1.5. Identificación de componentes necesarios para la implementación de las posibles soluciones a las fallas del funcionamiento del sistema de incorporación de cortes.

5.1.6. Identificación de las condiciones de operación automática del banco de pruebas del ICP.

5.1.7. Investigar acerca de los sensores, actuadores y dispositivos electrónicos de control utilizados en la industria oil and gas para el flujo de cavings.

5.1.8. Identificación de las necesidades de automatismo por parte de los usuarios del banco de pruebas en el ICP.

5.1.9. Identificación de los sistemas que componen el banco de pruebas, los rangos de operación y las variables involucradas en cada uno de los procesos.

5.1.10. Realizar el estudio de los procesos que ocurren durante el flujo de cavings en los sistemas que componen el banco de pruebas.

5.2. Desarrollo y validación del rediseño del sistema de incorporación de cortes:

5.2.1. Selección de la solución a las fallas que presenta el sistema de incorporación de cortes basado en los criterios de selección definidos.

5.2.2. Selección de referencias de los componentes necesarios para implementar la solución a cada falla del sistema de incorporación de cortes.

5.2.3. Desarrollo del rediseño del sistema incorporación de cortes del banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación basado en la solución de

fallas seleccionada y en la selección de referencias de los componentes necesarios para implementar la solución.

5.2.4. Selección de un ambiente virtual que permita simular el funcionamiento del banco de pruebas de transporte de fluidos y cortes de perforación y la interacción del sistema de incorporación de cortes con los demás sistemas del banco.

5.2.5. Validación del rediseño del sistema incorporación de cortes mediante una simulación implementada en el ambiente virtual seleccionado que determine si el sistema funciona de forma cíclica.

5.2.6. Desarrollo de los planos estructurales del rediseño del sistema incorporación de cortes que incluya la ubicación y las especificaciones físicas de los componentes que integran el nuevo diseño del sistema.

5.2.7. Redacción de un documento que describa el funcionamiento, componentes, características y especificaciones técnicas del nuevo diseño del sistema de incorporación de cortes.

5.3. Selección de la instrumentación:

5.3.1. Selección de actuadores, sensores y dispositivos de control según la mejor respuesta de la planta con la consideración de los topes de saturación de cada componente y los tres niveles de automatismo solicitados por el cliente (bajo, medio y alto costo).

5.3.2. Selección mediante un diagrama QFD los sensores, actuadores y dispositivos electrónicos necesarios para la automatización de los sistemas del banco de pruebas.

5.4. Diseño y simulación de las estrategias de control:

5.4.1. Diseño de diferentes estrategias para el control de la velocidad angular e inclinación el sistema anular.

5.4.2. Diseño de diferentes estrategias para el control de flujo del banco de pruebas.

5.4.3. Simulación de los procesos de los sistemas enfocada en la sección anular.

5.4.4. Selección de los mejores controladores para el control de flujo del banco y de la velocidad angular e inclinación el sistema anular según sus resultados simulados.

5.4.5. Programación de las estrategias de control diseñadas teniendo en cuenta los modos de operación.

5.4.6. Simulación de las estrategias de control teniendo en cuenta los topes de saturación de la instrumentación seleccionada.

5.5. Elaboración de los documentos de la instrumentación seleccionada:

5.5.1. Diseño de los planos eléctricos de los componentes seleccionados para la automatización del banco.

5.5.2. Diseño de los planos de conexiones de los componentes seleccionados para la automatización del banco.

5.5.3. Diseño de los planos de posicionamiento y distribución en el banco de los componentes seleccionados para la implementación de la automatización.

5.6. Diseño y validación de la interfaz hombre – máquina (HMI):

5.6.1. Investigación sobre los HMI utilizados en la industria con énfasis en aquellos que implementan nuevas tecnologías para su ejecución.

5.6.2. Selección del software para el desarrollo del diseño y programación de la Interfaz Hombre-Máquina que más se adapte a las necesidades del cliente.

5.6.3. Diseño de la interfaz Hombre-Máquina en el software seleccionado teniendo en cuenta los tres posibles niveles de automatismo especificados por el cliente.

5.6.4. Programación del HMI para el control y seguimiento de la presión del sistema anular y el nivel de los tanques del banco de pruebas.

5.6.5. Validación de la interfaz Hombre-Máquina diseñada mediante una simulación que determine el control y seguimiento del flujo del banco y de la velocidad angular e inclinación el sistema anular.

5.6.6. Redacción de un documento que describa las funciones y modo de operación de la interfaz Hombre- Máquina diseñada.

5.7. Desarrollo de pruebas y validación de la automatización del banco de pruebas del ICP:

5.7.1. Diseño de un protocolo de pruebas, con el fin de verificar mediante simulaciones el correcto funcionamiento de las estrategias de control desarrolladas para los sistemas.

5.7.2. Validación de la integración de los sistemas, de las definiciones técnicas de los sistemas y de la solución desarrollada.

5.7.3. Redacción de la documentación correspondiente a los modos de operación del banco y su funcionamiento

5.7.4. Elaboración de un documento que contenga el desarrollo de todas las etapas del proyecto y las conclusiones de este.

6. DESARROLLO Y DISEÑOS

6.1 REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES

6.1.1 SELECCIÓN DE SOLUCIÓN PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES

En base a la descripción de este sistema dada en la introducción, se hace necesario el rediseño de este para garantizar el flujo continuo en el sistema con la incorporación de las partículas y evitar el contraflujo que se presenta actualmente.

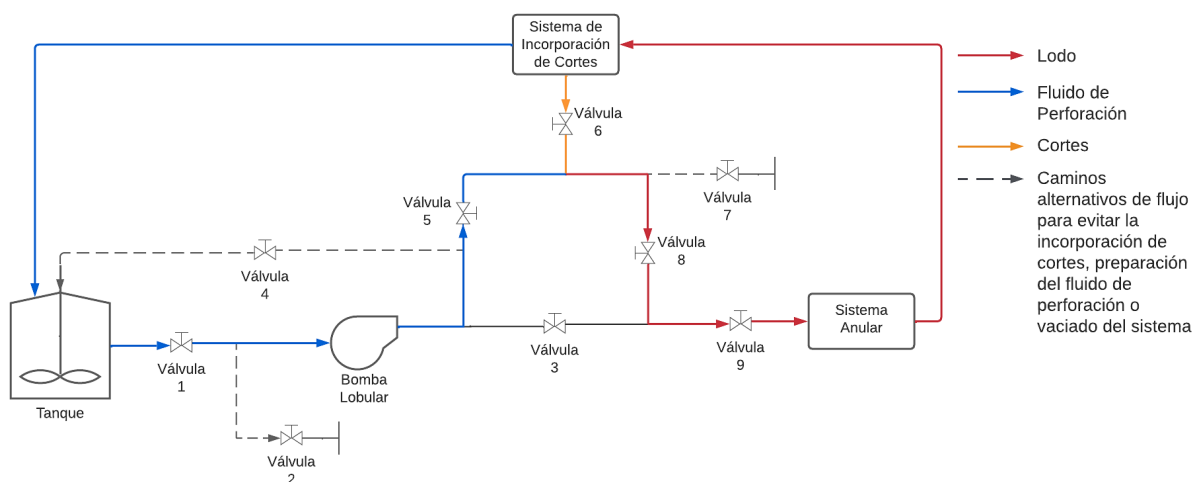


Figura 26. Esquema de funcionamiento del actual banco de pruebas de transporte de cortes y fluidos de perforación del ICP.

Para dar respuesta a este problema, se diseñaron dos posibles soluciones las cuales resultan siendo realmente funcionales y dan solvencia a este inconveniente, estas se describen a continuación:

- Cambiar el sistema de bombeo actual por una bomba de cavidades progresivas la cual permite el bombeo de fluidos particulados.
- Implementar un sistema eductor para la inyección de los cortes al sistema.

Estos dos planteamientos se evaluaron mediante una matriz QFD para determinar cuál es el más viable, funcional y que cumple con los requerimientos de diseño dados por el cliente. La importancia de cada requerimiento se obtuvo como un

promedio entre el puntaje dado por los autores de este proyecto y el ingeniero del ICP a cargo del banco de pruebas.

		Sistema de Incorporación de Cortes	
1: low, 5: high	Functional Requirements (How) →	Bomba de Cavidades Progresivas	Sistema Eductor
Customer importance rating	Customer Requirements - (What) ↓		
2	Bajo mantenimiento	3	9
4	Adaptabilidad al presupuesto	3	9
3	Tamaño reducido del sistema	3	9
5	Menor modificación al banco de pruebas	3	9
5	Garantiza funcionamiento	9	9
5	Mayor eficiencia	3	9
	Technical importance score	57	171
	Importance %	39%	100%
	Priorities rank	2	1

Tabla 2. Matriz QFD para la Selección del Rediseño del Sistema de Incorporación de Cortes.

La solución diseñada plantea el cambio del arreglo de válvulas del sistema que actualmente sirve como mecanismo manual de incorporación de cortes por un sistema eductor que por medio del principio de Bernoulli y la Ley de Continuidad permite la succión de los cortes provenientes de la tolva que son introducidos por el tornillo sin fin del banco, esto permite el funcionamiento totalmente autónomo sin necesidad de ninguna operación manual, además, estos sistemas al no tener piezas móviles son de bajo mantenimiento y bajo costo, esto representa una solución poco invasiva al banco de pruebas actual evitando la sustitución de componentes costosos y la modificación drástica del banco.

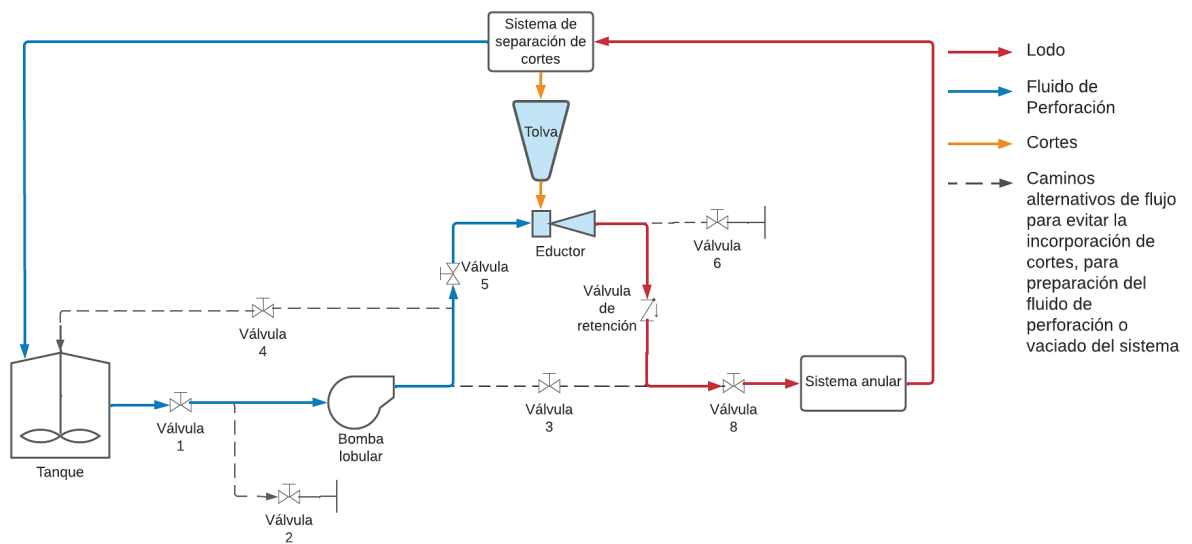


Figura 27. Esquema de funcionamiento del eductor incorporado al actual banco de pruebas de transporte de cortes y fluidos de perforación del ICP.

Implementando el sistema eductor en el banco de pruebas el funcionamiento sería como se muestra en la figura anterior, el fluido de perforación proveniente de la bomba lobular entra al sistema eductor y funciona como el fluido motriz el cual aumentará su velocidad y por ley de Bernoulli disminuirá su presión creando un vacío y por lo tanto una succión de los sólidos granulares suministrados mediante un alimentador vibratorio a la tolva del eductor a una tasa determinada, de esta forma el fluido de perforación y los cortes se mezclan para luego pasar por el sistema anular y finalmente por el resto de subsistemas del banco como el sistema de separación de cortes y el sistema de mezcla de fluido. Con esta solución se consigue un funcionamiento totalmente automático de la incorporación de cavings sin necesidad de intervención manual de operarios.

Para la adquisición del sistema eductor se consideraron dos posibles proveedores americanos, Schutte & Koerting y EST Venturi Systems, ambos especializados en la implementación de sistemas de inyección y mezcla para fluidos multifásicos. De estas dos empresas, solo se pudo recibir respuesta de la empresa Schutte & Koerting la cual suministró los modelos diferentes modelos disponibles para el proyecto y las medidas de los sistemas eductor las cuales sirvieron para la posterior validación del funcionamiento de este sistema.



Figura 28. Logotipo Schutte & Koerting. **Figura 29.** Logotipo EST Venturi Systems.

6.1.2 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES Y SELECCIÓN DEL EDUCOR

Posteriormente de haber definido el proveedor, se consultó la documentación provista por el cliente sobre la parametrización de los sistemas del banco y principalmente del sistema de incorporación de cortes, con el fin de definir los parámetros para la selección del educor. A continuación, se presentan las gráficas y tablas que exhiben los parámetros operacionales de funcionamiento del sistema con lo cual se puede realizar el dimensionamiento del educor.

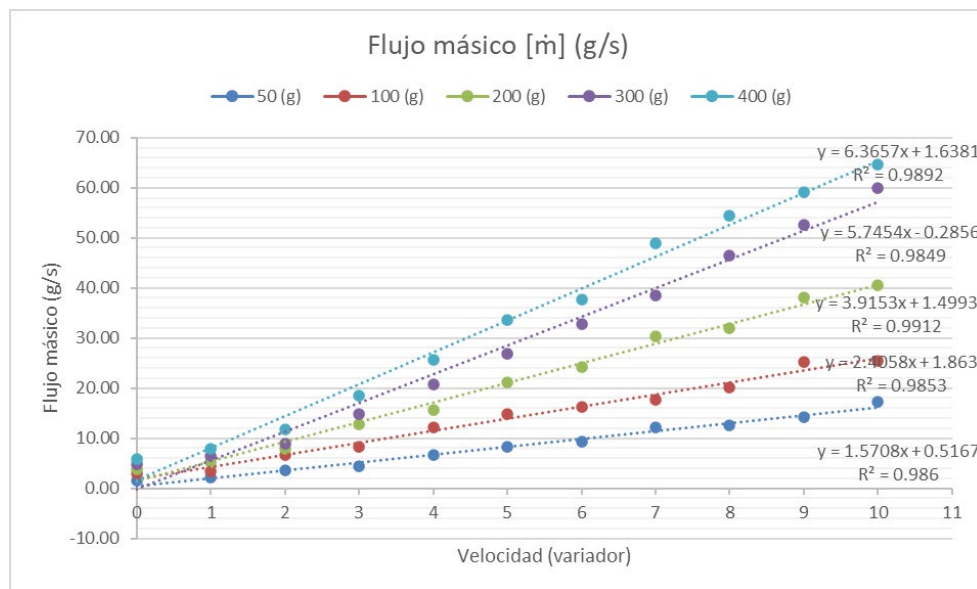


Figura 30: Flujo másico (g/s) simulada a partir de la velocidad de transporte de cortes. [1]

La Figura 30 representa el flujo másico (g/s) simulada a partir del procesamiento de cortes de acuerdo con una masa de control y la Figura 31 muestra el tiempo

que tarda el tornillo extrusor en desalojarlos de acuerdo con la velocidad seleccionada en el variador.

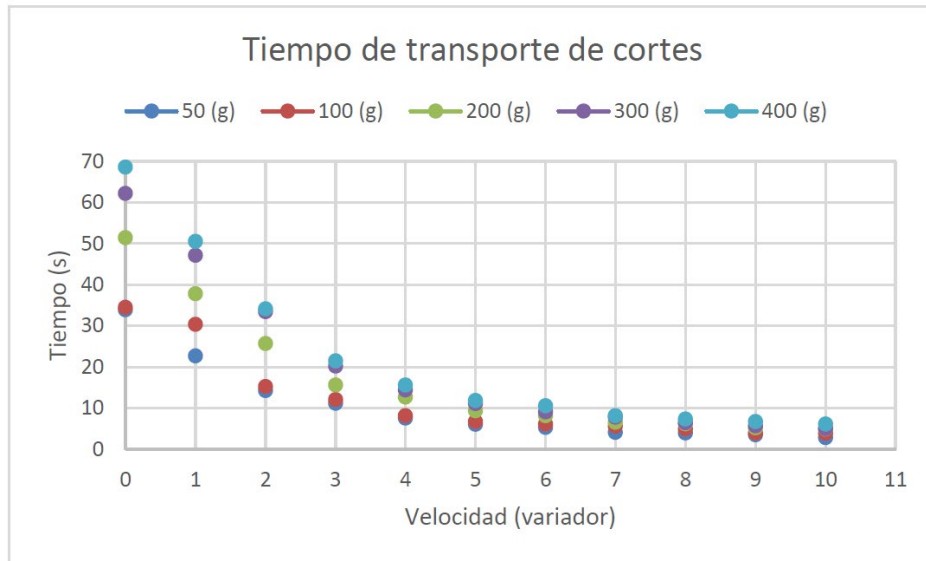


Figura 31. Tiempo de transporte de cortes en función de la velocidad del extrusor. [1]

Con la información anteriormente mencionada y la parametrización descrita en la documentación del banco se pudo determinar los parámetros de operación para la selección del educor.

Condiciones Motrices	
Parámetro	Valor
Presión de líquido disponible	117 psig
Tasa de flujo disponible	50 gpm
Condiciones De Descarga	
Parámetro	Valor
Presión de descarga	70 psig
Condiciones De Succión	
Parámetro	Valor
Densidad aparente	94 lb/ft ³
Tamaño de partícula	20000 micras/diámetro
Características Abrasivas	Ligeramente
Caudal De Sólidos Requerido	
Parámetro	Valor
Nominal	120 lb/hr
Máximo	180 lb/hr
Alimentación por gravedad	Sí

Tabla 3. Parámetros y condiciones para la selección del educor para el sistema de incorporación. [1]

Finalmente, se contactó a un asesor comercial del proveedor Schutte & Koerting y con los parámetros y condiciones de operación especificados en esta sección se estableció el modelo de eductor adecuado para el sistema de incorporación de cortes del banco cuya referencia es “1-1/2" Fig 265H Solids Handling Eductor”.

6.2 VALIDACIÓN DEL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES POR SIMULACIÓN CFD

Para la simulación de fluido particulado o multifásico se requirió la utilización del software Ansys Fluent ya que este cuenta con la capacidad de hacer análisis del comportamiento de fluidos con partículas permitiendo así evidenciar de forma completa el correcto funcionamiento del sistema eductor en cuanto a su efectividad al momento de incorporar cortes al sistema de tuberías del banco.

En primer lugar, se importó el modelo 3D al software de Ansys Fluent Meshing para realizar el mallado del sólido, para realizar esta operación se establecieron los parámetros y configuraciones que se muestran a continuación:

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	6
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Slow
Span Angle Center	Medium
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	0,29848 m
Average Surface Area	2,2368e-003 m ²
Minimum Edge Length	2,1637e-002 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0,9)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	Program Controlled
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	29530
<input type="checkbox"/> Elements	95967

Figura 32. Configuración de parámetros para el mallado del sólido en Ansys.

De esta forma, se obtuvo el siguiente mallado del modelo 3D del educador con el cual se llevó a cabo el análisis el comportamiento del sistema de incorporación de cortes:

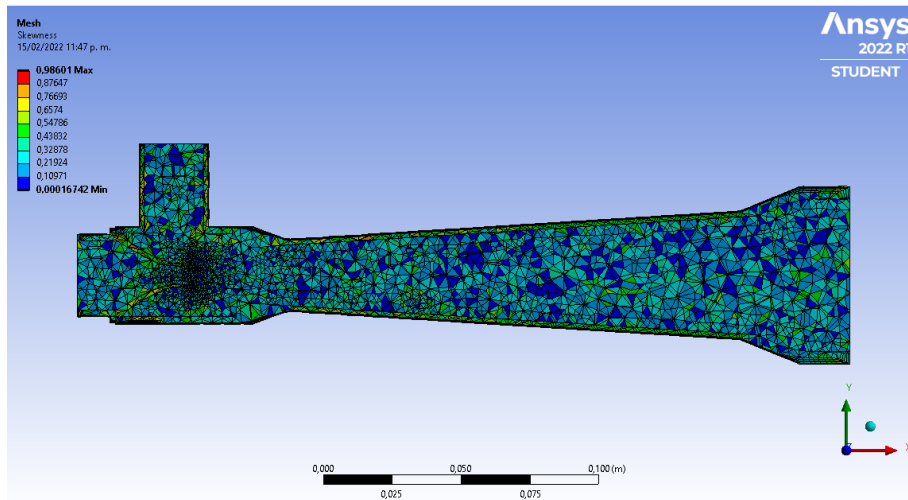


Figura 33. Vista de Corte de Medida de Asimetría (Skewness) de la operación de mallado en Ansys.

Posteriormente, se asignaron las entradas y salidas del modelo para que puedan ser reconocidas por el software de análisis CFD y posteriormente especificar la entrada de fluido y la de sólidos.

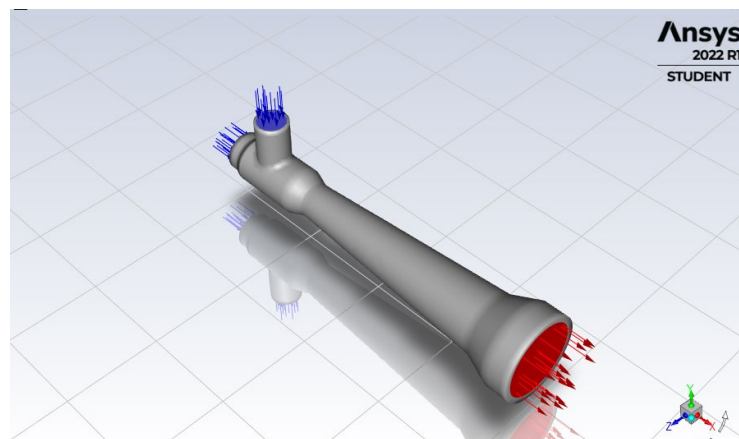


Figura 34. Vista Isométrica del modelo 3D mallado con sus entradas (color azul) y salidas (color rojo) en Ansys.

En el software de Ansys Fluent se procede a configurar los modelos a utilizar los cuales son Viscous y Discrete Phase de los cuales este último permite la simulación de partículas en el análisis CFD. Además, se configuraron los materiales que circularán por el eductor los cuales son agua como fluido motriz y antracita como sólidos a incorporar en el sistema. Para revisión más detallada de los parámetros de configuración de la presente simulación remitirse al Anexo A.

A continuación, se detallan los valores del modelo viscoso y condiciones de simulación con los cuales se realizan las simulaciones del sistema en el software Ansys:

Parámetros de Modelo Viscoso	
Parámetro	Valor
Modelo Viscoso	k-epsilon (2 eqn) Realizable
C2 - Epsilon	1.9
TKE Prandtl Number	1
TDR Prandtl Number	1.2

Tabla 4. Parámetros de Modelo Viscoso utilizados en la simulación del Sistema Eductor en Ansys Fluent.

Propiedades de la Inyección de Cortes	
Parámetro	Valor
Tipo de Partícula	Antracita
Distribución de Diámetro	Rosin-Rammler
Magnitud de Velocidad de Entrada	0.5 m/s
Tasa de Flujo Total	0.05 kg/s
Diámetro Mínimo de las Partículas	0.01 m
Diámetro Máximo de las Partículas	0.015 m
Parámetro de Dispersión	3.5

Tabla 5. Parámetros de la inyección de cortes utilizados en la simulación del Sistema Eductor en Ansys Fluent.

Propiedades del Fluido	
Parámetro	Valor
Fluido	Agua
Magnitud de Velocidad de Entrada	0.5 m/s
Tasa de Flujo Total	0.05 kg/s
Diámetro Mínimo de las Partículas	0.01 m
Diámetro Máximo de las Partículas	0.015 m
Parámetro de Dispersión	3.5

Tabla 6. Propiedades del fluido utilizado en la simulación del Sistema Eductor en Ansys Fluent.

Finalmente, se describen los reportes de resultados del comportamiento de las variables que se desean obtener del análisis, en este caso presión y velocidad del fluido particulado y trayectoria de las partículas incorporadas al sistema. De esta forma se obtienen los siguientes resultados representados en gráficos de contorno:

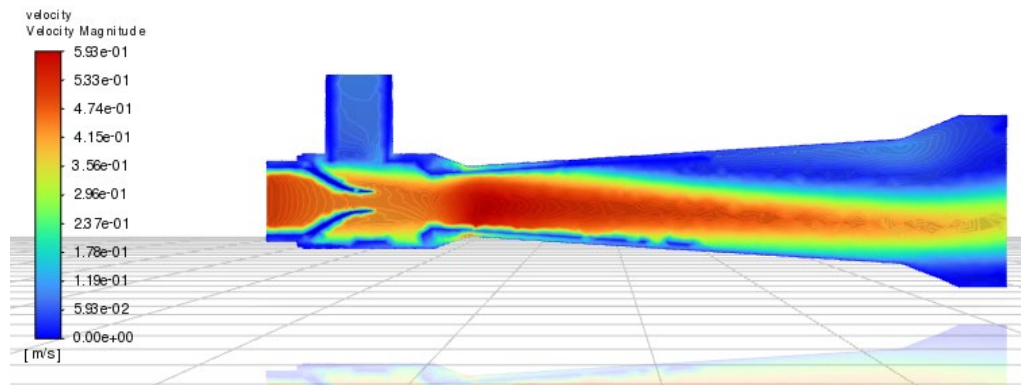


Figura 35. Resultado de la magnitud de la velocidad del fluido particulado del modelo.

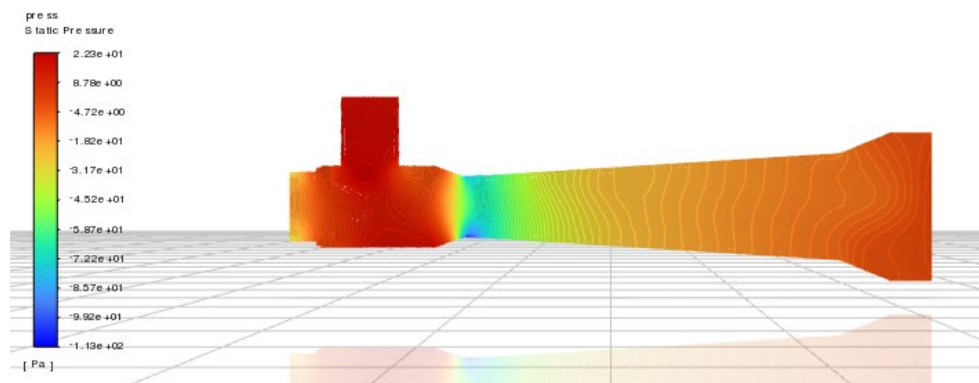


Figura 36. Resultado de la Presión Estática en las diferentes regiones del modelo.

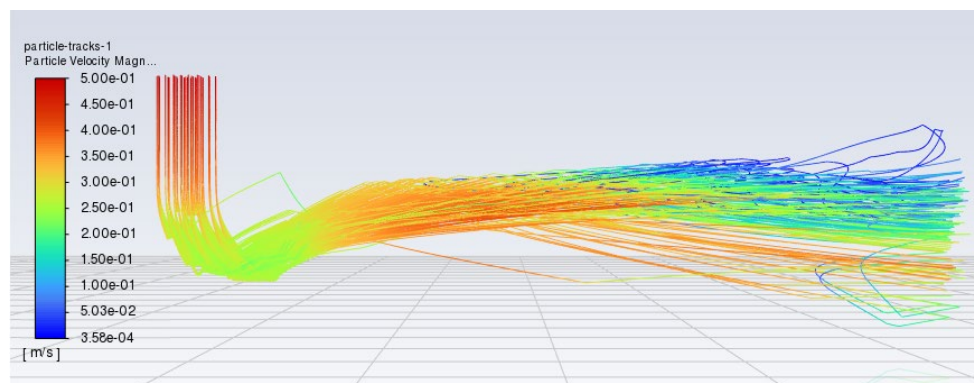


Figura 37. Gráficos de Trayectoria de las partículas incorporadas y su correspondiente Velocidad en el modelo.

Como se puede observar en la Figura 33 y la Figura 34, la velocidad del fluido en la reducción de área del eductor aumenta, y a su vez, la presión disminuye hasta valores negativos creando así un efecto de succión en la entrada de los cortes e incorporándolos en el sistema de tuberías como se observa en la Figura 35. De

esta forma, se demuestra la efectividad del eductor para la incorporación de las partículas provenientes del Sistema de Separación de Cortes de forma autónoma, ininterrumpida y sin retorno de fluido.

6.3 DISEÑO DE PLANOS PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES

Luego de haber validado el funcionamiento del eductor, se procede al modelado 3D y diseño de los planos para la incorporación de este sistema en el actual circuito de flujo del banco de pruebas teniendo en cuenta las dimensiones del eductor dadas por el proveedor.



Figura 38. *Vista Isométrica del Banco de Pruebas con el Sistema Eductor Incorporado.*

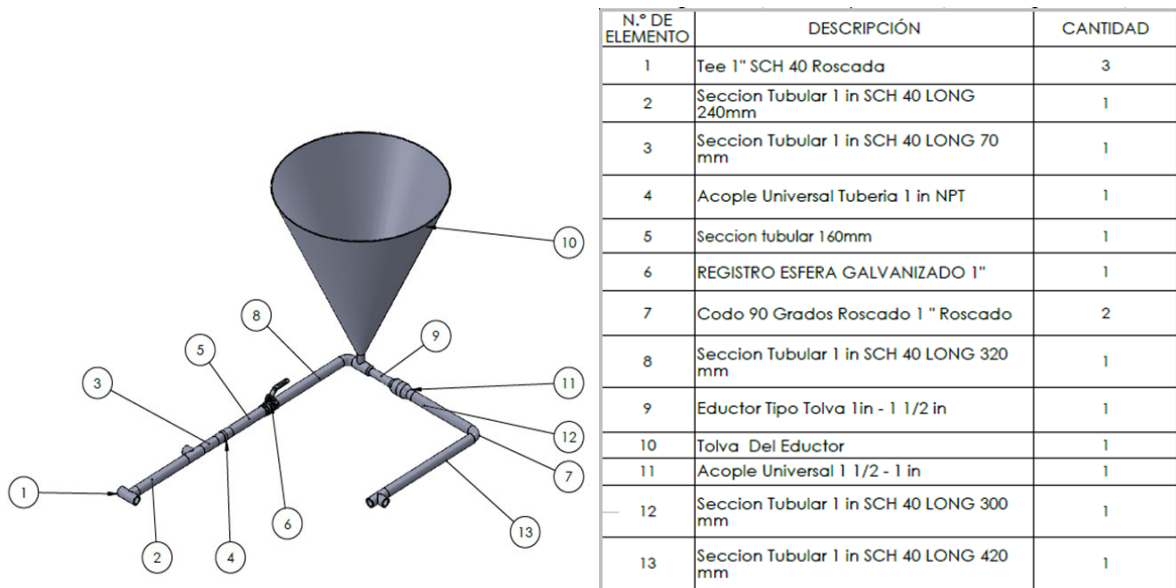


Figura 39. Planos para la Incorporación del Sistema Eductor en el Sistema de Circulación del Banco de Pruebas.

6.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN NECESARIA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO

6.4.1 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES A CONTROLAR

En este apartado, se hace la identificación y estudio de las variables a controlar presentes en el actual banco de pruebas para posteriormente identificar el tipo de actuadores, sensores y demás instrumentos necesarios para la automatización de los sistemas. De estos sistemas se excluye el sistema de incorporación de cortes ya que por el rediseño realizado anteriormente se obtiene un funcionamiento autónomo sin necesidad de la implementación de instrumentación adicional.

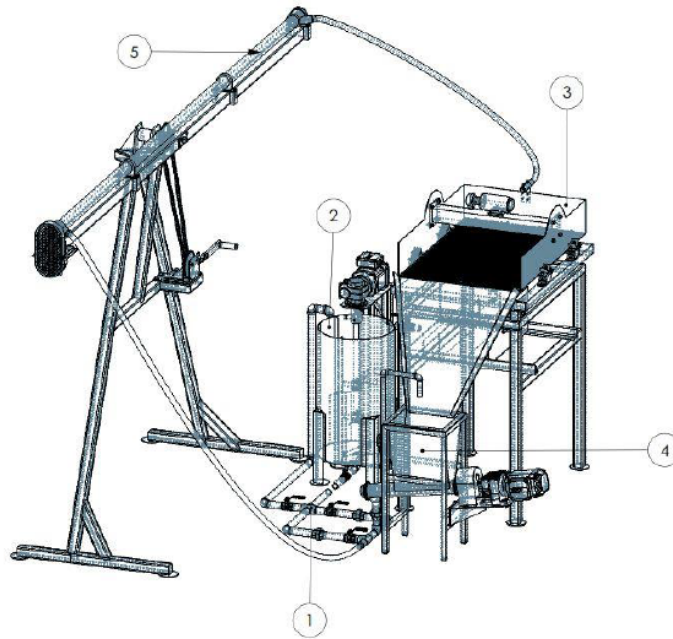


Figura 40. Representación 3D de los sistemas que componen el Banco De Pruebas De Transporte De Fluidos Y Cortes Perforación.[1]

Lista de Sistemas	
Ítem	Nombre
1	Subsistema 1 - Sistema de Transporte
2	Subsistema 2 - Sistema de Mezclado
3	Subsistema 3 - Sistema Shaker
4	Subsistema 4 - Sistema Extrusor
5	Subsistema 5 - Sistema Anular

Tabla 7. Lista de Sistemas que componen el Banco de Pruebas de Transporte de Fluidos y Cortes de Perforación. [1]

A continuación, se presenta el listado de variables clasificadas por subsistemas:

- **Sistema anular:**
 1. Velocidad de la sarta de perforación:
 - a. El rango de operación del motor es de 27 a 133 RPM
 2. Angulo de inclinación de perforación:

Actualmente se controla mediante un malacate de 3 posiciones:

 - a. La posición 1 permite accionar el sistema anular en sentido horario, lo cual corresponde a aumentar el ángulo con respecto a un plano vertical (desde 0° hasta 90°).

- b. La posición 2 corresponde a un estado libre de bloqueo, lo que permite accionar el sistema tanto en sentido horario como antihorario.
 - c. La posición 3 permite accionar el sistema anular en sentido antihorario, lo cual corresponde a disminuir el ángulo con respecto a un plano vertical (desde 90° hasta 0°).
- **Sistema de mezcla de fluidos:**
 - 1. Velocidad de agitación de la mezcla de los fluidos:
 - a. El control de velocidad se implementa mediante un motorreductor en un rango de 0 a 11 correspondientes a variaciones en velocidad del motor de 48 – 68 RPM.
- **Sistema de bombeo y circulación:**
 - 1. Velocidad de circulación del fluido:
 - a. El motor de la bomba cuenta con botones de encendido, apagado y una perilla de control de velocidad en un rango de 0 a 11 correspondientes a variaciones en velocidad del motor con lo cual se puede alcanzar diferentes tasas de bombeo.
 - b. El sistema de circulación actualmente debe ser accionado de forma manual, de acuerdo con los requerimientos de las pruebas.
- **Sistema de separación de cortes (Shaker):**
 - 1. Velocidad de vibración de la zaranda:
 - a. La canasta está suspendida sobre unos resortes que le posibilitan el movimiento que es suministrado por un motor vibrador de tipo lineal al cual se les posible variar la velocidad desde el panel de control.
 - b. Es posible variar la separación de las contrapesas del motor vibrador, con lo cual se obtiene mayor o menor vibración de acuerdo con las modificaciones, esto debe realizarse de forma manual.
 - 2. Angulo de inclinación de la zaranda:
 - a. La canasta cuenta con un mecanismo de tornillo accionado de forma manual, que le permite variar la inclinación hasta en 8°, con lo cual se logra mayor o menor transporte de los sólidos.

6.4.2 REFERENCIAS DE ACTUADORES, SENSORES Y DISPOSITIVOS DE CONTROL EN EL MERCADO

Teniendo en cuenta la información planteada en el apartado anterior, se realiza la investigación de referencias de la instrumentación necesaria para el control de dichas variables, teniendo en cuenta que los instrumentos cumplan con las especificaciones mínimas requeridas para su correcto funcionamiento e implementación en el banco.

6.4.3 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN MEDIANTE MATRIZ QFD

Para la selección de los dispositivos a implementar en el banco (actuadores y sensores), se hizo uso de la matriz QFD, esta matriz se creó en colaboración con el cliente extrayendo los requerimientos económicos y de funcionamiento y asignando pesos a cada uno de estos requerimientos para finalmente calificar y obtener los instrumentos más adecuados para el proceso.

Los requerimientos o criterios para la selección se establecieron según las peticiones del cliente, a su vez estos requerimientos se plantearon de forma general para agrupar necesidades subyacentes. Los criterios que se usan para la selección se definen y justifican de la siguiente manera:

- **Bajo Costo:** Los costos de la instrumentación están sujetos a un presupuesto establecido por el cliente, entre más se ajuste un instrumento al presupuesto mayor será su valoración.
- **Fácil de la instalación:** La instalación de los instrumentos se ve limitada por la disposición de los sistemas del banco por tal motivo en la selección se da mayor puntuación a los elementos que se integren de forma viable en cada sistema.
- **Alta Exactitud:** El propósito central de automatizar e instrumentar el banco es monitorear las variables del proceso por lo cual tener una exactitud alta permitirá generar registros fiables que sean objeto de estudio.
- **Alta Resolución:** Las características del proceso que se lleva en el banco nos permitió identificar que las variables poseen de forma general un rango de operación bajo, las cuales poseen variaciones relativamente pequeñas en el contexto del proceso, por lo cual es necesario que la instrumentación que se instale posea la resolución necesaria para registrar dichas variaciones.

- **Fácil mantenimiento:** El presupuesto con el cual cuenta el proyecto de automatización del banco debe garantizar el funcionamiento de este mismo sin incurrir en gastos adicionales por lo cual las labores de mantenimiento serán realizadas por los operarios del ICP, dado este requerimiento se evalúa que los instrumentos puedan ser intervenidos sin participación externa.

Los pesos de los requerimientos se obtienen por medio de una encuesta al cliente donde se le consulta sobre la importancia de cada uno de los requerimientos, el resultado de esa encuesta se promedia con el puntaje de importancia dado por los autores de este proyecto y sus docentes tutores para finalmente obtener su valor. La tabla presentada a continuación es una muestra de la implementación de esta herramienta para la selección del sensor de nivel continuo para el tanque de mezcla de fluidos, las demás matrices QFD se pueden encontrar en los archivos anexos a este documento.

		Sensor de Nivel Continuo			
1: low, 5: high Customer importance rating	Functional Requirements (How) →	UCL 510	EchoPod DX10-00	EchoPod DL10-00	UGT507
	Customer Requirements - (What) ↓				
5	Bajo Costo	1	3	3	9
4	Fácil Instalación	9	9	9	9
4	Alta Exactitud	9	9	3	9
4,5	Alta Resolución	9	9	9	3
3,5	Fácil Mantenimiento	9	9	9	9
	Technical importance score	149	159	135	162
	Importance %	25%	26%	22%	27%
	Priorities rank	3	2	4	1

Tabla 8. Matriz QFD para selección de Sensores de Nivel Continuos.

De esta forma, aplicando esta matriz QFD a los demás tipos de sensores se obtienen la lista de referencias de los instrumentos a utilizar en la automatización del banco de pruebas la cual se muestra a continuación:

Sensores				
Cantidad	Marca	Referencia	Descripción	Precio Unitario
1	IFM	UGT507	Medición continua de nivel	211,04 USD
1	Eicos	LF322E-40	Medición puntual de nivel	18,92 USD
1	Krohne	OPTISONIC 3400	Medición de caudal por Ultrasonido	1843,98 USD
1	BD Sensors	DMD 831 (7)	Medición de presión diferencial	396,99 USD
1	Micromega	IAC-CM-I-02	Medición de aceleración	519,31 USD
1	Emerson	Micro Motion™ de la serie (T T100F y un transmisor 1700)	Medición de Densidad	22.612 USD

Tabla 9. Lista de Sensores Seleccionados

Para la selección del servomotor encargado del giro del sistema anular, se realizó una simulación de movimiento del sistema en el software Solidworks, para esta validación se tuvieron en cuenta características como el peso correspondiente al fluido de perforación circulando por la tubería del sistema y se añadió un coeficiente de fricción de Coulomb preconfigurado (Steel Dry) para obtener resultados de momento y velocidad angular más realistas.



Figura 41. Modelo 3D del Sistema Anular.

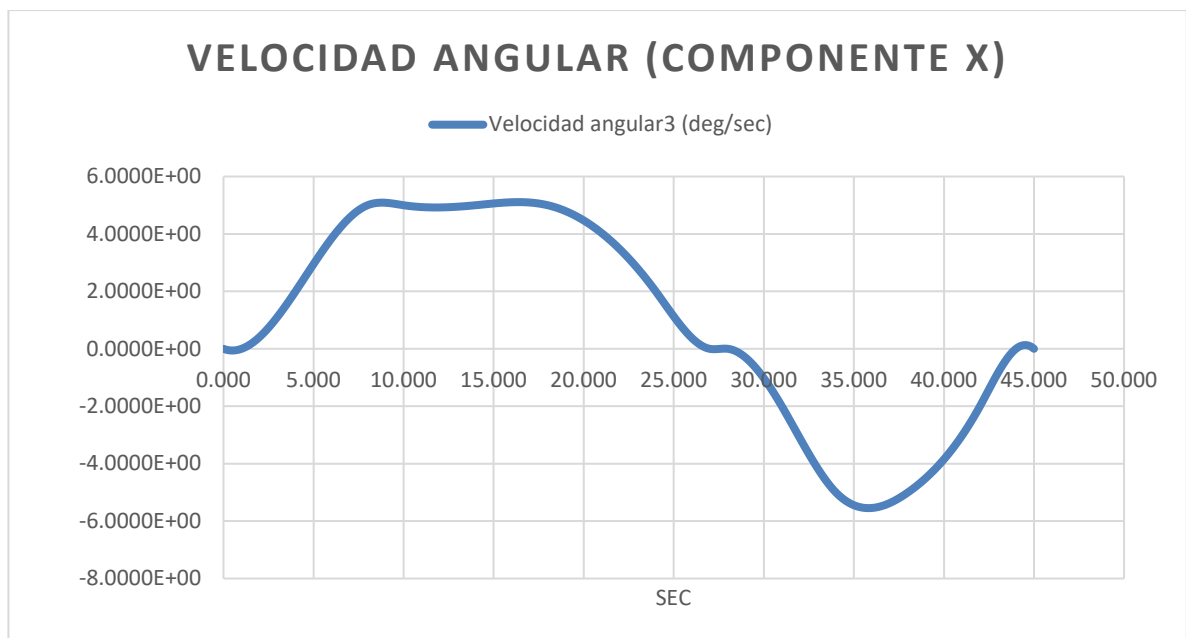


Figura 42. Resultados de Velocidad Angular en Simulación del Sistema Anular.

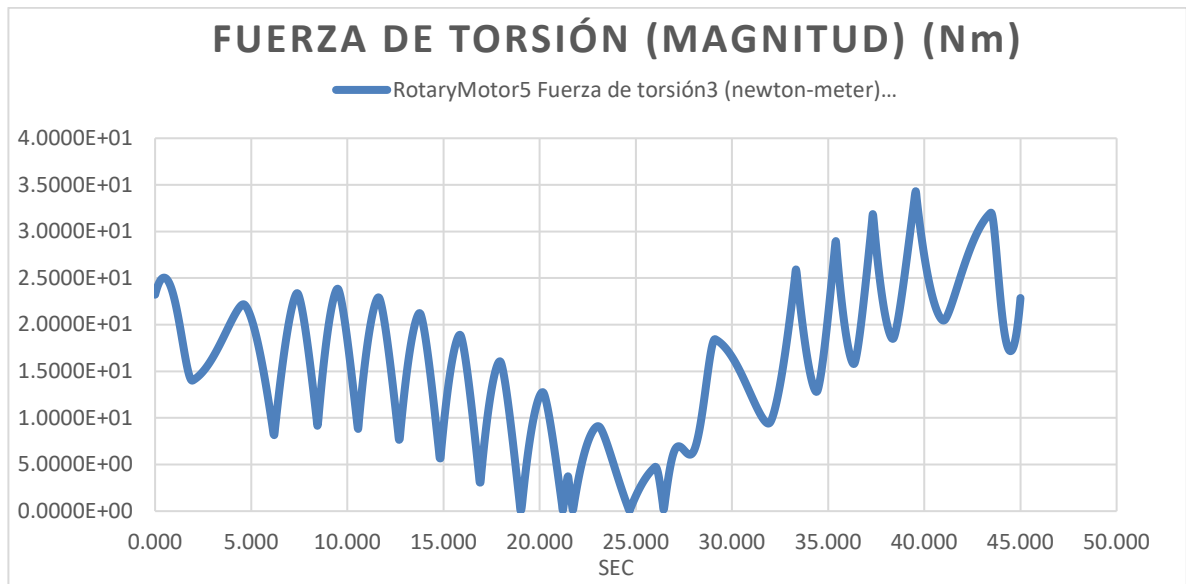


Figura 43. Resultados de Torque en Simulación del Sistema Anular.

Utilizando la información del torque máximo obtenido el cual, según la Figura, fue de 35 Nm, se procedió a realizar la investigación de diferentes referencias de servomotores y actuadores que cumplieran con las especificaciones requeridas y después de realizar el proceso de selección por QFD se llegó a las referencias mostradas en la siguiente tabla:

Actuadores				
Cantidad	Marca	Referencia	Descripción	Precio Unitario
6	Festo	VZWF-B-L-M22C-G1-275-1P4-6-R1	Electroválvula	300,15 USD
1	LINAK	LA12	Actuador eléctrico lineal	203.12 USD
1	Siemens	1FL6096-1AC61-2LA1	Servomotor	1603,03 USD

Tabla 10. Lista de Actuadores Seleccionados.

Sin embargo debido a revisiones y pruebas que se realizaron al sistema anular con el fin de comparar los datos obtenidos en la simulación con respecto a la velocidad y el torque con que opera normalmente el sistema en el banco, se evidencio que el mecanismo que controla el ángulo de inclinación experimenta una fricción excesiva debido a que el peso de toda la tubería anular se encuentra soportado por un solo pasador, por lo cual el mecanismo se frena aumentando el torque de forma desproporcionada.

Debido a esto se informó al cliente el estado del sistema y se estableció que es necesario realizar un rediseño de todo el mecanismo que controla el ángulo de inclinación tomando en cuenta desde un inicio que la generación del movimiento se hará desde un motor paso a paso, en consecuencia, se deja especificado en la tabla anterior la referencia del motor para el rediseño, sin embargo, se decidió que para la automatización de este sistema se realizará un proyecto derivado del actual lo cual permitirá abarcar de forma más detallada el diseño del sistema anular, por consiguiente a esto, se omite el control del ángulo como una variable a controlar y se establecen los recursos necesarios para implementarlo en intervenciones posteriores.

6.4.4 DESARROLLO DE P&ID

El desarrollo del diagrama P&ID permite la ubicación general que tendrán los instrumentos seleccionados en el banco de pruebas para cumplir con sus respectivas funciones en la automatización del sistema completo. En el siguiente esquema, se presenta la disposición en el banco de pruebas de cada electroválvula, motor, sensor y demás instrumento.

Diagrama P&ID

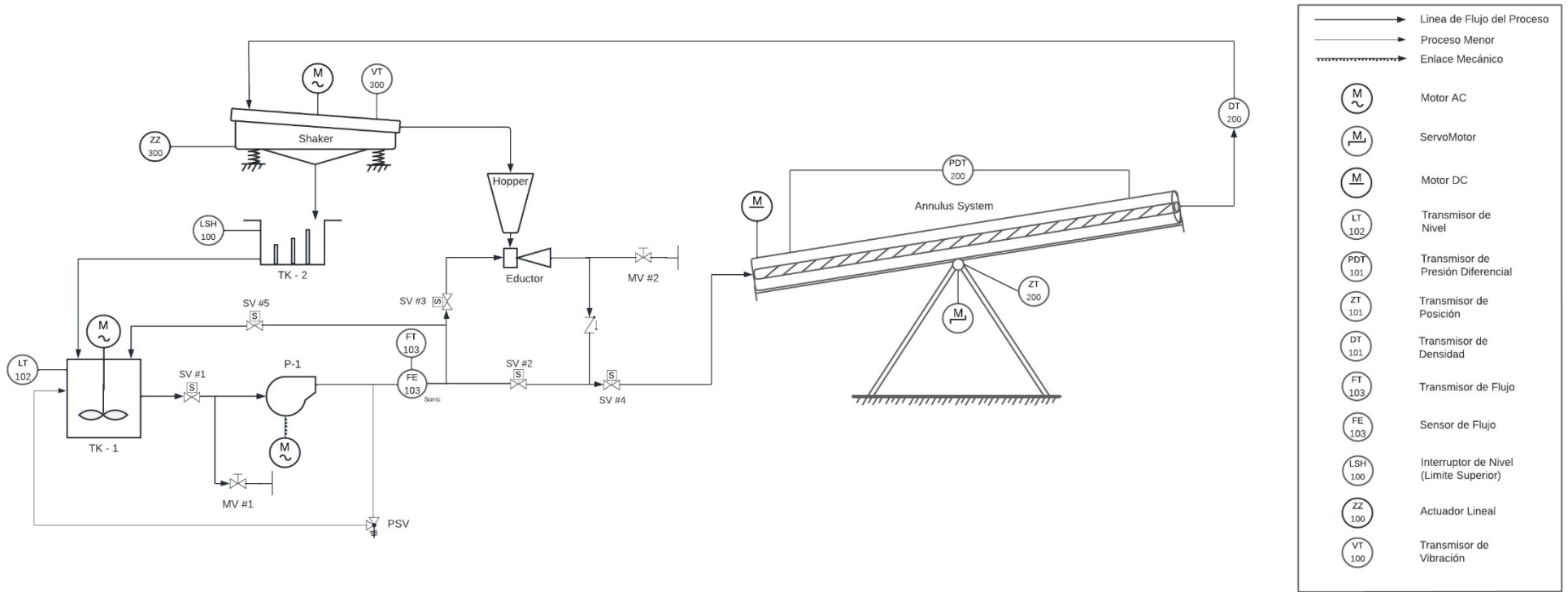


Figura 44. Diagrama P&ID para Banco de Pruebas de Transporte de Cortes y Fluidos de Perforación.

6.4.5 GUÍA GEMMA

En la siguiente ilustración, se puede observar el diseño propuesto de la Guía GEMMA para la automatización del banco de pruebas luego de seleccionar los estados posibles en los que se puede encontrar el proceso en determinadas circunstancias tales como situaciones de funcionamiento normal, emergencia, entre otras.

La Guía GEMMA es una guía de estudio de los modos o estados de arranque y parada que se pueden presentar en cualquier sistema. Este documento es una guía gráfica estructurada con los modos comunes de operación. Dependiendo de las necesidades del sistema automatizado, se utilizan determinados estados de operación. Las normas establecidas por la GEMMA se dividen en rectángulos que determinan un estado del proceso. Cada rectángulo de estado tiene una ubicación precisa en la guía gráfica y están vinculados a otros rectángulos de estado mediante transiciones. Estas transiciones entre los estados establecidos evolucionan bajo el mismo concepto que se aplica en el lenguaje de programación Grafcet.

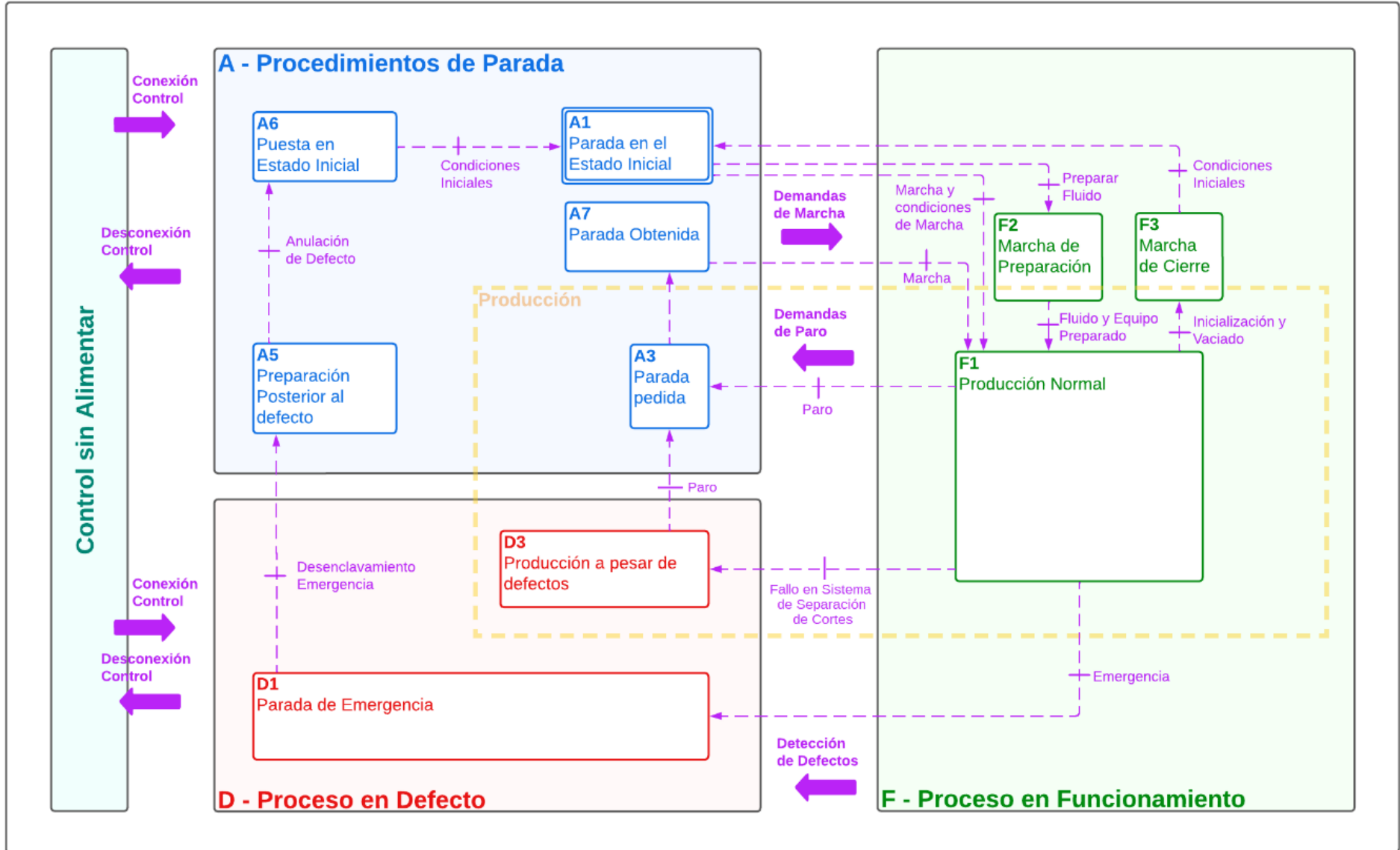


Figura 45. Diseño de la Guía GEMMA para la propuesta de automatización.

6.4.6 SELECCIÓN DE CONTROLADOR

En esta sección se procede a realizar la selección del dispositivo controlador para la automatización del banco lo cual incluye la recepción y envío de información de la instrumentación y programación de los estados de la guía GEMMA. Para la selección del controlador se tuvo en cuenta las características y naturaleza del proceso que se lleva a cabo en el banco, dentro de las cuales se tienen principalmente las siguientes:

- Es un proceso pequeño.
- Bajo volumen de datos a trabajar.
- No se requieren técnicas de control avanzado.

Además, se realizó el conteo de entradas y salidas digitales y analógicas obtenidas de los actuadores y sensores seleccionados para de esta forma dimensionar el PLC y la cantidad de módulos adicionales de ser necesarios.

E/S	N°	Descripción	Sistema	Ubicación en Sistema	Total
Entradas Digitales	1	Pulsador con Enclavamiento Parada de Emergencia (NC)	Sistema de Control	Panel de Control	2
	1	Sensor de Nivel Discreto	Sistema Separación de Cortes	Tanque de Retorno	
Salidas Digitales	1	Electroválvula NC #1	Sistema de Circulación y Bombeo	Tuberías Aguas Abajo de la Bomba Lobular	9
	1	Electroválvula NC #2	Sistema de Circulación y Bombeo	Tuberías Aguas Abajo de la Bomba Lobular	
	1	Electroválvula NC #3	Sistema de Circulación y Bombeo	Tuberías Aguas Abajo de la Bomba Lobular	
	1	Electroválvula NC #4	Sistema de Circulación y Bombeo	Tuberías Aguas Abajo de la Bomba Lobular	
	1	Electroválvula NC #5	Sistema de Circulación y Bombeo	Tuberías Aguas Abajo de la Bomba Lobular	

E/S	N°	Descripción	Sistema	Ubicación en Sistema	Total
Salidas Digitales	1	Electroválvula NC #6	Sistema de Circulación y Bombeo	Tuberías Aguas Abajo de la Bomba Lobular	9
	1	Luces Piloto Roja	Sistema de Control	Panel de Control	
	1	Luces Piloto Amarilla	Sistema de Control	Panel de Control	
	1	Luces Piloto Verde	Sistema de Control	Panel de Control	
Entradas Analógicas	1	Sensor de Nivel Continuo Ultrasónico	Sistema de Mezcla de Fluidos	Tanque de Almacenamiento	6
	1	Caudalímetro	Sistema de Circulación y Bombeo	Aguas Abajo de la Bomba Lobular	
	1	Sensor de Presión Diferencial	Sistema Anular	Sección Anular	
	1	Acelerómetro	Sistema Separación de Cortes	Zaranda Vibratoria	
	1	Densímetro	Sistema Anular	Salida de la Sección Anular	
	1	Potenciómetro Lineal	Sistema de Separación de Cortes	Zaranda Vibratoria	
Salidas Analógicas	1	Driver Motor DC	Sistema Anular	Sección Anular	3
	1	Servomotor	Sistema Anular	Sección Anular	
	1	Actuador Lineal	Sistema de Separación de Cortes	Zaranda Vibratoria	

Tabla 11. *Conteo de Entradas y Salidas del Controlador*

Con la información anteriormente mostrada, y luego de realizar la investigación de diferentes referencias y marcas de PLC's como lo son: PLC Mitsubishi FX5U-32MT/DSS, Rockwell Automation CompactLogix 5380, Siemens S7-1215C, entre otras, de igual manera se hizo uso de la matriz QFD, esta matriz se creó de forma homónima con las matrices de selección de instrumentación en colaboración con el cliente extrayendo los requerimientos económicos y de funcionamiento y asignando pesos a cada uno de estos requerimientos para finalmente calificar y obtener el controlador más adecuado y flexible para el proceso.

Los criterios que se usan para la selección se definen y justifican de la siguiente manera:

- **Bajo Costo:** Los costos del sistema de control tanto como de la instrumentación están sujetos a un presupuesto establecido por el cliente, entre más se ajuste un instrumento o controlador al presupuesto mayor será su valoración.
- **Fácil instalación modular:** La instalación del controlador lógico debe permitir que el proceso se pueda adaptar y crecer según los requerimientos que se presenten a medida que se quiera optimizar aún más el banco por lo tanto es necesario que el controlador adquiera funciones y capacidades nuevas con la incorporación de módulos.
- **Alta Capacidad De Entradas/Salidas:** El propósito central de automatizar e instrumentar el banco es monitorear las variables del proceso por lo cual el sistema de control debe contar con la capacidad necesaria para administrar y controlar las diferentes entradas y salidas del proceso.
- **Alta Capacidad De Lenguajes De Programación:** Las características del proceso que se lleva en el banco nos permite establecer que lo óptimo para el sistema de control es que el controlador cuente con la capacidad de ser programado en diferentes lenguajes.
- **Fácil Conectividad:** Los requerimientos de automatización establecidos por el cliente establecen que el proceso se pueda administrar y monitorear desde la web de la empresa, por ende, es preciso que el controlador cuente con diferentes funciones de conectividad.

		PLC		
1: low, 5: high	Functional Requirements (How) →	Mitsubishi FX5U-32MT/DSS	CompactLogix 5380	Siemens S7-1215C
Customer importance rating	Customer Requirements - (What) ↓			
5	Bajo Costo	1	3	3
4	Fácil Instalación Modular	9	9	9
4	Alta Capacidad De Entradas/Salidas	3	3	9
3,5	Alta Capacidad De Lenguajes De Programación	3	3	9
5	Fácil Conectividad	9	9	9
	Technical importance score	108,5	118,5	163,5
	Importance %	28%	30%	42%
	Priorities rank	3	2	1

Tabla 12. Matriz QFD para selección del controlador lógico.

Luego de aplicar la matriz de selección se decide implementar un PLC S7-1214C, ya que este dispositivo permite entre otras cosas, desarrollar cada uno de los estados propuestas de la guía GEMMA por medio del lenguaje LADDER el cual es ideal por la naturaleza combinatorial del proceso, su precio es relativamente bajo comparado a sus competencias directas y permite la conexión a servidor web para el intercambio de datos del proceso. Adicionalmente, para la selección se tuvo en cuenta el costo de la licencia asociada al software de programación de cada referencia de controlador.

6.5 DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL

Se comienza el desarrollo de esta fase planteando por subsistemas las técnicas de control a implementar para cada una de las variables identificadas teniendo en cuenta las necesidades del cliente:

6.5.1 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA ANULAR

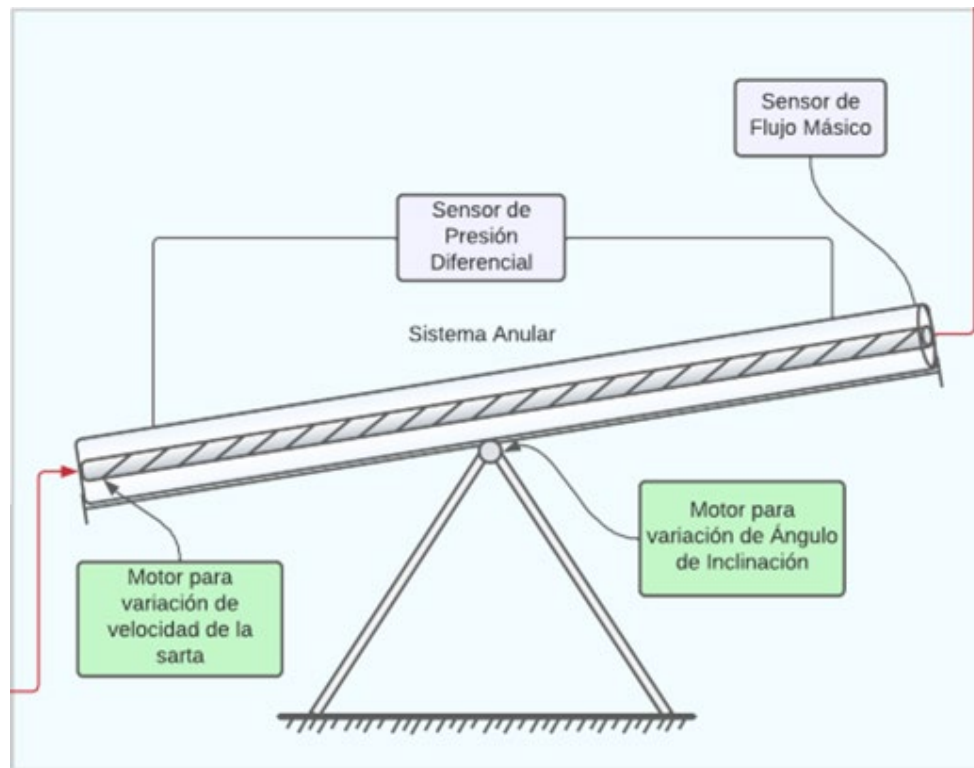


Figura 46. Sistema Anular (con instrumentación)

Para el control de las variables de este sistema las cuales son, ángulo de inclinación de la sección anular y RPM's del motor DC correspondiente a la sarta de perforación, se plantea lo siguiente:

Variables de control:

1. Velocidad de la sarta de perforación.
2. Angulo de inclinación de perforación.

Control Actual:

1. Velocidad de la sarta de perforación:

El control de las revoluciones del motor (RPM) se realiza mediante un driver que a la vez cumple la función de inversor, ya que este motor funciona con corriente continua o directa (CC/DC), el rango de operación es de 27 a 133 RPM y este se puede verificar en la pantalla del indicador demarcado como sistema anular.

2. Angulo de inclinación de perforación:

Actualmente se controla de forma manual mediante un malacate de 3 posiciones de freno, estas 3 posiciones permiten diferentes formas de movimiento del sistema anular.

Control a Implementar:

1. Velocidad de la sarta de perforación - Lazo abierto con retroalimentación visual:

Para el control de la velocidad de la sarta se plantea mantener el driver con el que se cuenta actualmente, la diferencia con el control actual que se tendrá retroalimentación de la velocidad en la interfaz HMI.

La velocidad del motor DC se podrá seleccionar mediante la perilla del driver, pero si se desea se pueden definir 4 valores fijos de velocidades y utilizar la interfaz HMI para seleccionar una de estas 4 velocidades, la desventaja de esta funcionalidad es que se limita el rango de operación del motor debido a que el driver no permite utilizar la perilla a la vez que se definen las velocidades fijas.

2. Ángulo de inclinación de perforación:

Se evaluó las condiciones de operación del sistema anular, se estableció que era necesario rediseñar el sistema debido a fallas en la estructura del soporte de la sección anular lo que causa una fricción excesiva a la hora de darle inclinación a la tubería.

El planteamiento para el control del ángulo de inclinación del sistema anular consiste en la implementación de un servomotor y su respectivo driver para el control, la inclinación podrá ser definida mediante la interfaz HMI y también se contará con la retroalimentación visual, la estrategia de control a implementar es de lazo abierto.

6.5.2 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN Y BOMBEO

Variables de control:

1. Dirección del flujo
2. Control de caudal proveniente de la Bomba Lobular

Control Actual:

1. Dirección del flujo:

El flujo es redirigido por medio de un arreglo de válvulas de bola manuales las cuales permiten aislar o integrar el sistema de incorporación de cortes o crear un circuito de flujo solo con el sistema de mezcla de fluidos (esta configuración se usa para la preparación del lodo de perforación).

2. Control de caudal proveniente de la Bomba Lobular:

La velocidad de giro del motor AC el cual está acoplado a la bomba lobular es controlada por medio de un variador de frecuencia Schneider ATV320, este variador tiene la posibilidad de mostrar la velocidad actual de giro del motor por medio del panel LCD.

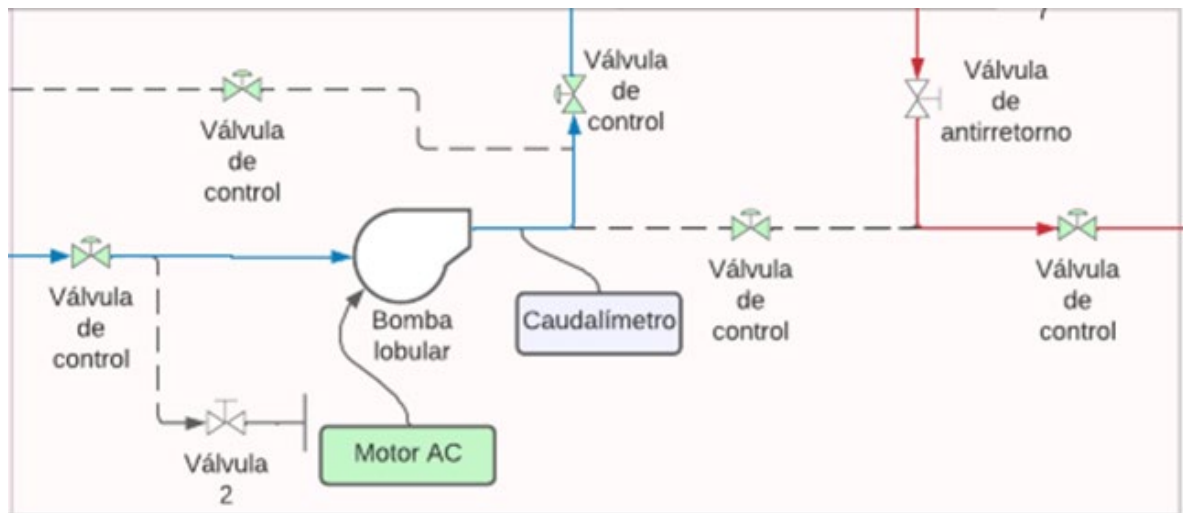


Figura 47. Sistema de Circulación y Bombeo (con instrumentación).

Control a Implementar:

1. Dirección del flujo:

Teniendo en cuenta las necesidades y solicitudes del cliente se establece para el control direccional del flujo, tres circuitos de flujo: circuito para la preparación de fluidos de perforación, circuito sin incorporación de cortes y circuito con incorporación de cortes. Estos bucles de flujo son mostrados a continuación en los siguientes diagramas:

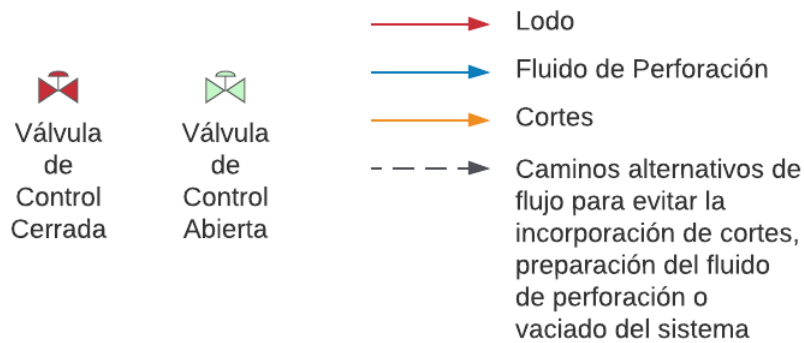


Figura 48. Elementos definidos en el diagrama del circuito de circulación.

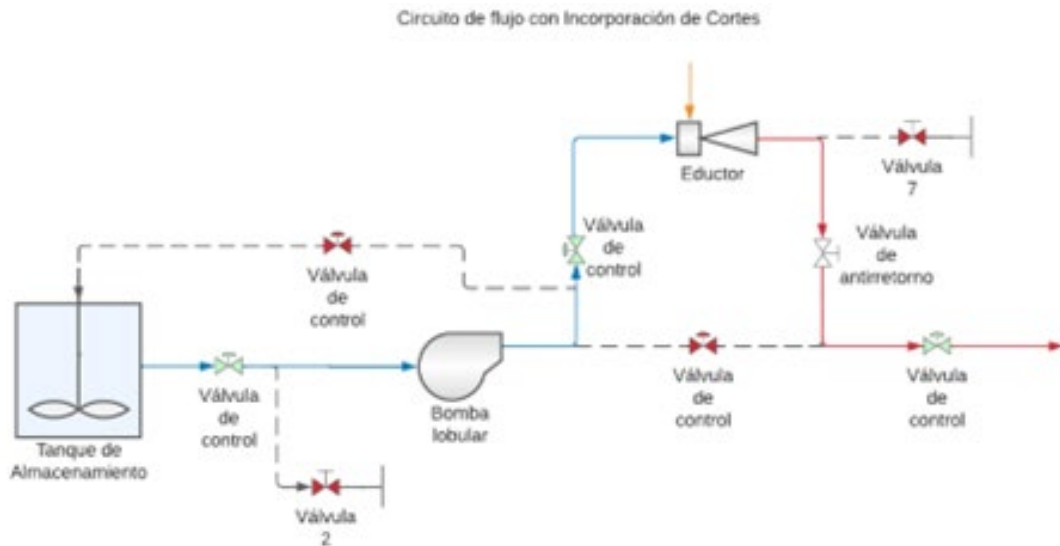


Figura 49. Circuito de circulación del banco de pruebas con incorporación de cortes.

Para poder direccionar el fluido se implementarán una serie de electroválvulas ON-OFF (todo o nada) las cuales se podrán activar de forma remota por el sistema de control (PLC) a través de la interfaz gráfica que estableció.

2. Control de caudal proveniente de la Bomba Lobular:

Se plantea la conexión por protocolo de comunicación entre el sistema de control y el variador de frecuencia Schneider ATV320 correspondiente al motor AC de la bomba lobular.

Se plantea un control a lazo abierto ya que el banco cuenta con una bomba de desplazamiento positivo de la cual es posible predecir con bastante certeza el caudal de salida por medio de las RPM's de entrada y la curva de desempeño del fabricante.

6.5.3 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE MEZCLA DE FLUIDOS

Variables de control:

1. Velocidad de giro de las aspas de mezcla

Control Actual:

1. Velocidad de giro de las aspas de mezcla:

La velocidad de giro del motor AC cuyo eje está acoplado a las aspas del tanque de mezcla, es controlada por medio de un variador de frecuencia Schneider ATV320, este variador tiene la posibilidad de mostrar la velocidad actual de giro del motor por medio del panel LCD.

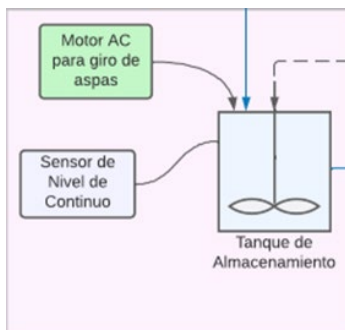


Figura 50. Sistema de Mezcla de Fluidos (con instrumentación).

Control a Implementar:

1. Velocidad de giro de las aspas de mezcla - Lazo abierto:

El control a implementar en este sistema consiste en un lazo abierto, actualmente la selección de la velocidad del motor se realiza mediante un potenciómetro, se plantea que el valor de entrada de la velocidad del motor se proporcione por medio de la HMI. Para esto se implementará el protocolo de comunicación Profinet entre el controlador y el variador de frecuencia.

6.5.4 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE CORTES:

Variables de control:

1. Velocidad de giro del motor vibrador.
2. Ángulo de Inclinación de la zaranda vibratoria.

Control Actual:

1. Velocidad de giro del motor vibrador:

La velocidad de giro del motor AC posicionado en la zaranda vibratoria, es controlada por medio de un variador de frecuencia Schneider ATV320, este variador tiene la posibilidad de mostrar la velocidad actual de giro del motor por medio del panel LCD.

2. Ángulo de Inclinación de la zaranda vibratoria:

La inclinación de este sistema se realiza de forma manual por medio de un tornillo sin fin, el cual se encarga de variar la cantidad de grados de inclinación de la zaranda.

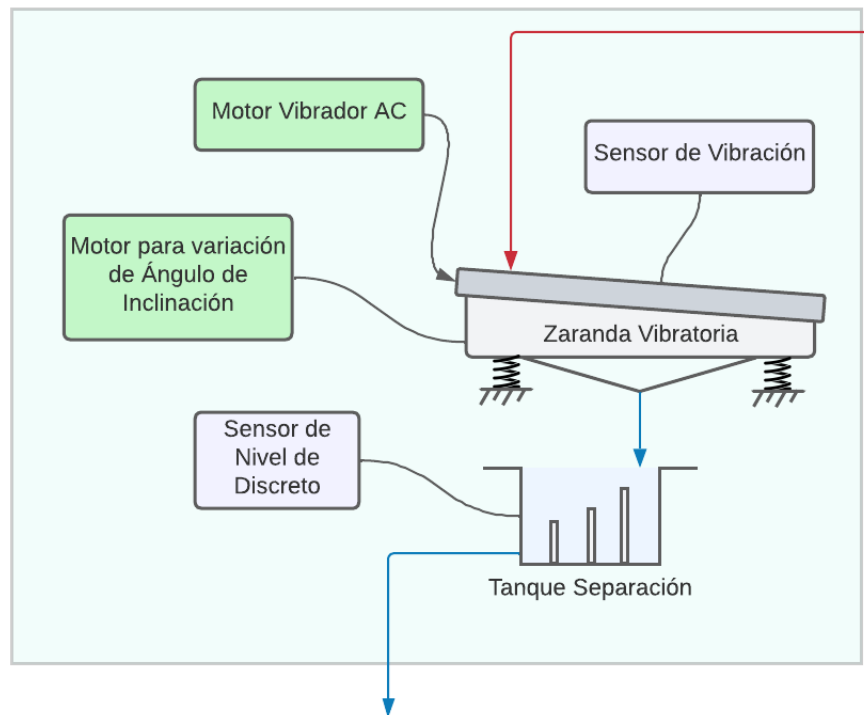


Figura 51. Sistema de Separación de Cortes (con instrumentación).

Control a Implementar:

1. Velocidad de giro del motor vibrador:

Se plantea la conexión por protocolo de comunicación Profinet entre el sistema de control y el variador de frecuencia Schneider ATV320 correspondiente al motor AC vibrador instalado en la zaranda vibratoria para enviar la referencia dada por el operario a través de la HMI hacia el motor vibrador.

2. Ángulo de Inclinación de la zaranda vibratoria:

El control de la inclinación del sistema separador de cortes se plantea realizar mediante la implementación de un actuador de lineal con retroalimentación de posición por medio de un potenciómetro mecánico, el usuario podrá determinar la inclinación mediante el uso de la interfaz HMI.

6.5.5 PROGRAMACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL EN EL PLC

Para la programación del PLC S7-1214C se utilizó el software TIA PORTAL V17 con la licencia STEP 7 Basic, en esta plataforma se lleva a cabo toda la configuración del controlador y su programación. En la realización del programa a ejecutar por el PLC se tuvieron en cuenta los estados y secuencias planteadas en la Guía GEMMA mostrada anteriormente, la cual permite conocer la forma en la que el sistema de control debe reaccionar frente a cualquiera de los estados del banco planteados ya sean de funcionamiento normal, procedimientos de parada o emergencia.

Teniendo esto en mente, se comienza la programación del controlador agregando la referencia del PLC y módulos a utilizar en el entorno de TIA PORTAL, así como la referencia de los variadores de frecuencia, los cuales se comunicarán con el sistema de control por medio de Profinet, por último, se agrega el sistema PC el cual se programará como HMI con la ayuda de la licencia WinCC RT Advanced en el mismo entorno de TIA PORTAL y se conectará también por medio de Profinet. De esta forma, se conforma la red del sistema de control la cual se muestra a continuación:

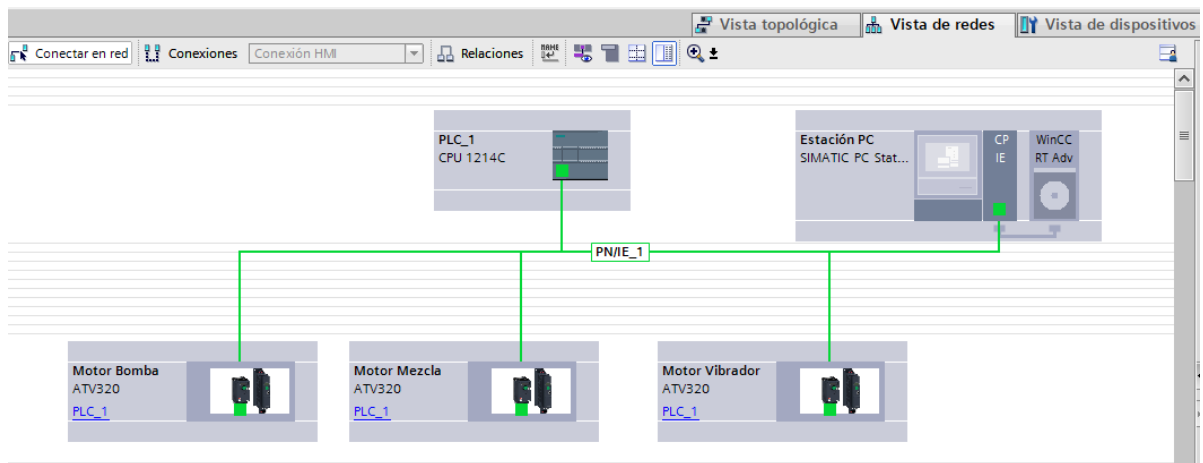


Figura 52. Vista de Red del Sistema de Control en el entorno de TIA PORTAL.

Teniendo la estructura del sistema es posible empezar con la programación de los bloques de organización.

Bloques de Organización (OB):

El programa cuenta con 3 bloques de organización los cuales se encargan de realizar el computo de tareas distintas en el proceso automatizado:

- **Bloque de Organización MAIN (OB1):** Este bloque se encarga de gestionar la recepción y procesamiento de los datos de sensores instalados en el banco. Este procedimiento lo realiza con la ayuda de una Función programada llamada Conversion_Sensor4-20mA (FC1) cuyo contenido se muestra a continuación:

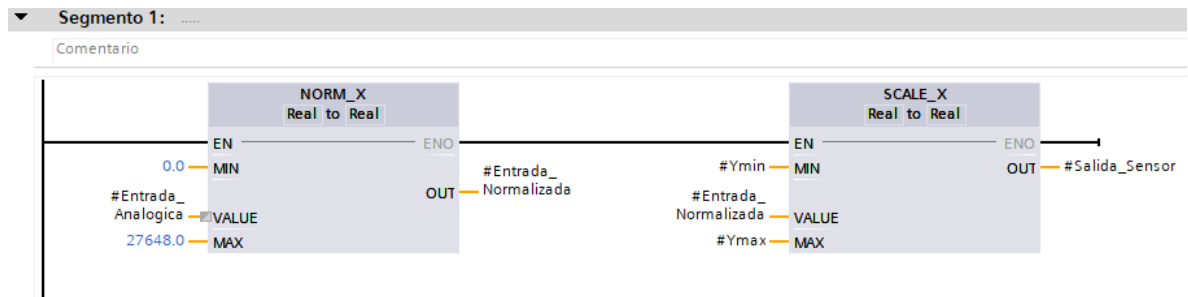


Figura 53. Segmento de código Ladder del Bloque Función (FC1)

Esta función como se puede observar en la imagen anterior se encarga de recibir la señal analógica enviada por el transmisor del sensor normalizándola entre un rango de valores de 0 a 27648 (obtenidos del datasheet del PLC) y posteriormente escalando esta señal normalizada con los valores mínimos y máximos de medición del sensor (obtenidos del datasheet de cada sensor). Teniendo esta función se procede a implementarla en el bloque MAIN con cada uno de los sensores y sus respectivos valores de fábrica como se muestra en la siguiente imagen:

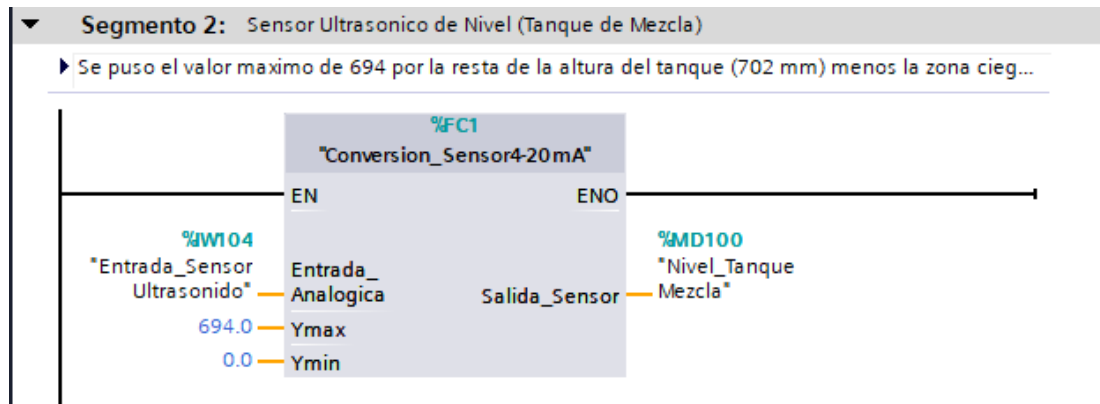


Figura 54. Segmento de código Ladder del Bloque Main (OB1).

- Bloque de Organización ControlVariadores (OB124):** Este bloque se encarga de gestionar la recepción y envío de los datos a cada uno de los variadores, incluyendo instrucciones de parada, arranque y variación de velocidades de cada uno de los motores:

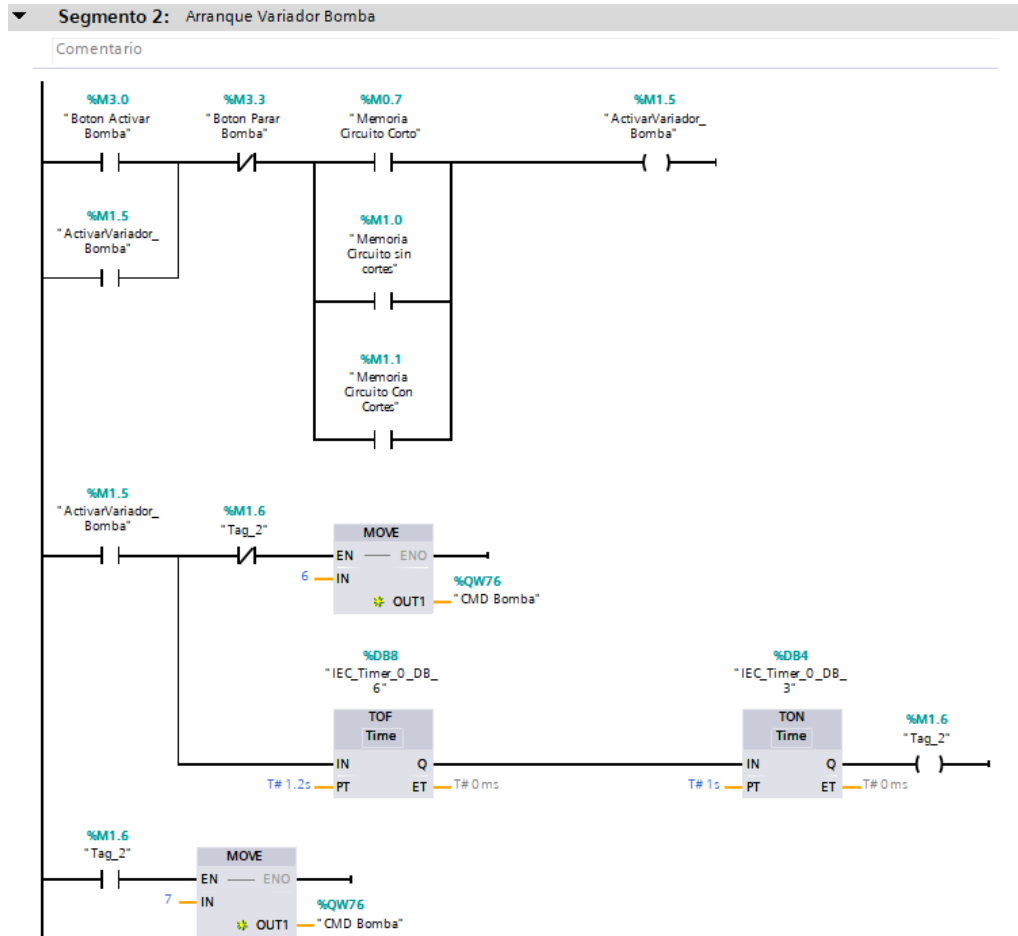


Figura 55. Segmento de código Ladder del Bloque ControlVariadores (OB124) (Arranque Bomba Lobular).

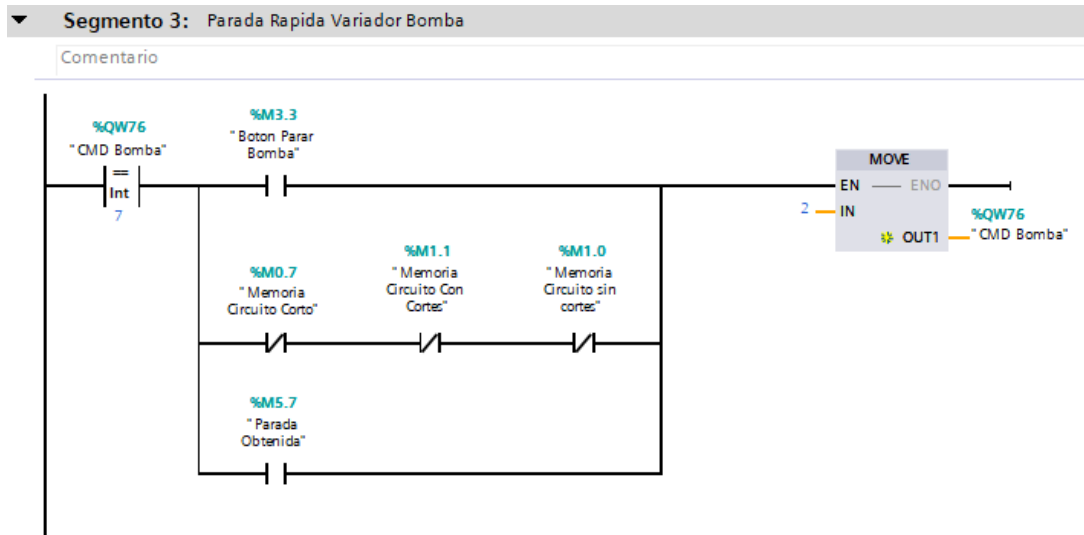


Figura 56. Segmento de código Ladder del Bloque ControlVariadores (OB124) (Parada Rápida Bomba Lobular).

- **Bloque de Organización ElectroValvulas (OB123):** Este bloque se encarga de realizar el control de apertura y cierre de cada una de las electroválvulas considerando los diferentes circuitos de flujo y estado actual de funcionamiento en la Guía GEMMA:

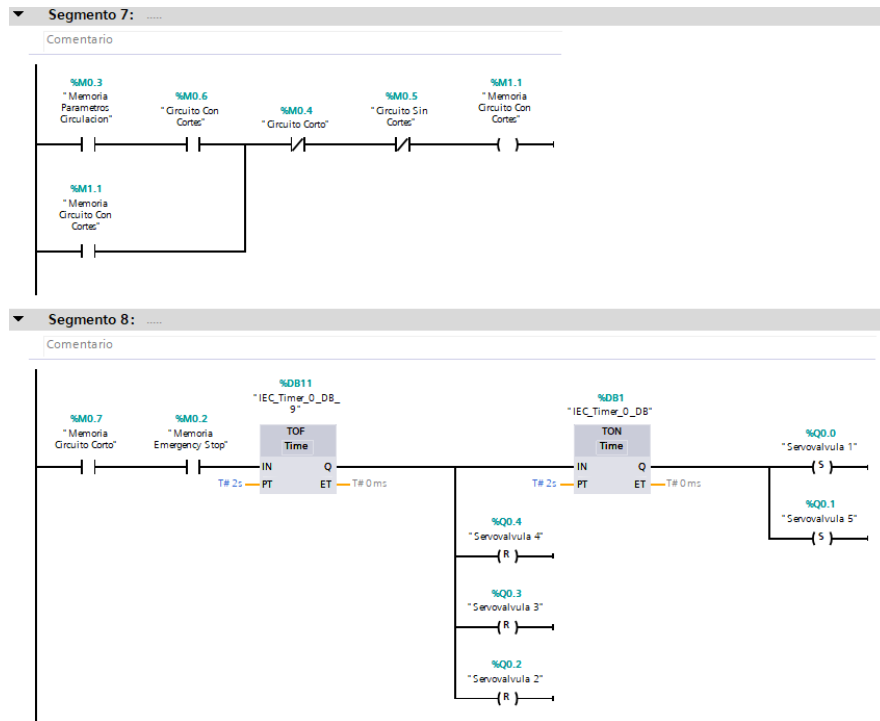


Figura 57. Segmento de código Ladder del Bloque ElectroValvulas (OB123) (Activación del Circuito con Incorporación de Cortes).

Para visualizar más detalles de la programación y variables utilizadas para el control del banco remitirse a la sección de anexos.

6.5.6 PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI)

Como ya se mencionó en el apartado anterior, se utilizó la licencia de WinCC RT Advanced para la programación de la HMI en el sistema PC. Para el diseño de esta interfaz se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas en la norma ANSI/ISA-101.01-2015 (Human Machine Interfaces for Process Automation System) para el diseño de interfaces para el control de procesos, esta norma da unas pautas y normas para tener una interfaz intuitiva y apta para su uso por operadores en el control de procesos.

La HMI cuenta en total con 10 imágenes principales (sin incluir imágenes emergentes o menús deslizables) por las cuales el operario podrá navegar para la manipulación de la diferente instrumentación en el banco de pruebas, estas imágenes son:

- **Inicio:** Contiene la imagen de bienvenida y el formulario para el inicio de sesión.
- **Menú:** Permite al operario elegir entre iniciar el procedimiento para preparación de fluido o ir a la vista general del proceso.
- **Preparación de Fluido:** Contiene los controles de la instrumentación necesaria para la preparación del líquido de perforación.
- **Vista General:** Presenta la Vista General del sistema con sus pulsadores virtuales para habilitación y deshabilitación general del banco de pruebas.
- **Sistema Anular:** Contiene los controles de la instrumentación necesaria para la manipulación de la velocidad de giro de la sarta y ángulo del Sistema Anular.
- **Sistema de Separación de Cortes:** Contiene los controles de la instrumentación necesaria para la manipulación de la intensidad de vibración y ángulo de inclinación de la zaranda vibratoria.
- **Sistema de Mezcla de Fluidos:** Contiene los controles de la instrumentación necesaria para la manipulación de velocidad de giro de las aspas de mezcla y medición de nivel actual del tanque de almacenamiento.
- **Sistema de Circulación:** Contiene los controles de la instrumentación necesaria para la selección del circuito de flujo requerido: circuito corto, circuito sin incorporación de cortes o circuito con incorporación de cortes.

- **Visualización de Datos:** Permite al operario visualizar en gráficas de tiempo real, los valores de las variables medidas por los sensores instalados en el banco.
- **Calibración:** Permite al ingeniero de mantenimiento realizar un ajuste en los rangos de los sensores programados, esto en caso del reemplazo de algún sensor con nuevos parámetros y rangos de funcionamiento permitiendo su adaptación sin necesidad de reprogramar el PLC desde TIA PORTAL.

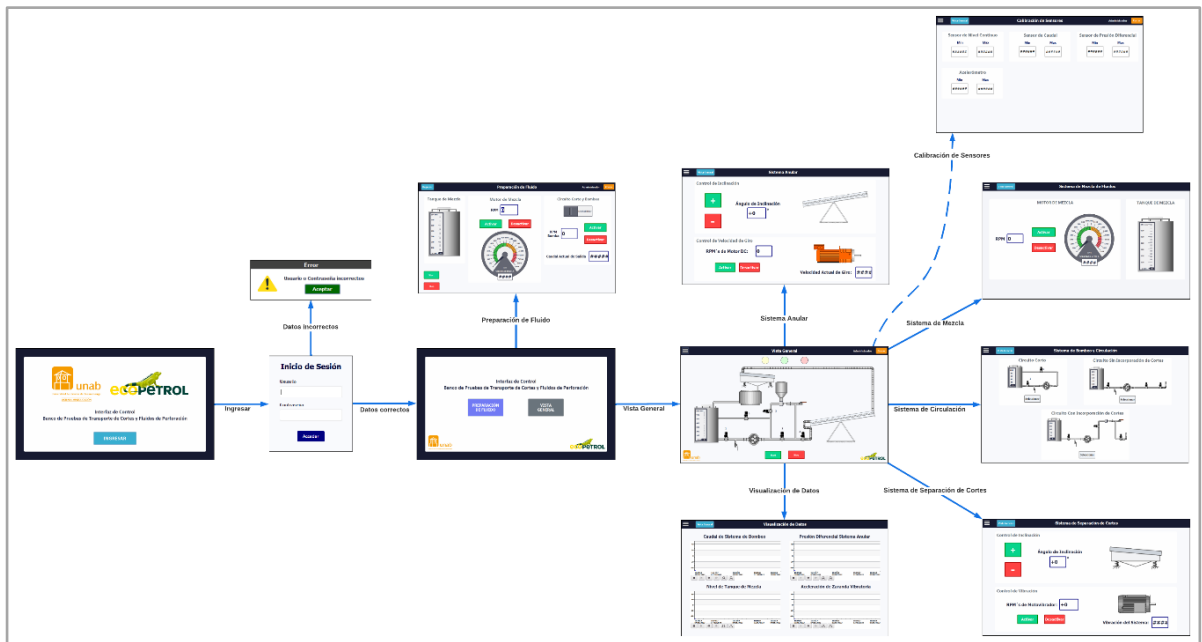


Figura 58. Diagrama de Navegación de la HMI.

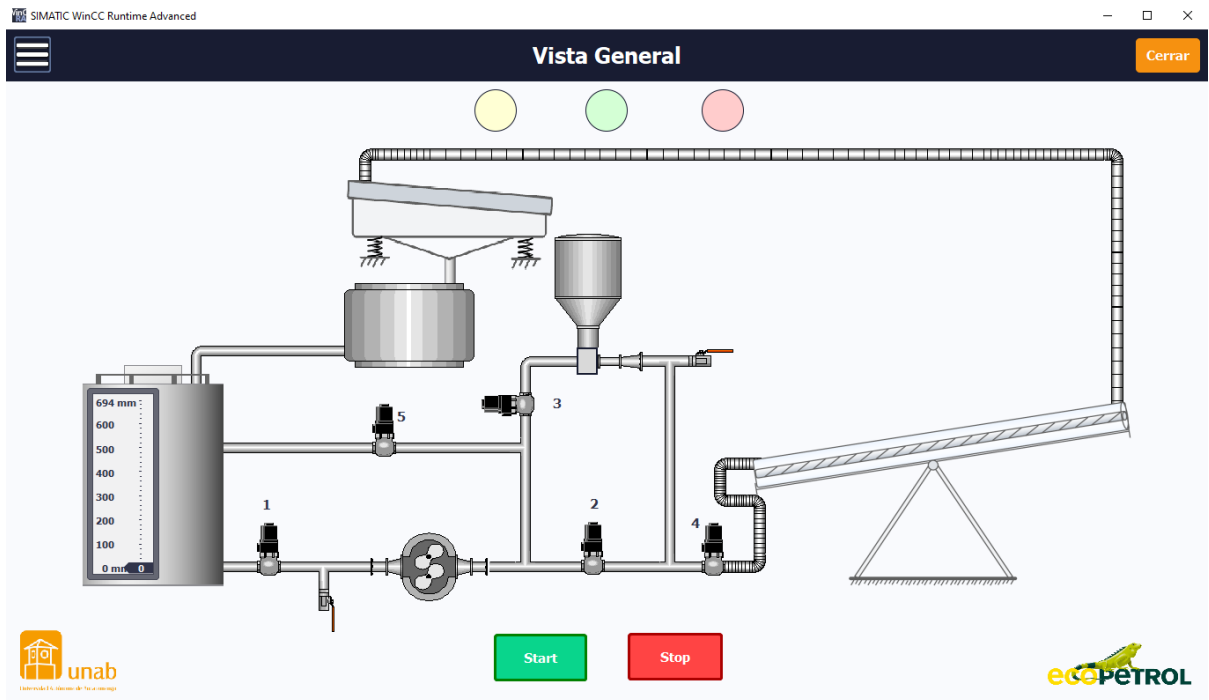


Figura 59. Vista General del Proceso en la HMI en WinCC RT Advanced.

Además, se implementó un inicio de sesión para mayor seguridad en el personal que opera el banco de pruebas, se consideraron 4 roles principales con los cuales acceder a la interfaz, estos son: Supervisor, Operario, Mantenimiento y Administrador. Cada uno de estos últimos con sus respectivos permisos:

- **Supervisor:** Este rol es capaz de visualizar datos y funcionamiento del banco sin manipular ningún actuador o parámetro de funcionamiento.
- **Operario:** Tiene los mismos permisos del supervisor con la excepción de que puede operar el funcionamiento del banco y cada uno de sus subsistemas mas no puede realizar la calibración de los sensores.
- **Mantenimiento:** Solo se le tiene permitido realizar la calibración de los sensores del banco.
- **Administrador:** Tiene acceso total al sistema de control y los permisos de los roles mencionados anteriormente.



Figura 60. Vista de Inicio - HMI

6.6 SIMULACIÓN Y PRUEBAS

Para la simulación de la programación del PLC, la HMI y la interacción entre ellos se utilizaron las herramientas PLCSIM y WinCC RT Advanced. Para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema de control se comenzó con la revisión de la imagen de inicio de la HMI y el Login de usuarios verificando que el sistema permitiera ingreso al entorno de control solo a los usuarios permitidos y registrados.



Figura 61. Respuesta de la HMI ante un ingreso incorrecto de datos.

Ya estando en la vista general del proceso habiendo ingresado con el usuario de Administrador, se procedió a habilitar el banco con el botón Start ubicado en la parte inferior de la interfaz, esta acción nos permite entrar al estado de funcionamiento normal y poder accionar cada uno de los instrumentos del banco. Al realizar esta acción la luz indicadora verde ubicada en la parte superior de la vista se encenderá indicando que el sistema está listo para recibir y ejecutar instrucciones.

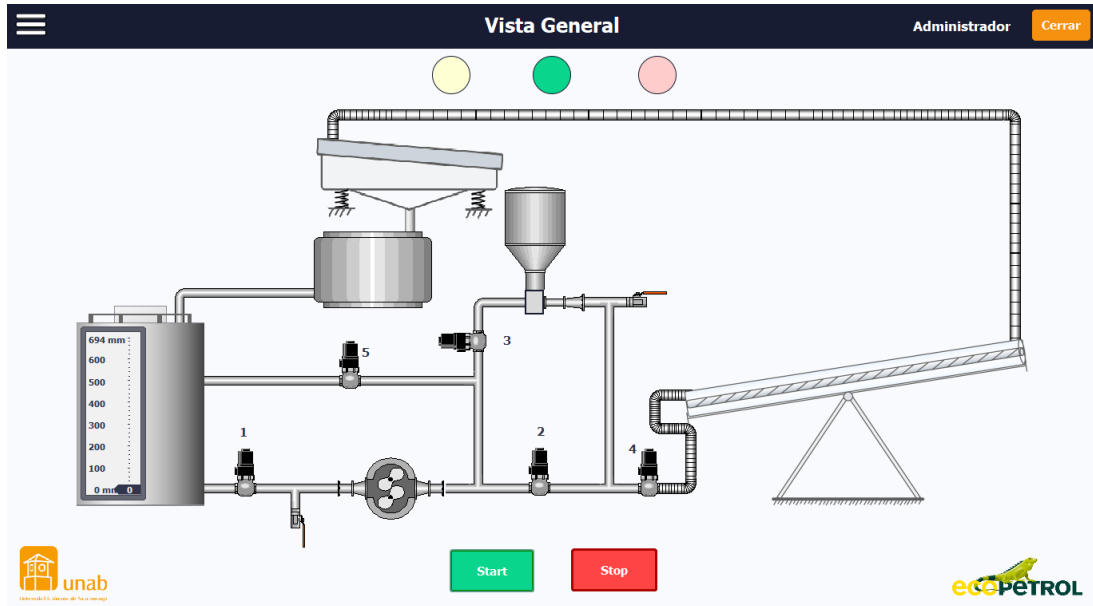


Figura 62. Vista general del proceso en la HMI (Banco habilitado para funcionamiento normal).

Habiendo habilitado el banco se procede a abrir la imagen Sistema de Circulación y Bombeo para luego seleccionar el circuito de circulación de fluido requerido, al seleccionar el circuito las electroválvulas pertenecientes a este se iluminarán, así como las tuberías por las cuales circulará el fluido de perforación. Para esta prueba, se seleccionó el Circuito con Incorporación de Cortes el cual contiene el eductor para la introducción de las partículas en el sistema. Cabe recordar que el sistema de control no permitirá el encendido del sistema de bombeo si no hay algún circuito de flujo seleccionado, esto para evitar sobrepresiones e incidentes en el funcionamiento del banco.

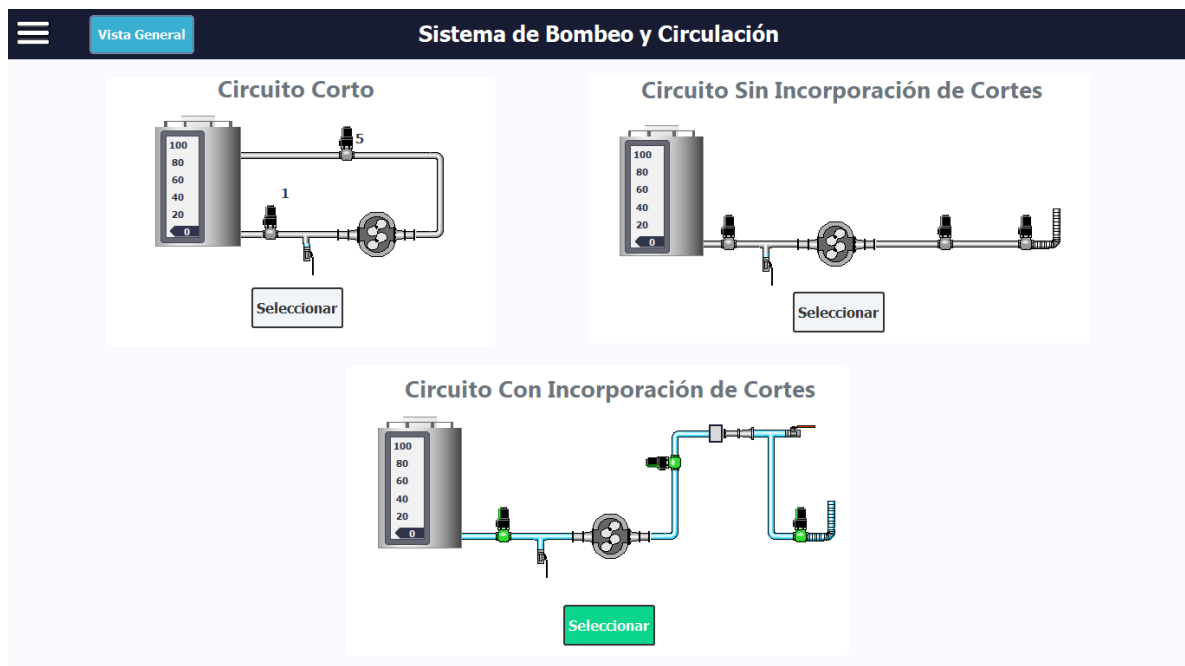


Figura 63. Vista del Sistema de Circulación y Bombeo en la HMI (Circuito con Incorporación de Cortes seleccionado).

Posteriormente, se ingresaron valores de RPM deseadas para cada motor AC presente en los diferentes subsistemas (motor de la bomba lobular, motor de mezcla y motor vibrador) y se activaron sus correspondientes variadores, verificando que el PLC estuviera enviando el dato entero "7" en la salida CMD la cual se encarga de gestionar el arranque y parada del motor y el valor de RPM's deseado en la salida LFRD a cada variador, en este caso, según el fabricante al enviar el dato "7" por medio de la comunicación Profinet, el variador se activará accionando el motor AC.

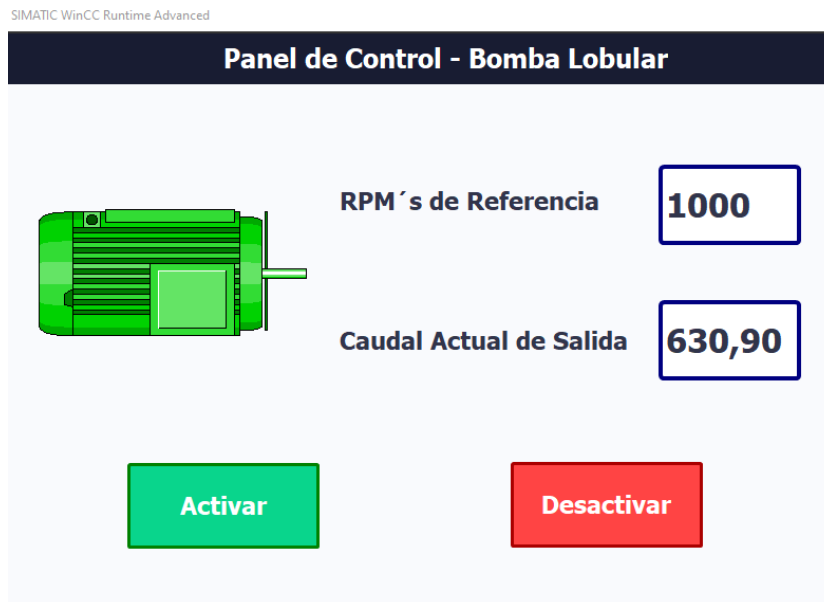


Figura 64. Vista de Panel de Control de Bomba Lobular en la HMI

Project Edit Execute Options Tools Window Help

Totally Integrated Automation S7-PLCSIM V17

SIM table_1

Name	Address	Display format	Monitor/Modify value	Bits	Consistent ...
*Entrada_Sensor...	%IW106...	DEC+/-	7196		0
*Entrada_Sensor...	%IW108...	DEC+/-	5303		0
*Entrada_Acelero...	%IW110...	DEC+/-	4545		0
*Boton Emergen...	%IO.2:P	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
*Boton Modificar...	%IO.3:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
*Boton Terminar...	%IO.4:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
*Boton Modificar...	%IO.5:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
*Boton Encender...	%IO.6:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
*Boton Apagar M...	%IO.7:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
*Entrada_Sensor...	%I1.0:P	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
*HSC_Velocidad5...	%ID100...	Hex	16#0000_0000		16#0000_0...
CMD Bomba	%QW76	DEC+/-	7		0
LFRD Bomba	%QW78	DEC+/-	1000		0
CMD Mezcla	%QW88	DEC+/-	7		0
LFRD Mezcla	%QW90	DEC+/-	700		0
CMD Vibrador	%QW100	DEC+/-	7		0
LFRD Vibrador	%QW102	DEC+/-	450		0
Servovalvula 1	%Q0.0	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
Servovalvula 5	%Q0.1	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
Servovalvula 2	%Q0.2	Bool	FALSE		<input type="checkbox"/> FALSE
Servovalvula 3	%Q0.3	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE
Servovalvula 4	%Q0.4	Bool	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/> FALSE

Figura 65. Tabla de variables simuladas en PLCSIM (Variables para envío de comandos a variadores resaltadas).

Al retornar a la vista principal, los cambios realizados en los subsistemas independientes se podrán visualizar en esa vista como se muestra a continuación:

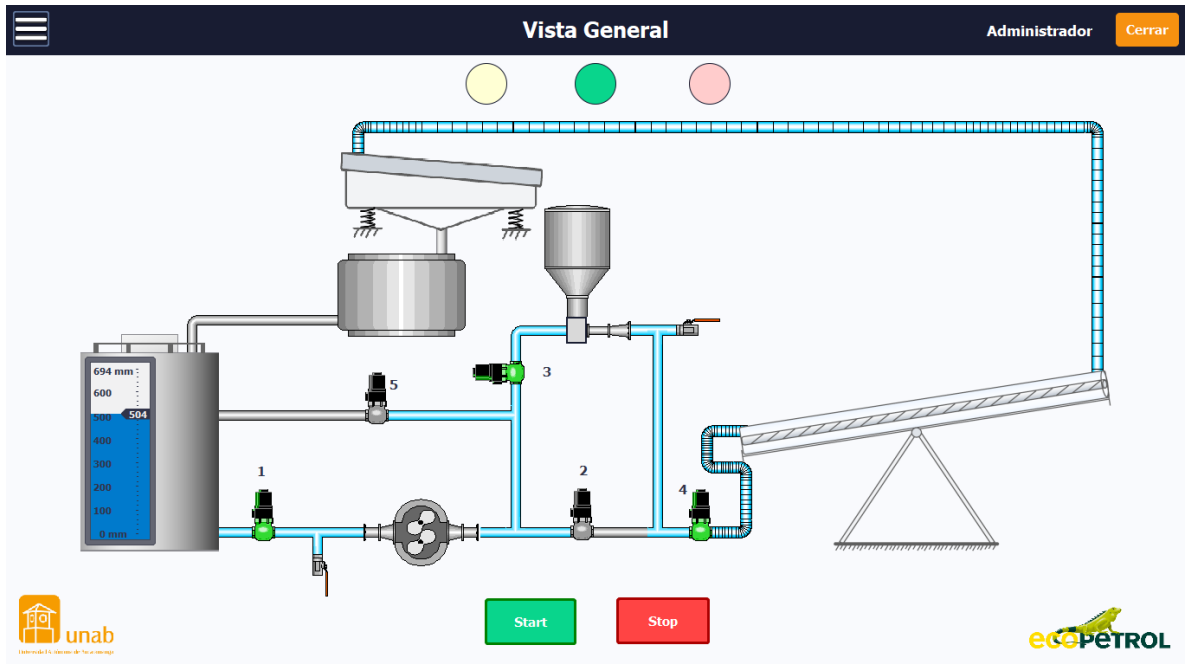


Figura 66. Vista General del Banco en Funcionamiento.

Por otro lado, se realizó la variación en las entradas de los sensores y se comprobó la correcta visualización en los diferentes indicadores de los subsistemas y la correcta graficación de las variables del banco en la vista de Visualización de Datos donde el operario puede observar el comportamiento de las variables importantes del banco en el tiempo y manipular cada gráfica aumentando o disminuyendo su tamaño y retrocediendo o avanzando en el tiempo.

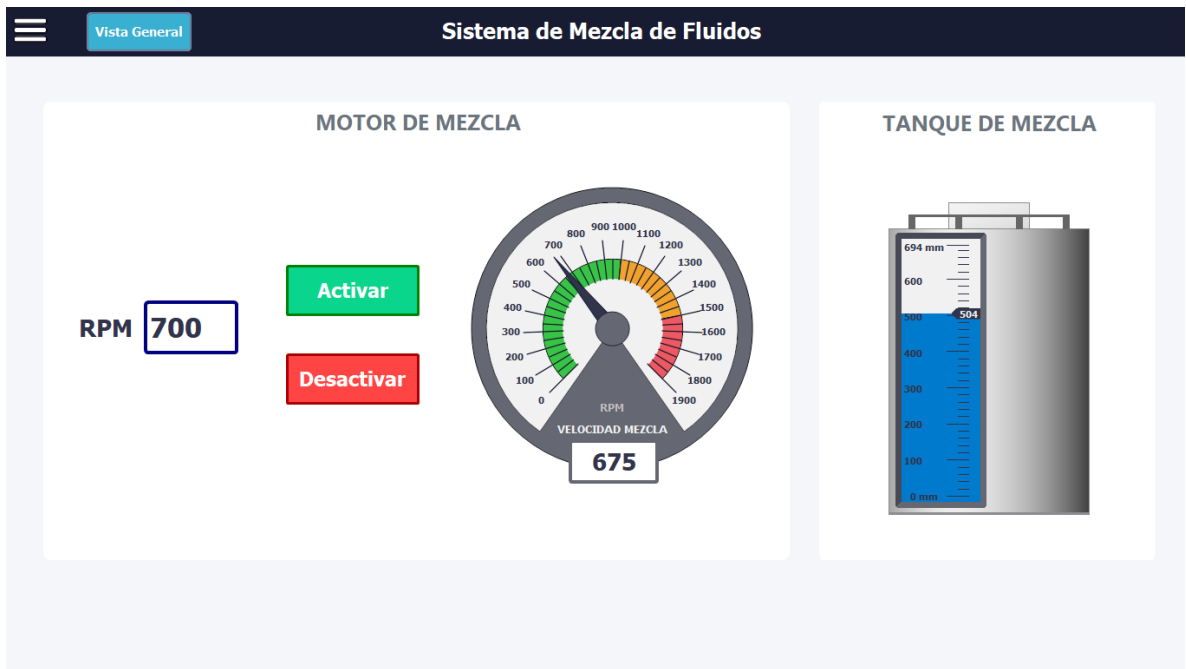


Figura 67. Vista del Sistema de Mezcla de Fluidos.

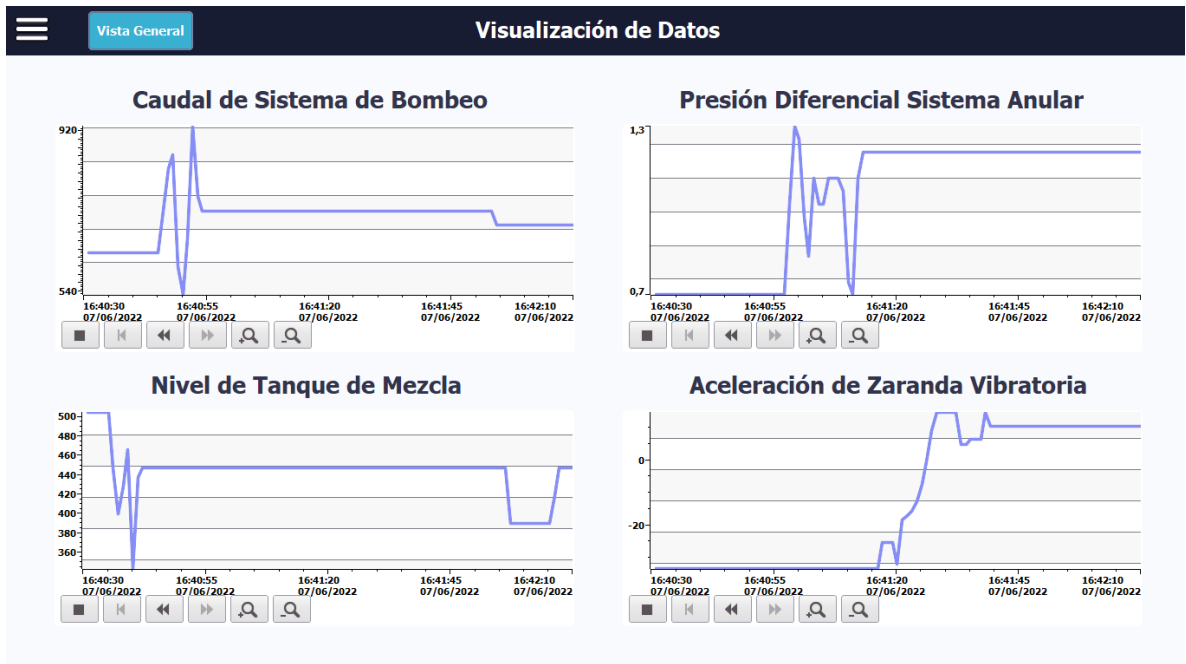


Figura 68. Vista de Visualización de Datos.

Por último, se realizó la prueba de detener el funcionamiento del sistema con el botón de Stop presente en la Vista General del banco, esta acción detiene los motores AC y DC, en el caso de los motores AC, se realiza enviando el valor entero “2” en las variables CMD correspondiente a cada motor. Para este estado en específico no se apagan las electroválvulas, sino que se mantienen en estado activo. Finalmente, la luz roja se enciende indicando que el banco actualmente está en estado de Parada Obtenida según la Guía GEMMA.

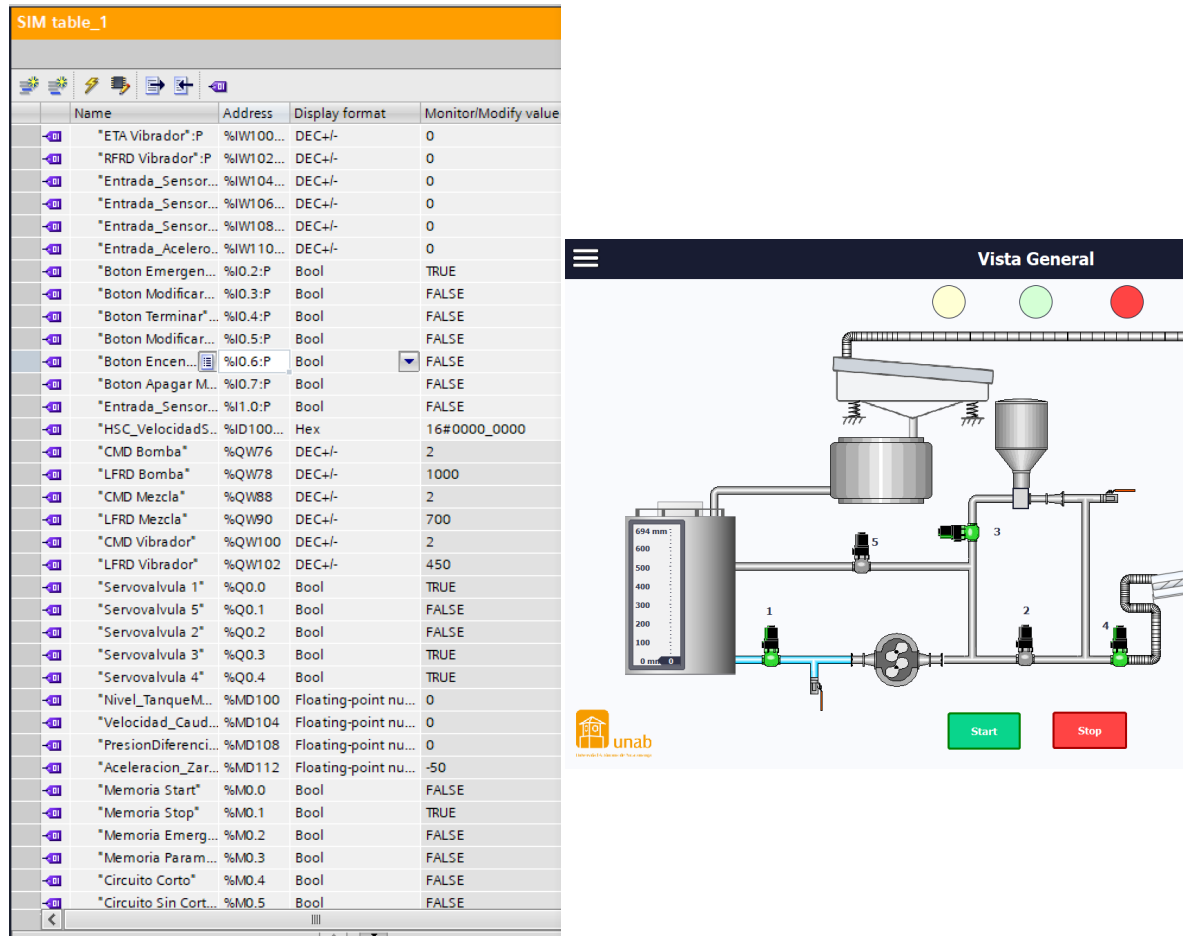


Figura 69. Tabla de Variables y Vista General luego de presionar el botón Stop.

6.7 DISEÑO DE PLANOS PARA CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

Una vez que se ha realizado la selección de la instrumentación, se ha dimensionado el sistema de control y se ha definido los requerimientos de la interfaz se procede a diseñar los planos de conexión de los instrumentos, los planos de disposición y los planos del tablero de control.

En la tabla 5 se detallan los títulos de los planos y se realiza una breve descripción de su contenido.

Diagrama P&ID del banco de transporte de fluidos.

En el plano PLAN-DIAGRAM-P&ID-BANCO se detalla dónde se coloca cada uno de los instrumentos, las conexiones eléctricas, neumáticas, tuberías y válvulas de la planta principal cada uno con identificación correspondiente con la norma ISA 5.1 según la Tabla 3.

Conexiones módulo AI al sensor de presión Diferencial.

En el esquema PLN-CONX-SEN-PRED detallan las conexiones de las señales correspondientes al módulo de entradas análogas del PLC al sensor de presión Diferencial.

Conexiones PLC al sensor de nivel discreto.

En el esquema PLN-CONX-SEN-NIV-DIS se detallan las conexiones de las señales correspondientes a la conexión del sensor discreto de nivel del tanque de retorno a las entradas digitales del PLC.

Conexiones módulo AI al sensor de nivel continuo.

En el esquema PLN-CONX-SEN-NIV-CONT se detallan las conexiones de las señales correspondientes al módulo de entradas análogas al sensor de nivel continuo.

Conexiones módulo AI al sensor de aceleración.

En el esquema PLN-CONX-SEN-ACLT se detallan las conexiones de las señales correspondientes al módulo de entradas analógicas al sensor de aceleración del sistema de separación de cortes.

Conexiones módulo AI al sensor de caudal ultrasónico.

En el esquema PLN-CONX-SEN-CADL se detallan las conexiones de las señales correspondientes al módulo de entradas analógicas al sensor de caudal ultrasónico.

Conexiones PLC al actuador lineal con retroalimentación de posición.

En el esquema PLN-CONX-ACT-LNI se detallan las conexiones de las señales correspondientes a la conexión del PLC al actuador lineal del sistema de separación de cortes.

Conexiones PLC a las electroválvulas del sistema de circulación.

En el esquema PLN-CONX-ELCT-VALS se detallan las conexiones de las señales correspondientes a la conexión del módulo de entradas analógicas a las electroválvulas del sistema de circulación.

N°	Título	Descripción
1	PLN-DIAGRAM-P&ID-BANCO	Diagrama P&ID del banco de transporte de fluidos.
2	PLN-CONX-SEN-PRED	Conexiones módulo AI al sensor de presión diferencial
3	PLN-CONX-SEN-NIV-DIS	Conexiones PLC al sensor de nivel discreto
4	PLN-CONX-SEN-NIV-CONT	Conexiones módulo AI al sensor de nivel continuo
5	PLN-CONX-SEN-ACLT	Conexiones módulo AI al sensor de aceleración
6	PLN-CONX-SEN-CADL	Conexiones módulo AI al sensor de caudal ultrasónico
7	PLN-CONX-ACT-LNI	Conexiones PLC al actuador lineal con retroalimentación de posición.
8	PLN-CONX-ELCT-VALS	Conexiones PLC a las electroválvulas del sistema de circulación.

Tabla 13. Lista de Planos de Ingeniería de Detalle

A continuación, se adjuntan los planos del sensor de nivel continuo, el sensor acelerómetro y el actuador lineal, para detallar los planos restantes establecidos en la tabla anterior por favor dirijase al anexo D. planos de conexión de instrumentación.

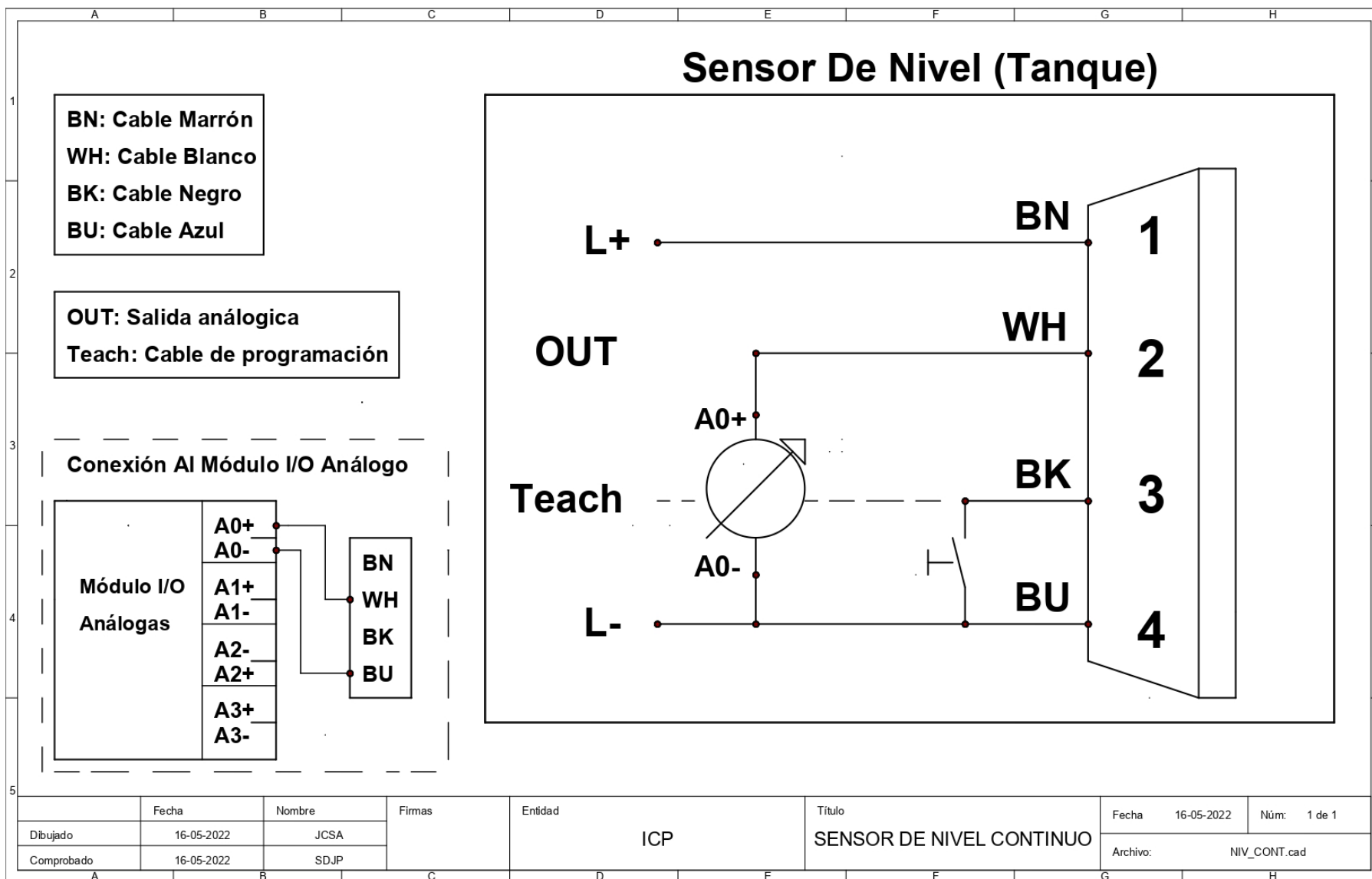


Figura 7070. Plano de Conexiones de Sensor de Nivel Continuo para el Tanque de Mezcla.

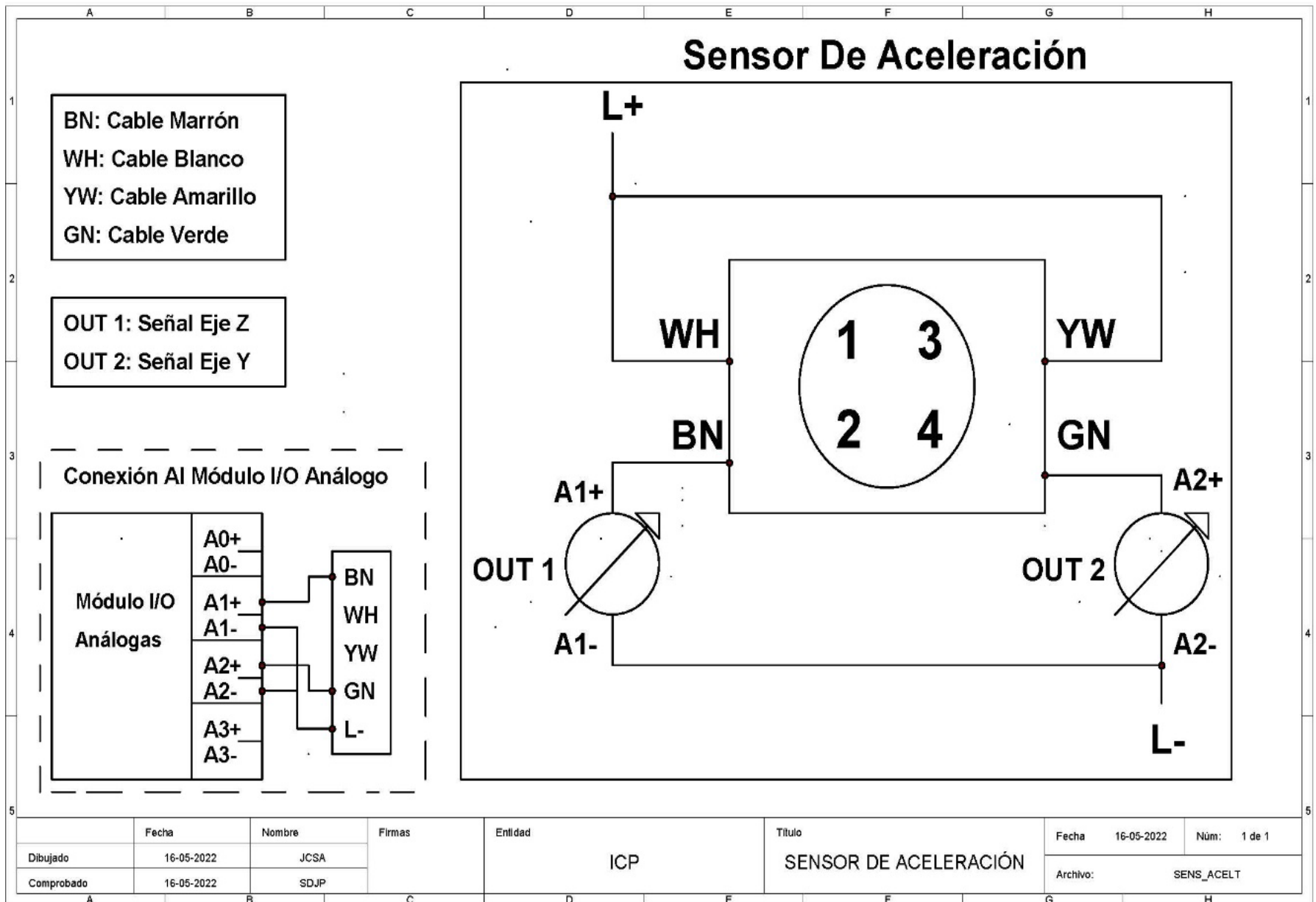


Figura 71. Plano de Conexiones para Sensor de Aceleración para Zaranda Vibratoria.

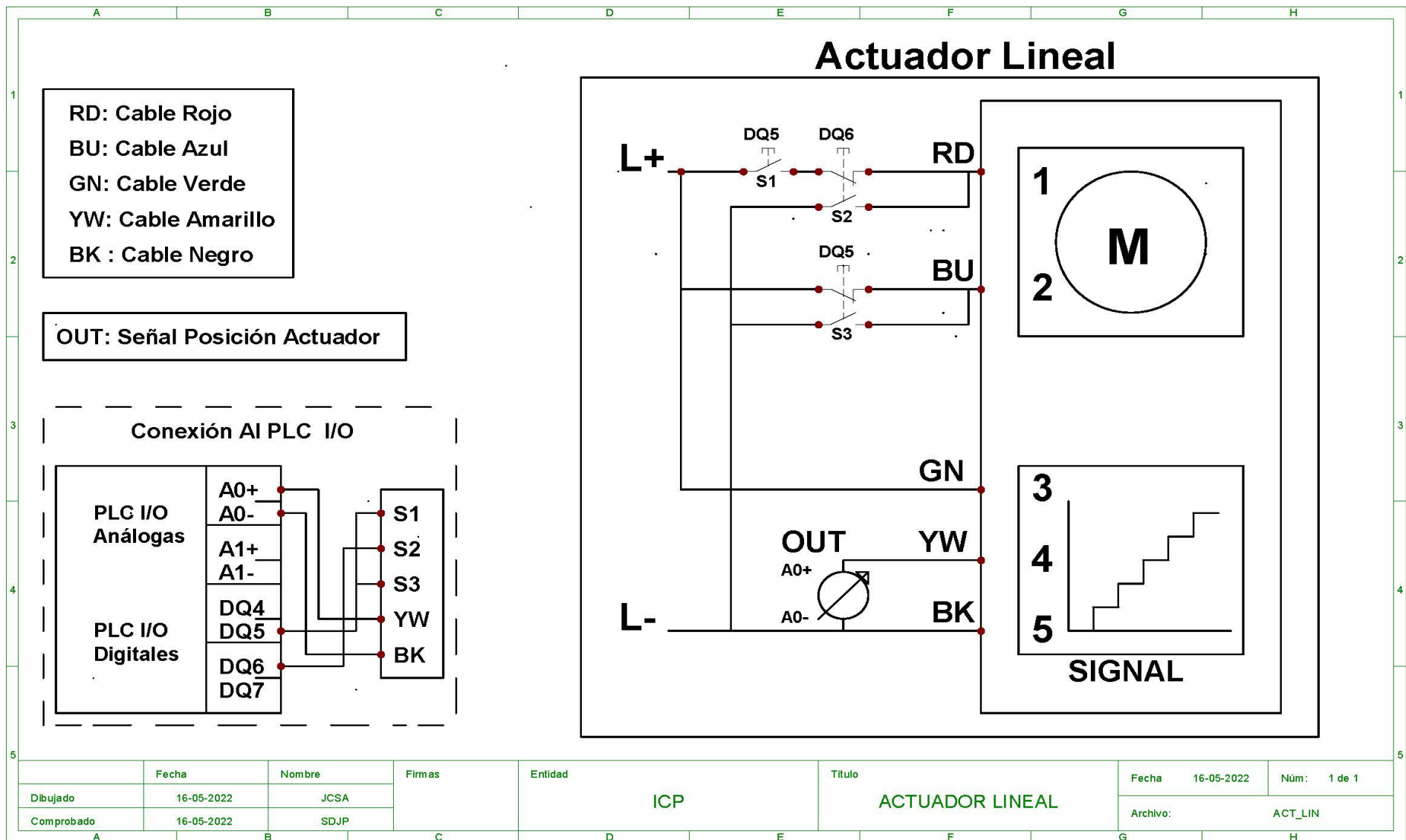


Figura 72. Plano de Conexiones de Actuador Lineal para Zaranda Vibratoria.

6.8 PRESUPUESTO

Una vez realizada la ingeniería de detalle concerniente a equipos, conexiones de fuerza, conexiones de control, conexiones neumáticas y montaje, se determinó el presupuesto o costo total que tendrá el proyecto. Para esto se pidió cotizaciones a los proveedores de estos equipos y no se consideró los que ya se dispone el banco.

N°	Instrumentos	Sistema	Precio Unitario
1	Pulsador con Enclavamiento Parada de Emergencia (NC)	Sistema de Control	---
1	Sensor de Nivel Discreto	Sistema Separación de Cortes	72.816,39 COP
6	Electroválvula NC	Sistema de Circulación y Bombeo	1.198.000 COP
1	Luces Piloto Roja (24V)	Sistema de Control	8.090,71 COP
1	Luces Piloto Amarilla (24V)	Sistema de Control	8.090,71 COP
1	Luces Piloto Verde (24V)	Sistema de Control	8.090,71 COP
1	Sensor de Nivel Continuo Ultrasónico	Sistema de Mezcla de Fluidos	812.104,98 COP
1	Caudalímetro	Sistema de Circulación y Bombeo	6.984.503,16 COP
1	Sensor de Presión Diferencial	Sistema Anular	1.527.687,80 COP
1	Acelerómetro	Sistema Separación de Cortes	1.998.405,29 COP
1	Driver Motor Servomotor	Sistema Anular	6.997.215 COP
1	Servomotor	Sistema Anular	7.404.837 COP
1	Actuador Lineal	Sistema de Separación de Cortes	767.752 COP
1	Fuente DC	Gabinete	578.000,00 COP
1	PLC	Sistema de Control	2.706.000,00 COP
2	Módulo de Entradas y Salidas Analógicas	Sistema de Control	2.301.000,00 COP
1	Licencia para programación de PLC	Sistema de Control	1.377.832,00 COP

1	Licencia para programación de HMI	Sistema de Control	4.560.248,00 COP
1	Switch	Gabinete	1.049.400,00 COP
3	Módulo Ethernet para Variadores ATV320	Variadores de Frecuencia	711.283,00 COP
1	Eductor	Sistema de Incorporación de Cortes	4.456.974,75 COP
6	Relés de Interfaz Bornera	Gabinete	44.744,00 COP
1	Cable de Potencia Servomotor	---	339.376,00 COP
1	Cable de Encoder Servomotor	---	301.530,00 COP
1	Cable de Frenado Servomotor	---	196.057,00 COP
1	Cable Profinet Servodrive	---	210.947,00 COP

N°	Instrumentos <i>Opcionales</i>	Sistema	Precio Unitario
1	Medidor de flujo másico	Sistema Anular	85.277.615,51 COP

Total sin medidor de flujo másico:	56.558.272 COP
Total con medidor de flujo másico:	141.835.887 COP

Tabla 14. Presupuesto Total del Proyecto

CONCLUSIONES

- La ingeniería de detalle del banco de transporte de fluidos y cortes de perforación para el ICP y la realización del presupuesto para la adquisición de los instrumentos necesarios para la automatización permitirá analizar posterior a su implementación la optimización en el desempeño del banco y la mejoría en la calidad de las pruebas que se realicen esto a su vez impactará en la optimización del trabajo del operador y disminución de los potenciales riesgos laborales.
- Al utilizar herramientas de simulación de procesos en la creación de soluciones, se obtienen valoraciones más informadas y precisas de los prototipos diseñados o planteados, posibilitando la visualización de cómo será su comportamiento en la realidad con la particularidad de no tener costos de manufactura y dando total flexibilidad al momento de querer realizar modificaciones en el diseño o en las condiciones de simulación.
- En la investigación y selección de la instrumentación a implementar en un proceso, se deben considerar factores como: comprender en su totalidad el proceso que se va a automatizar, el rango de presupuesto con el que se cuenta para la automatización y la priorización de las necesidades del cliente. Además, se recomienda utilizar herramientas para la toma de decisiones como en este caso las matrices QFD, ya que estas permiten analizar las opciones disponibles de una forma racional y lógica sin prejuicios o inclinaciones personales, dando finalmente como resultado una elección con una buena relación costo-beneficio.
- Hacer uso de estándares y normativas internacionales para la automatización de procesos tales como la norma ANSI o ISA, permite el diseño de sistemas de control aptos, optimizados y seguros para su uso en el campo industrial, además de contribuir también a la etapa de diseño de documentación y planos de instrumentación. Adicionalmente, la implementación de estos estándares trae como ventaja que cualquier persona conocedora de estas normas puede navegar y entender más fácilmente toda la información referente a la automatización del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CALDERÓN RINCÓN, Ferney Mauricio. Informe final de documentación de las evidencias de las pruebas de funcionamiento del prototipo de flujo de cavings en el ICP y creación del manual de operación del equipo. Piedecuesta, 2020. Informe de Documentación. Instituto Colombiano de Petróleos. Documento restringido.
- [2] Sayindla, S., Lund, B., Ytrehus, J., & Saasen, A. (2017). Hole-cleaning performance comparison of oil-based and water-based drilling fluids. *Journal Of Petroleum Science And Engineering*, 159, 49-57. doi: 10.1016/j.petrol.2017.08.069
- [3] Rodriguez Corredor, F., Bizhani, M., & Kuru, E. (2016). Experimental investigation of cuttings bed erosion in horizontal wells using water and drag reducing fluids. *Journal Of Petroleum Science And Engineering*, 147, 129-142. doi: 10.1016/j.petrol.2016.05.013
- [4] Kamyab, M., Rasouli, V., Cavanough, G., & Mandal, S. Design of a slurry loop for cuttings transport studies in hard rock drilling applications. Department of Petroleum Engineering, Curtin University. 2012. En línea. [Consultado: 6 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/27441/191956_9395_2_WMC_2013__flow_loop.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [5] BEHNAM AMANNA, Mohammad RezaKhorsand Movaghar. Cuttings transport behavior in directional drilling using computational fluid dynamics (CFD). 2016. En línea. [Consultado: 6 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875510016304875>
- [6] CASTILLO CASTRO, Daniel Sebastián. Propuesta de Revisión del RAOHE que considere tecnologías de fracturamiento hidráulico, reinyección de recortes y revisión de límites permisibles en el manejo de descargas líquidas. Quito, 2018, 71p. Trabajo de grado de Ingeniería de Petróleos. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos.
- [7] Lizarazo Sarmiento, J., & Leal Becerra, C. (2011). Estudio para la implementación de reinyección de cortes durante la perforación de pozos. En línea. [Consultado: 5 de agosto de 2021]. Disponible en: <<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/141097.pdf>>

[8] FLUIDOS DE PERFORACIÓN [Anónimo]. Fluidos para perforación, minerales industriales, lubricantes Petro Canada :: PTC S.A.C. [página web]. [Consultado el 5, Agosto, 2021]. Disponible en Internet: <https://www.ptcsac.com/categoria.php?id_categoria=15#:~:text=El%20fluido%20de%20perforación%20o,con%20determinado%20porcentaje%20de%20sólidos.>.

[9] energyAPI. Manual de Fluidos de Perforación. Dallas, Texas. 2001

[10] PETRÓLEO [Anónimo]. Tecnología Industrial 1 [página web]. [Consultado el 5, agosto, 2021]. Disponible en Internet: <<http://mariotecno.weebly.com/petroacuteteleo.html>>.

[11] YPF. Métodos de perforación y extracción de hidrocarburos [video]. YouTube. (13, junio, 2016). [Consultado el 5, agosto, 2021]. 05:14 min. Disponible en Internet: <<https://www.youtube.com/watch?v=JdVLhFUovOA>>.

[12] EL PETROLEO [Anónimo]. Proyecco Ancón - Campos petroleros [página web]. [Consultado el 6, agosto, 2021]. Disponible en Internet: <<http://www.proyectoancon.espol.edu.ec/petroleo.htm>>.

[13] UPSTREAM [Anónimo]. ECN Automation [página web]. [Consultado el 7, agosto, 2021]. Disponible en Internet: <<https://ecnautomation.com/index.php?mod=upstream#:~:text=Sarta%20de%20perforación%20La%20sarta,que%20está%20en%20la%20superficie.>>.

[14] DISEÑO DE SARTA DE PERFORACIÓN... CETEPI [Anónimo]. SlideShare [página web]. [Consultado el 7, agosto, 2021]. Disponible en Internet: <<https://es.slideshare.net/grupocetepicetepi/diseo-de-sarta-de-perforacin-cetepi>>.

[15] COLABORADORES DE LOS PROYECTOS WIKIMEDIA. Controlador lógico programable - Wikipedia, la enciclopedia libre. Wikipedia, la enciclopedia libre [página web]. (2, mayo, 2004). [Consultado el 17, septiembre, 2021]. Disponible en Internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_lógico_programable>.

[16] ANALIZAS LAS Características y Estructura de los PLC - 2013-1036-6pppppp-Eq4 [Anónimo]. Google Sites: Sign-in [página web]. [Consultado el 23, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://sites.google.com/site/20131036eq4/analizas-las-caracteristicas-y-estructura-de-los-plc>>.

[17] CONTROLADORES PROGRAMABLES (página 2) [Anónimo]. Monografias.com [página web]. [Consultado el 23, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.monografias.com/trabajos75/controladores-programables/controladores-programables2>>.

[18] OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderno. Quinta edición. Madrid. Pearson educación s.a, 2010. p55.

[19] ¿Qué significa HMI? Interfaz humano-máquina | COPA-DATA. (2021). [Sitio Web]. [Consultado: 9 de agosto de 2021], Disponible en: <<https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>>

[20] Solorzano, R. (2021). Principios Ingenieriles Básicos - Bombas Hidráulicas. [Consultado: 17 de septiembre de 2021], Disponible en Internet: <<https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-enespanol/article/21886594/principios-ingenieriles-bsicos-bombas-hidrulicas.>>

[21] OPTILOBE [Anónimo]. Transferencia de calor | Separación y manejo de fluidos | Alfa Laval [página web]. [Consultado el 9, agosto, 2021]. Disponible en Internet: <<https://www.alfalaval.com.co/productos-y-soluciones/manejo-de-fluidos/bombas/bombas-lobulares/optilobe/>>.

[22] Tansley, Claire E.; Marshall, David P. (2001). Flow past a Cylinder on a Plane, with Application to Gulf Stream Separation and the Antarctic Circumpolar Current. [Consultado: 17 de septiembre de 2021]. Disponible en Internet: <<https://wayback.archiveit.org/all/20110401142411/http://www.met.reading.ac.uk/~ocean/Dynamics/pub/tm01b.pdf>>

[23] EXLOG/WHITTAKER. Theory and Applications of Drilling Fluid Hydraulics. [s.l.]: Springer, 1985. 213 p. ISBN 9789027719317.

[24] PROCESO DE PRODUCCION Y MANEJO DE CRUDOS PESADOS [Anónimo]. El petroleo y sus avances [página web]. [Consultado el 10, septiembre, 2021]. Disponible en Internet: <<https://aikidoalcalablog.wordpress.com/2019/03/23/proceso-de-produccion-y-manejo-de-crudos-pesados/>>.

[25] 22 principios de hidráulica de perforación. (2021). [Consultado: 17 de septiembre de 2021]. Disponible en Internet:

<<https://es.slideshare.net/MagnusMG/22-principios-de-hidraulica-de-perforacin-42664598>>

[26] MALDONADO BAUTISTA, Angela Maria. Formulación y evaluación de fluidos de perforación de base agua de alto rendimiento aplicados al campo balcon como sustitutos del lodo base aceite. En línea. Ingeniero de petróleos. Bucaramanga: UIS. Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de ingeniería de petróleo. 2006. 154. [Consultado: 6 de agosto de 2021]. Disponible en: <<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121946.pdf>>

[27] Oilfield Glossary en español [Sitio Web]. [Consultado: 6 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/b/bingham_plastic_model>

[28] El petróleo y su mundo. Ecopetrol [Sitio Web]. [Consultado: 7 de agosto de 2021]. Disponible en: <shorturl.at/gkuH1>

[29] DASTEC. Soluciones en medición y control. [Sitio Web]. [Consultado: 7 de agosto de 2021]. Disponible en: <<https://www.dastecsrl.com.ar/industrias/oil-gas/caudal-nivel-presion-y-temperatura>>

[30] Shadizadeh, S., Majidaie, S., & Zoveidavianpoor, M. (2011). Investigation of Drill Cuttings Reinjection: Environmental Management in Iranian Ahwaz Oilfield. *Petroleum Science And Technology*, 29(11), 1093-1103. doi: 10.1080/10916460903530473

[31] GREEN, Don., & SOUTHARD, Marylee. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 9th Edition. McGraw-Hill. 2018. 2272p.

[32] ISA. *Human Machine Interfaces for Process Automation System*. ANSI/ISA-101.01. North Carolina: el autor, 2015. 63 p.

[33] ISA. *Instrumentation Symbols and Identification*. ANSI/ISA-5.1. North Carolina: el autor, 2009. 128 p.

[34] CAMINO ROMERO, Andrés Fernando. *Ingeniería Conceptual, Básica Y De Detalle Para La Automatización Del Sistema De Conducción De Aguas De La EPAM*. Sangolquí, 2015, 429p. Trabajo de grado de Ingeniería Electrónica En Automatización Y Control. Universidad de las Fuerzas Armadas. Departamento de Eléctrica y Electrónica.

[35] BARBA POVEDA, Andrés Oswaldo. Ingeniería De Detalle Para La Automatización Del Sistema De Dosificación Y Mezcla De Aceites RBD Para Los Tanques De Envasado La Fabril S.A. Quito, 2018, 116p. Trabajo de grado de Ingeniería En Electrónica Y Control. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

[36] ELECTROVÁLVULA VZWF-B-L-M22C-G1-275-V-1P4-6-R1 | Festo CO. Automatisierungstechnik und technische Bildungslösungen | Festo DE [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.festo.com/co/es/a/1492154/?q=~:sortByFacetValues-asc>>.

[37] OPTISONIC 3400. KROHNE Colombia | KROHNE Colombia [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://co.krohne.com/es/productos/medida-de-caudal/caudalímetros/caudalímetros-ultrasonicos/optisonic-3400/>>.

[38] Servomotor 1FL6096-1AC61-2LA1 - DETALLES DEL PRODUCTO - Industry Mall - Siemens Spain [Anónimo]. Welcome - Industry Mall - Siemens WW [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/1FL6096-1AC61-2LA1>>.

[39] Servodrive 6SL3210-5FE17-0UF0 - DETALLES DEL PRODUCTO - Industry Mall - Siemens Spain [Anónimo]. Welcome - Industry Mall - Siemens WW [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/6SL3210-5FE17-0UF0>>.

[40] MEDIDOR CORIOLIS de tubo recto serie T de Micro Motion compuesto por un sensor T100F y un transmisor 1700. Emerson Global | Emerson [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.emerson.com/es-mx/catalog/density-viscosity-1003/micro-motion-pkg-ft-t100f-1700-es-mx>>.

[41] BD | SENSORS GmbH. Druckmesstechnik für die Industrie - Drucksensoren von BD|SENSORS [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.bdsensors.de/es/presion/transductores-de-presion-diferencial/detail/produkt/dmd-831>>.

[42] SENSORES ULTRASÓNICOS: la alternativa para superficies difíciles. ifm - automation made in Germany [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.ifm.com/es/es/product/UGT507?tab=details>>.

[43] LF322E-40. Eicos Sensors: Level Switch and Flow Switch for Liquids [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://eu.eicos.com/level-switch/side-mounting/LF322E-40/>>.

[44] Structural Vibration Control and Monitoring [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://micromega-dynamics.com/files/uploads/2021/05/IAC-CM-I-02-EN-v2p1.pdf>>.

[45] PLC S7-1214C - DETALLES DEL PRODUCTO - Global eBusiness - Siemens WW [Anónimo]. Welcome - Industry Mall - Siemens WW [página web]. [Consultado el 14, junio, 2022]. Disponible en Internet: <<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>>.

ANEXOS

ANEXO A. PARAMETROS DE CONFIGURACIÓN DE SIMULACIÓN CFD EN ANSYS FLUENT DEL REDISEÑO DEL SISTEMA DE INCORPORACIÓN DE CORTES

Viscous Model

Model

- Inviscid
- Laminar
- Spalart-Allmaras (1 eqn)
- k-epsilon (2 eqn)
- k-omega (2 eqn)
- Transition k-kl-omega (3 eqn)
- Transition SST (4 eqn)
- Reynolds Stress (7 eqn)
- Scale-Adaptive Simulation (SAS)
- Detached Eddy Simulation (DES)
- Large Eddy Simulation (LES)

Model Constants

C2-Epsilon: 1.9

TKE Prandtl Number: 1

TDR Prandtl Number: 1.2

k-epsilon Model

- Standard
- RNG
- Realizable

Near-Wall Treatment

- Standard Wall Functions
- Scalable Wall Functions
- Non-Equilibrium Wall Functions
- Enhanced Wall Treatment
- Menter-Lechner
- User-Defined Wall Functions

Options

- Curvature Correction
- Production Limiter

User-Defined Functions

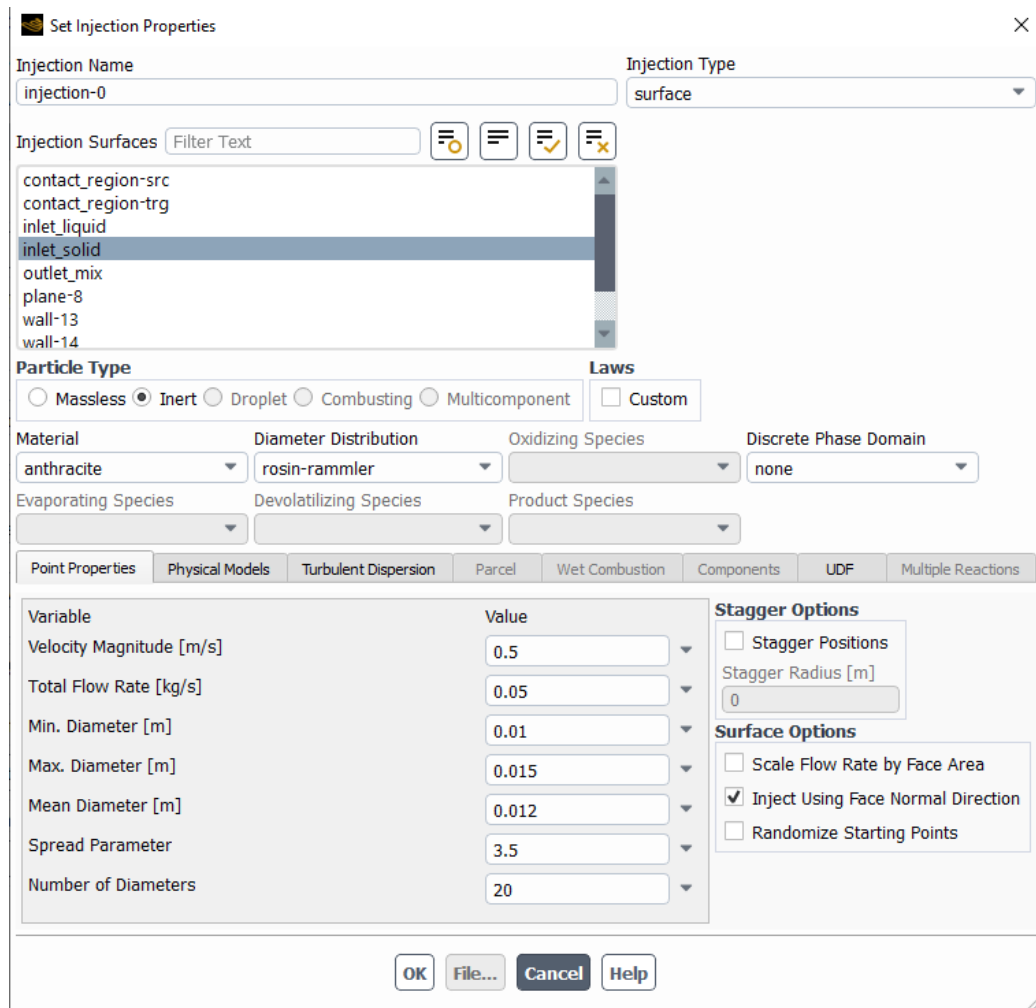
Turbulent Viscosity: none

Prandtl Numbers

TKE Prandtl Number: none

TDR Prandtl Number: none

OK Cancel Help



Posteriormente se establecen las velocidades y parámetros de entrada del fluido motriz y de los sólidos al educor:

Velocity Inlet X

Zone Name

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential Structure UDS

Velocity Specification Method

Reference Frame

Velocity Magnitude [m/s]

Supersonic/Initial Gauge Pressure [Pa]

Turbulence

Specification Method

Turbulent Intensity [%]

Turbulent Viscosity Ratio

Velocity Inlet X

Zone Name

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential Structure UDS

Velocity Specification Method

Reference Frame

Velocity Magnitude [m/s]

Supersonic/Initial Gauge Pressure [Pa]

Turbulence

Specification Method

Turbulent Intensity [%]

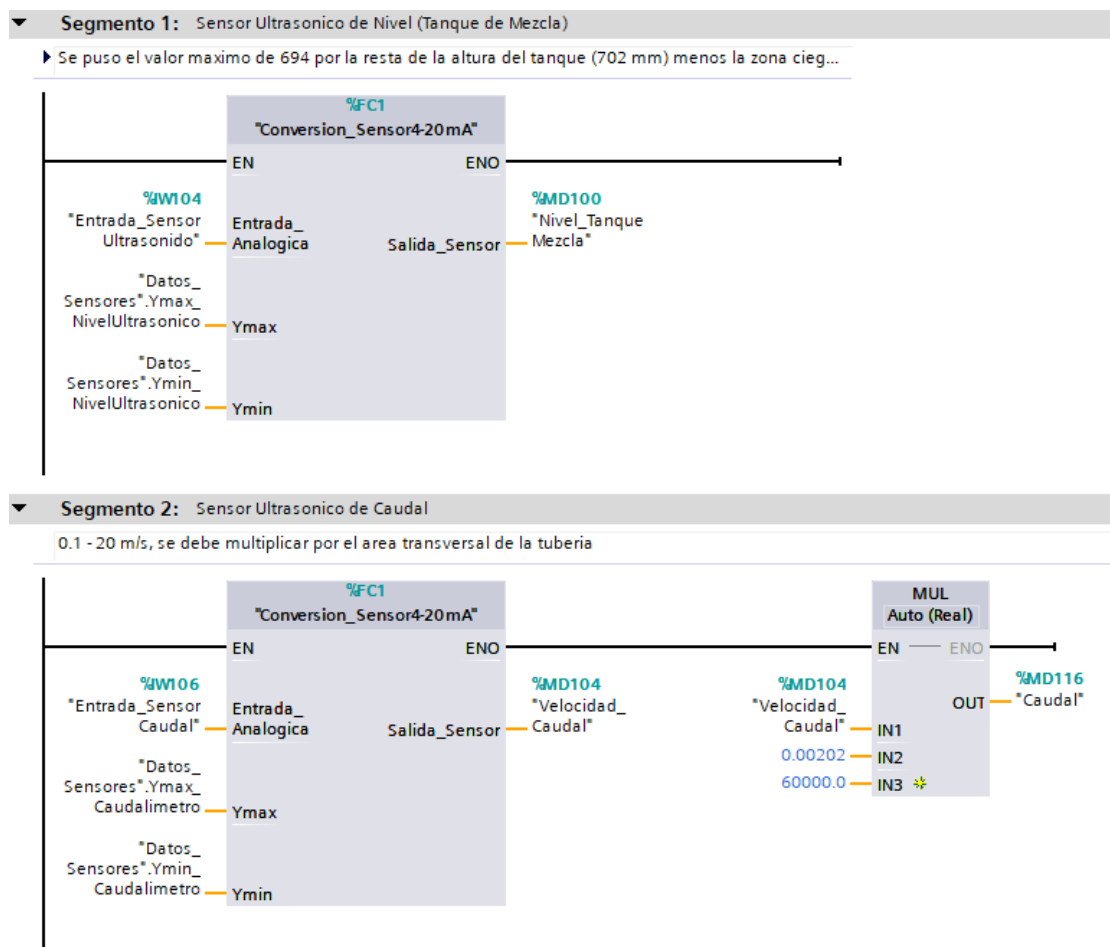
Turbulent Viscosity Ratio

ANEXO B. BLOQUES DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

A continuación, se muestran los segmentos de código del PLC en los bloques de organización:

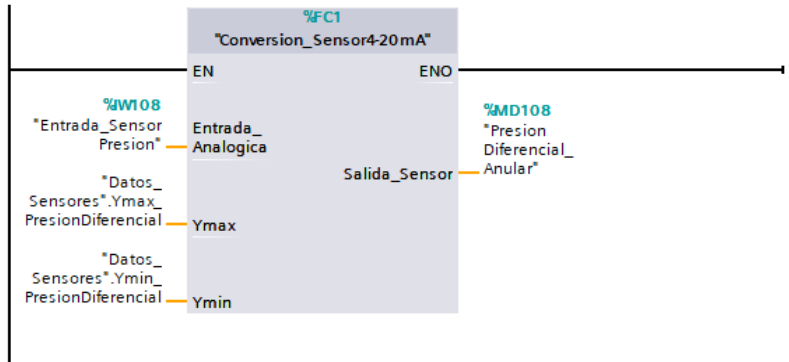
Bloque de Organización MAIN(OB1):

- **Segmentos 1 – 4:** Se realiza la adquisición y conversión de los datos provenientes de los sensores, para cada sensor se tienen en cuenta los parámetros de medición necesarios para obtener el valor real de la magnitud medida.



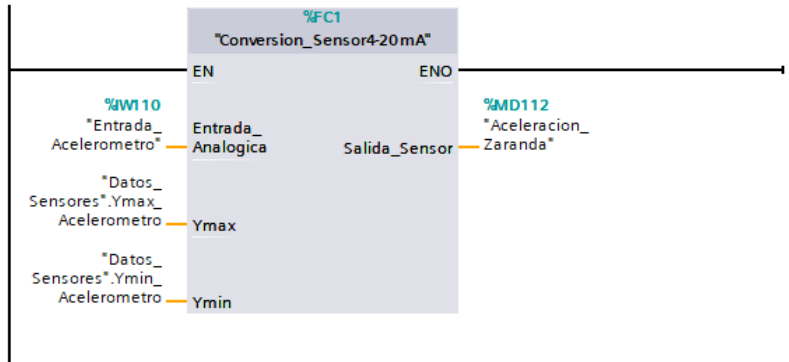
Segmento 3: Sensor de Presion Diferencial (Sistema Anular)

Comentario



Segmento 4: Acelerometro (Zaranda Vibratoria)

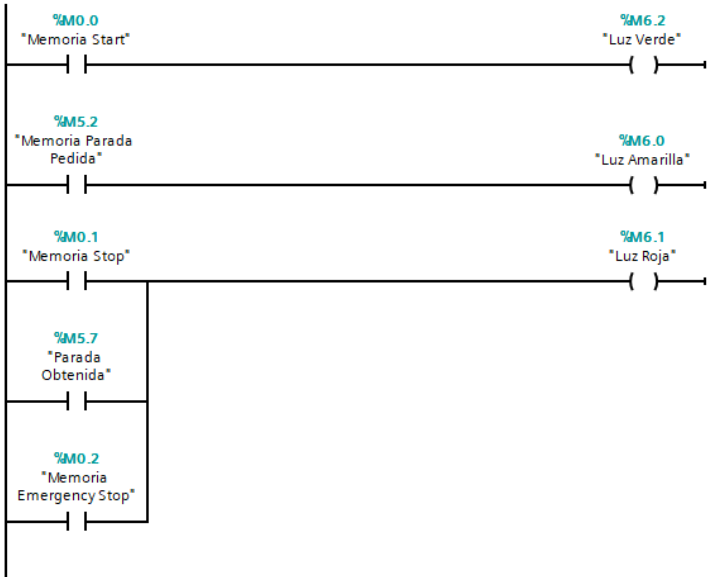
Medida en g's



- **Segmento 5:** Encendido en la HMI de los indicadores de *Inicio, Parada pedida, Parada final o de emergencia (luces piloto)*.

Segmento 5: Logica Indicadores de Proceso - HMI

Comentario

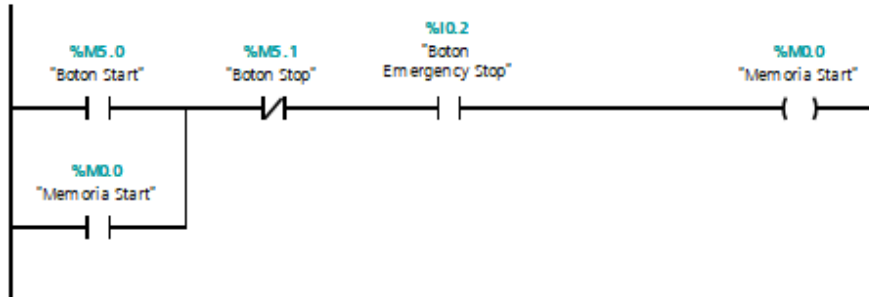


Bloque de Organización ElectroValvulas (OB123):

- **Segmentos 1 – 3:** Se establecen las condiciones necesarias para la activación de *inicio del proceso, parada del proceso y parada de emergencia.*

▼ Segmento 1:

Comentario



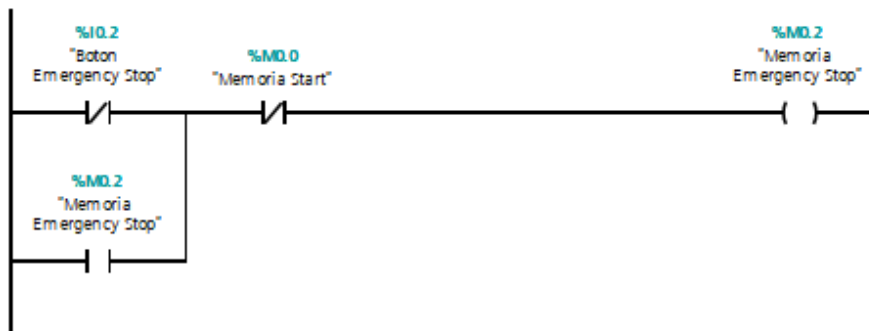
▼ Segmento 2:

Comentario



▼ Segmento 3:

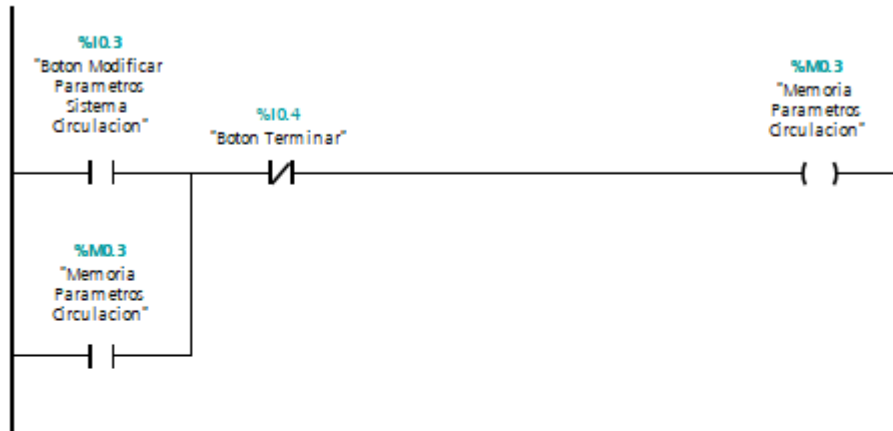
Comentario



- **Segmentos 4 – 7:** Secuencia y condiciones necesarias para modificar los parámetros del sistema de circulación, se establece la elección del circuito que recorrerá el fluido: **circuito corto**, **circuito sin incorporación de cortes** y **circuito con incorporación de cortes**.

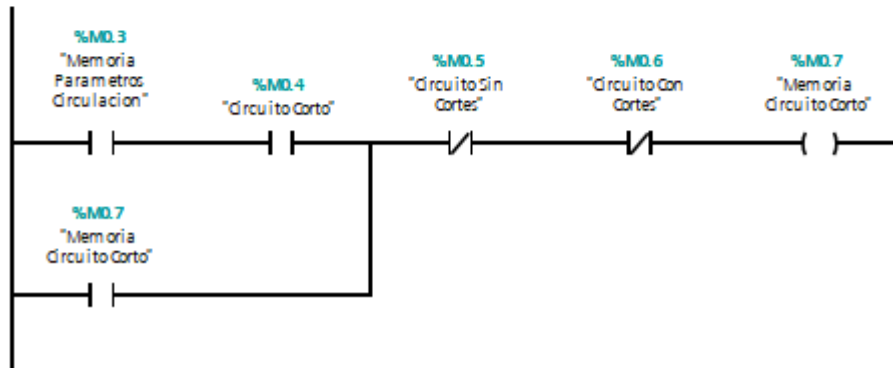
▼ **Segmento 4:**

Comentario



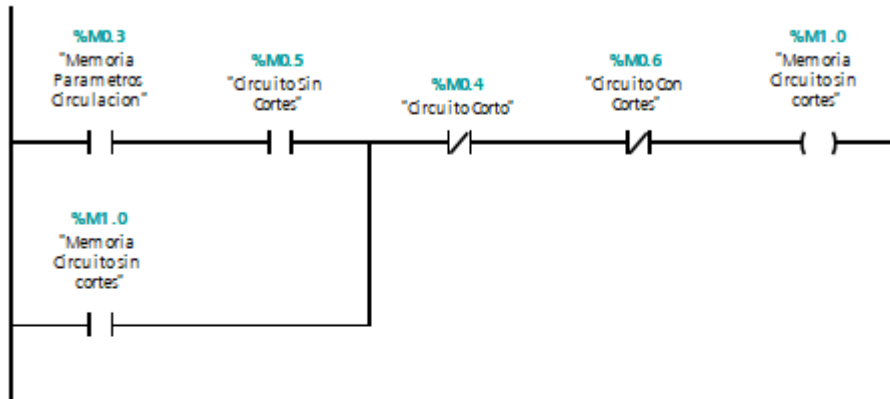
▼ **Segmento 5:**

Comentario



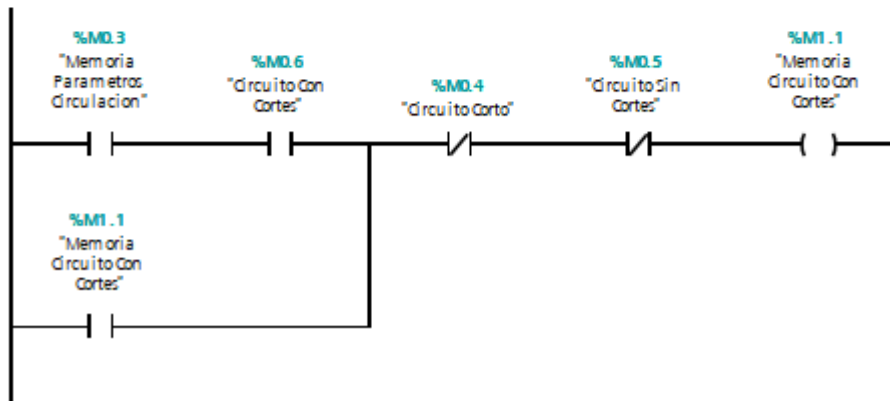
▼ Segmento 6:

Comentario



▼ Segmento 7:

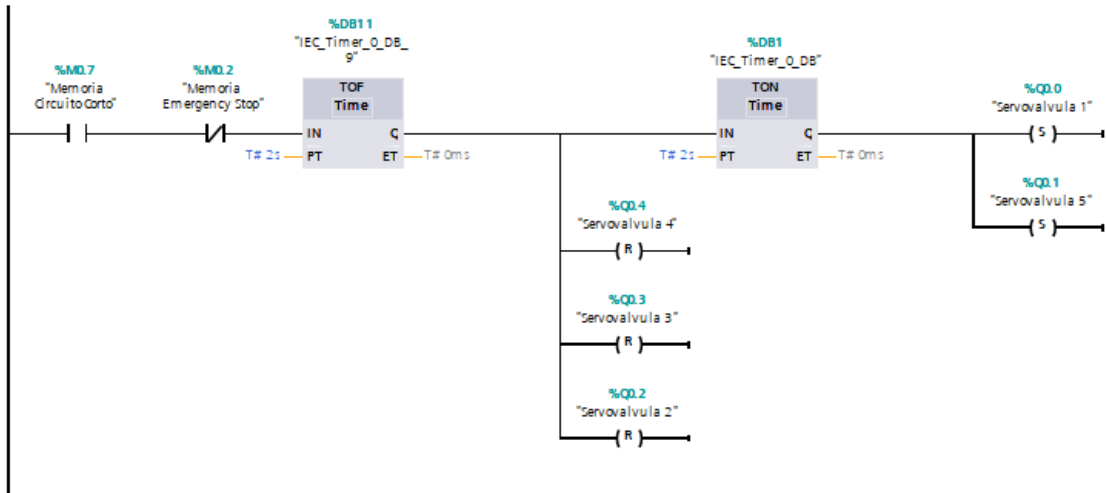
Comentario



- Segmentos 8 – 10:** Se activan las servoválvulas correspondiente para cada circuito de circulación, esto se realiza primero desactivando las servovavulas que no correspondan al circuito seleccionado, posteriormente se activan las salidas de las válvulas seleccionadas con un retardo configurable que permite que se cierren primero las demás válvulas.

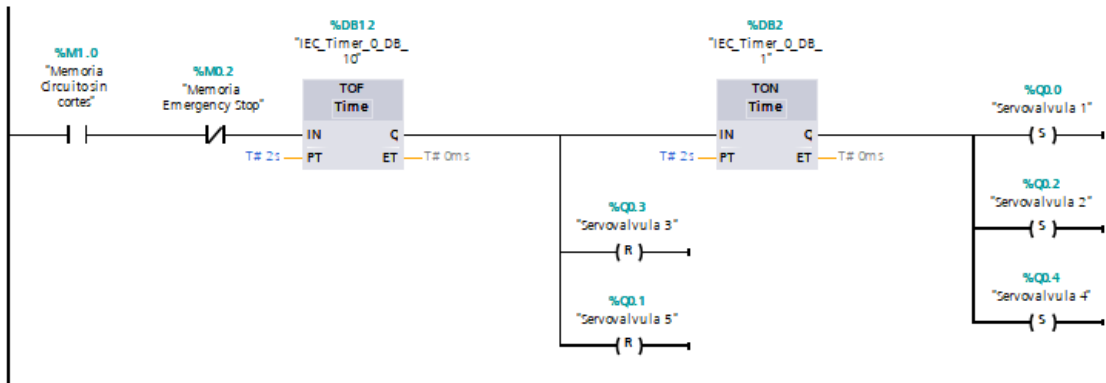
▼ **Segmento 8:**

Comentario



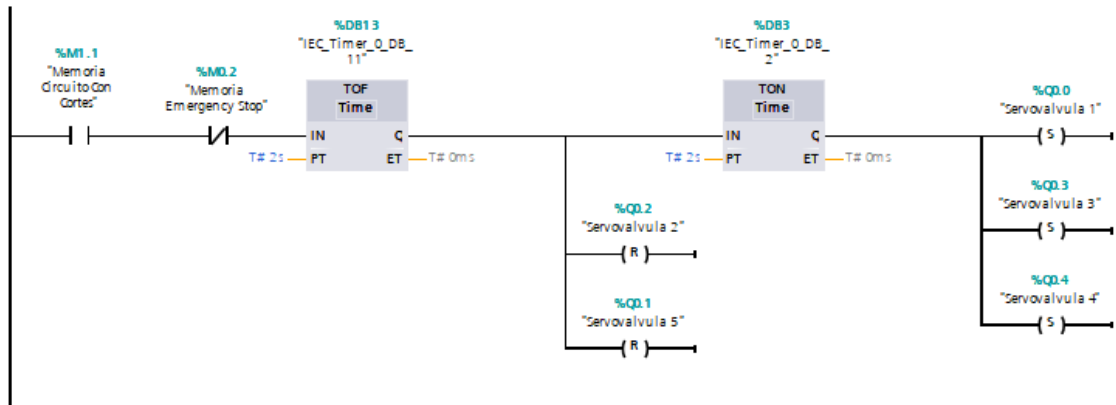
▼ **Segmento 9:**

Comentario



▼ **Segmento 10:**

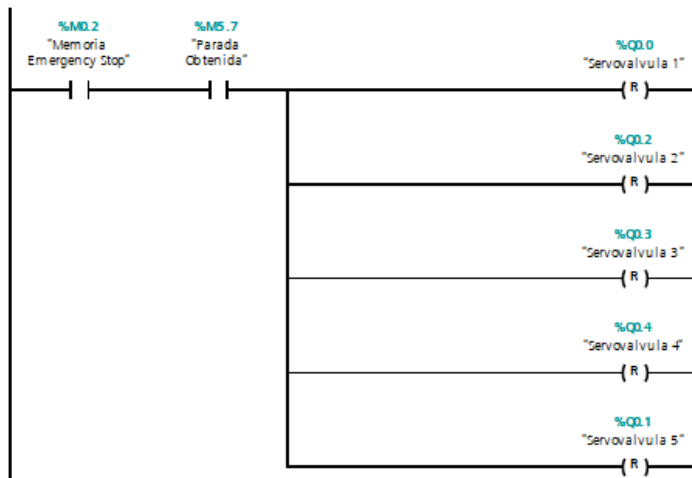
Comentario



- **Segmento 11:** Parada de emergencia establecida según la Guía GEMMA, se desactivan secuencialmente las servovalvulas de todo el sistema de circulación.

▼ **Segmento 11:** Parada de Emergencia (Segun la Guia GEMMA las electrovalvulas esperan hasta que se detengan los mot...

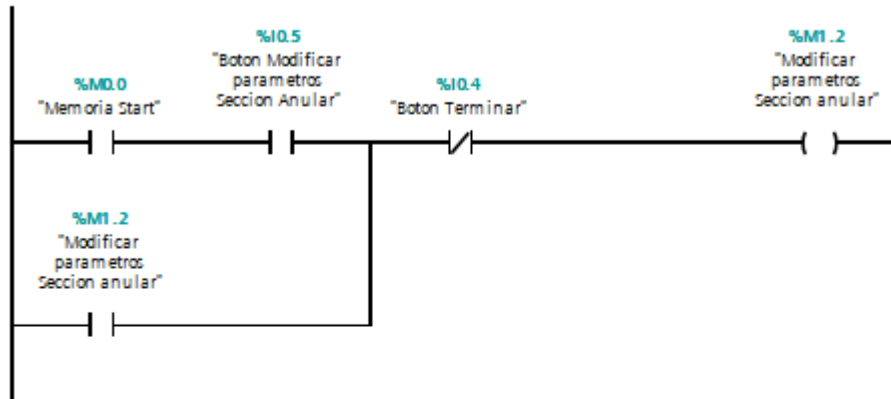
Comentario



- **Segmentos 12 – 13:** Se declaran las condiciones y secuencia para modificar los parámetros del sistema anular, en este caso se puede configurar el encendido del motor de giro de la sarta de perforación.

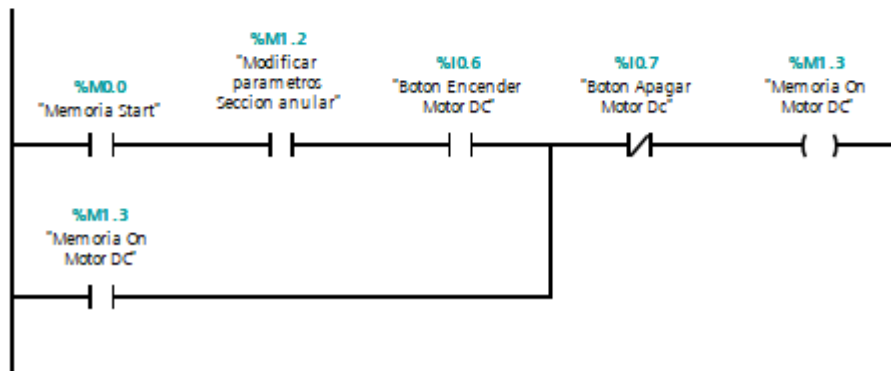
▼ **Segmento 12:**

Comentario

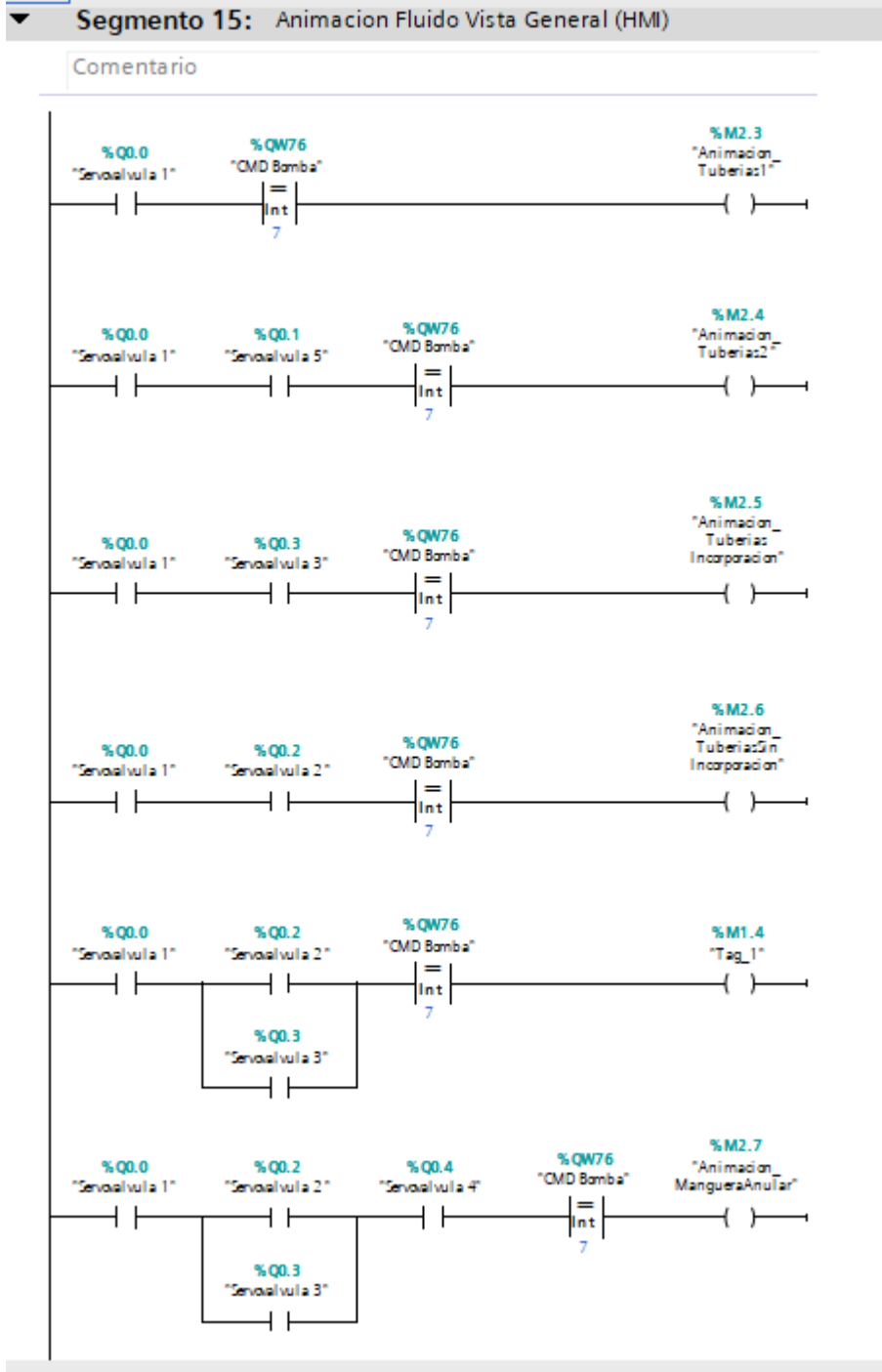


▼ **Segmento 13:**

Comentario



- Segmento 15:** Dentro de este segmento se definen las variables que condicionan las animaciones que se visualizarán en la HMI, esto permite que se puedan tener claridad sobres los sistemas que se encuentran activos durante el proceso de operación del banco.

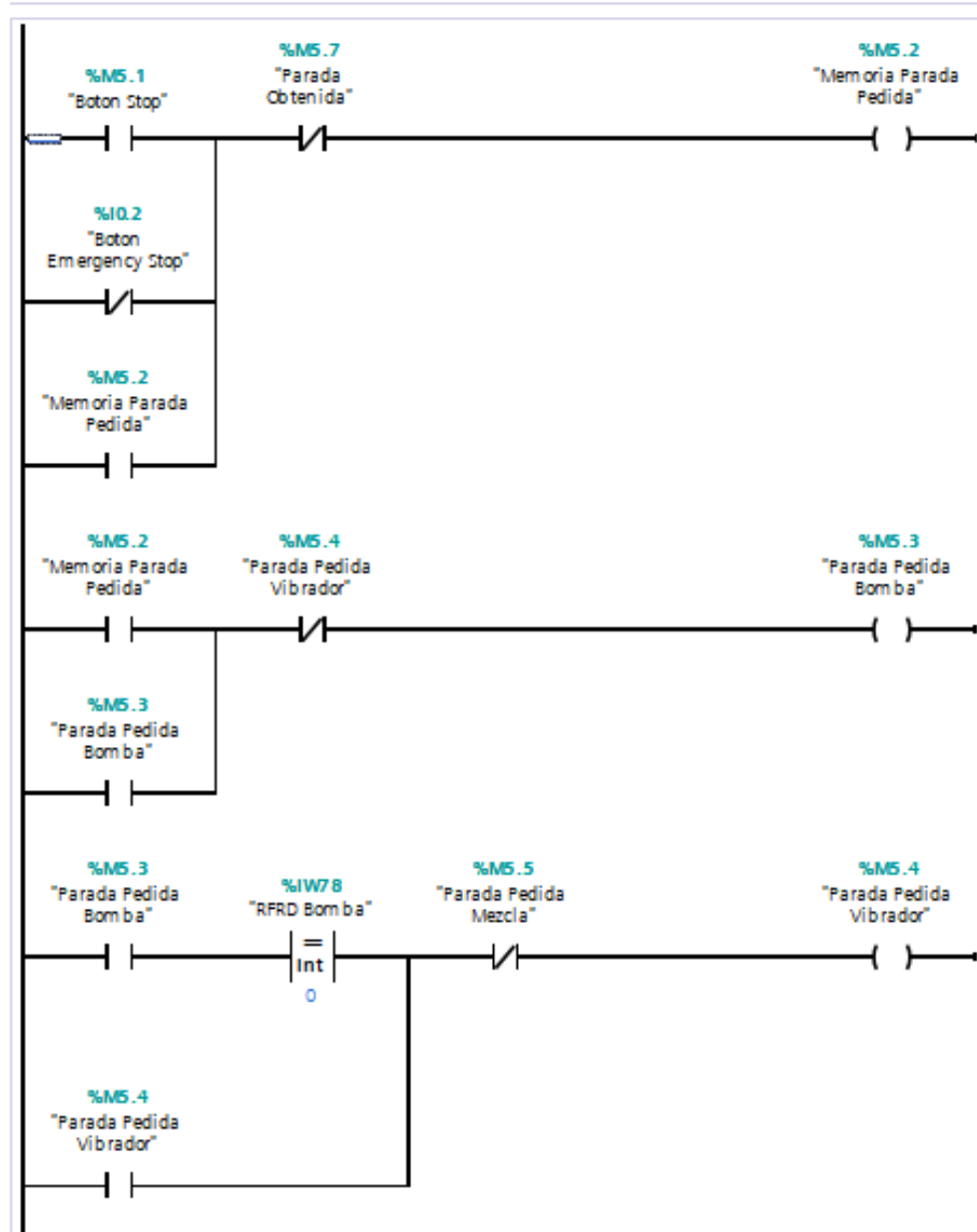


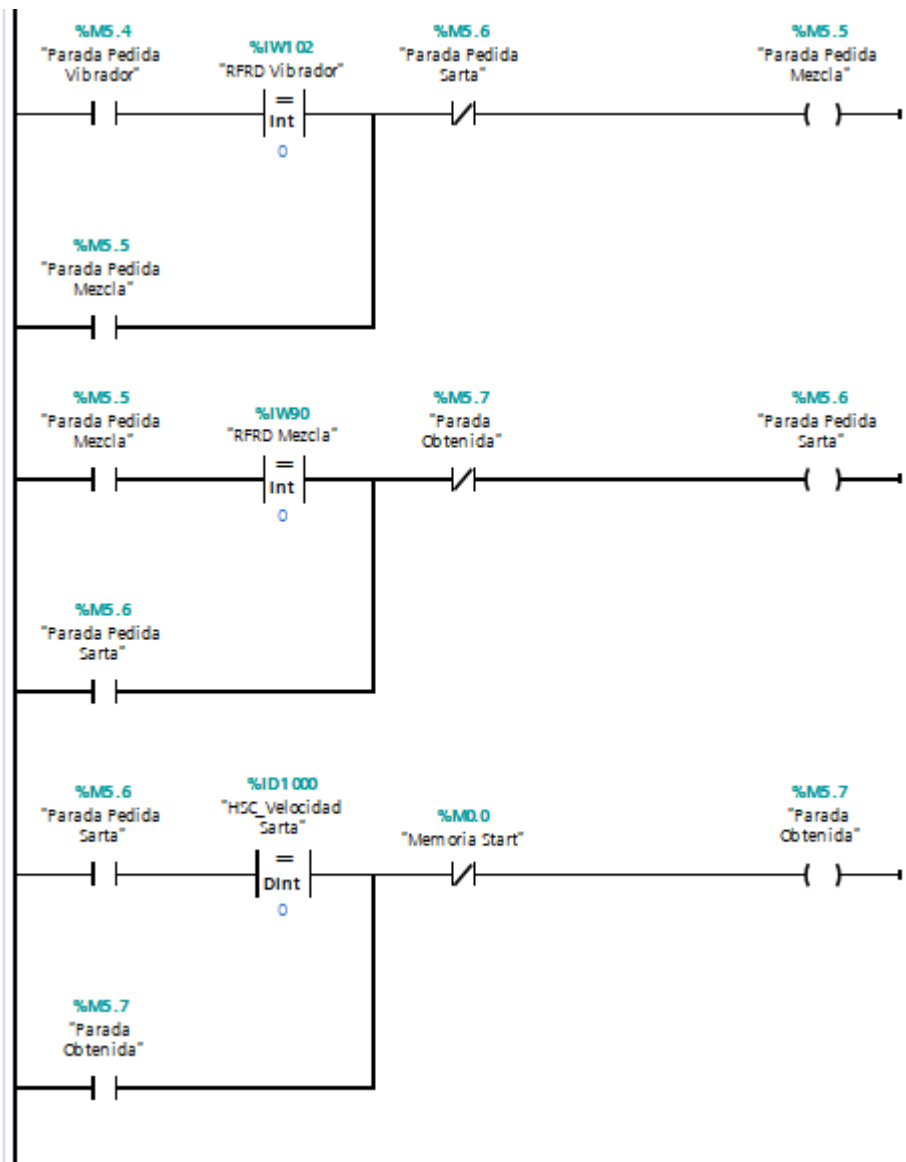
Bloque de Organización Control De Variadores (OB124):

- **Segmento 1:** Se define la secuencia de desactivación de los sistemas y elementos del banco según la Guía GEMMA para una para pedida.

▼ Segmento 1: Lógica de Parada Pedida - Guia GEMMA

Comentario

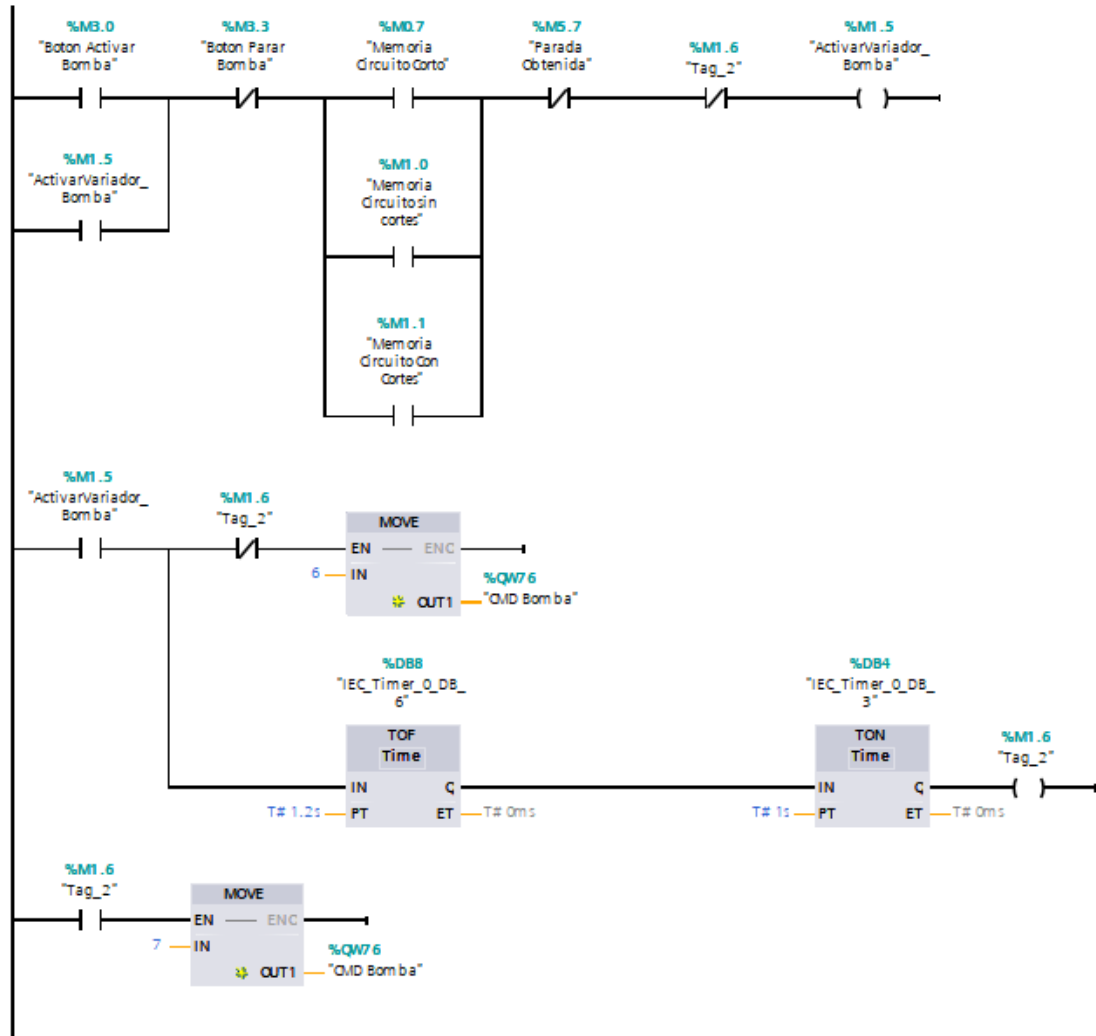




- Segmentos 2 - 7:** Se realiza la secuencia para activar los variadores que controlan la frecuencia de los motores, se tienen en cuenta las condiciones necesarias para el encendido seguro de cada variador y por consecuencia el encendido de cada motor. Posteriormente se define la **Parada pedida** de cada elemento según Guía GEMMA.

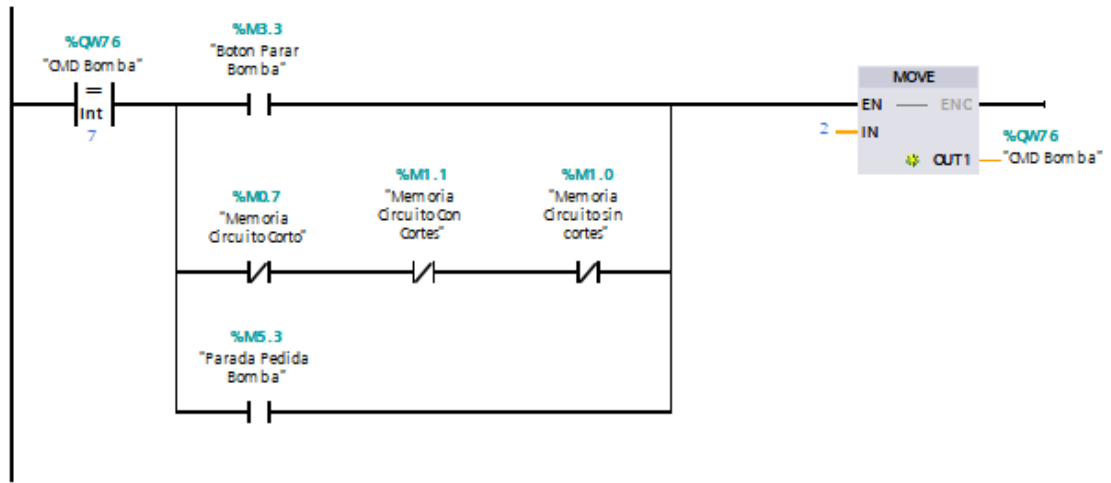
▼ **Segmento 2: Arranque Variador Bomba**

Comentario



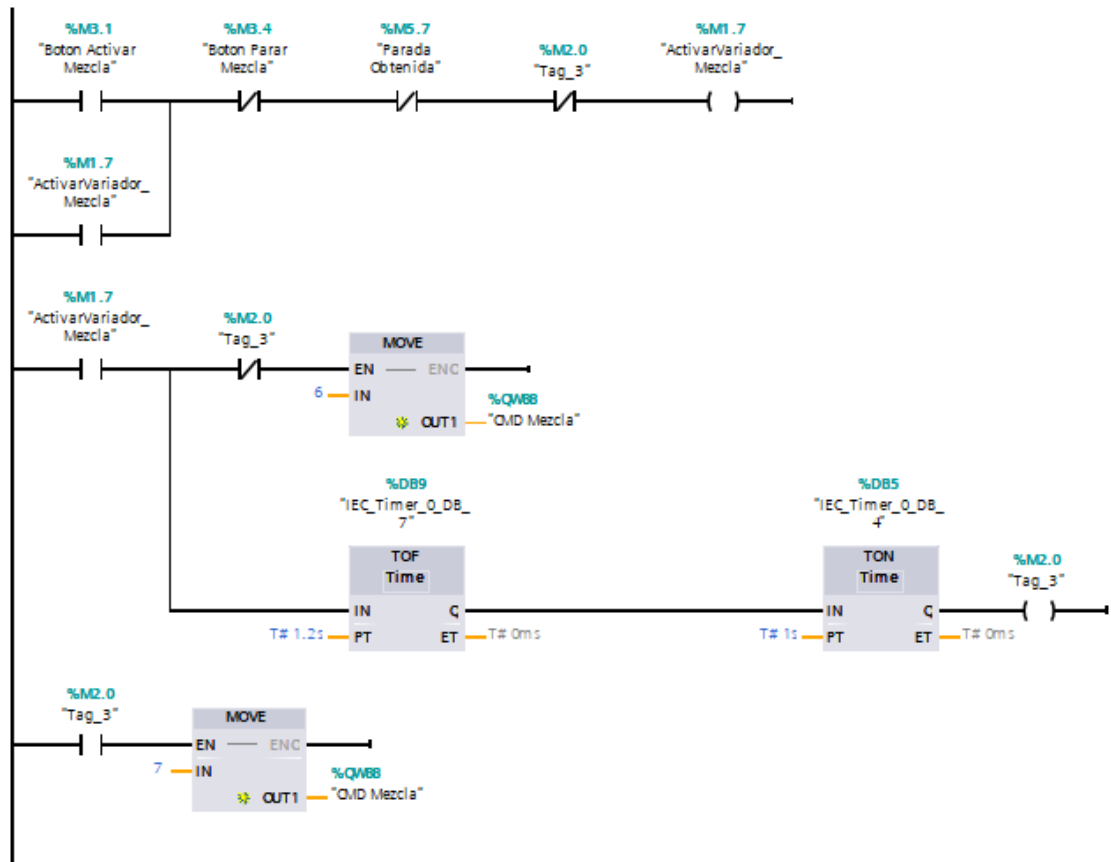
Segmento 3: Parada Rapida Variador Bomba

Comentario



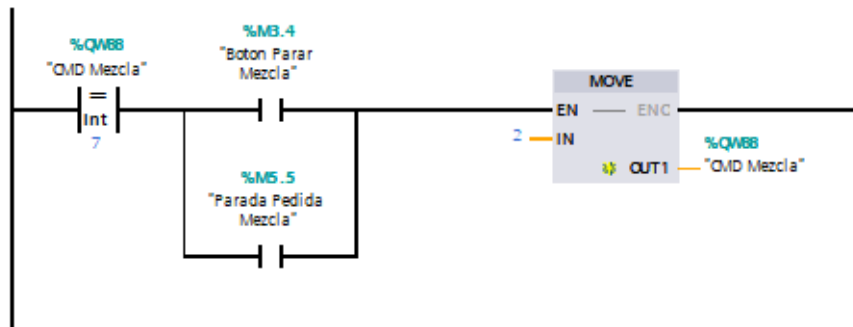
Segmento 4: Arranque Variador Mezcla

Comentario



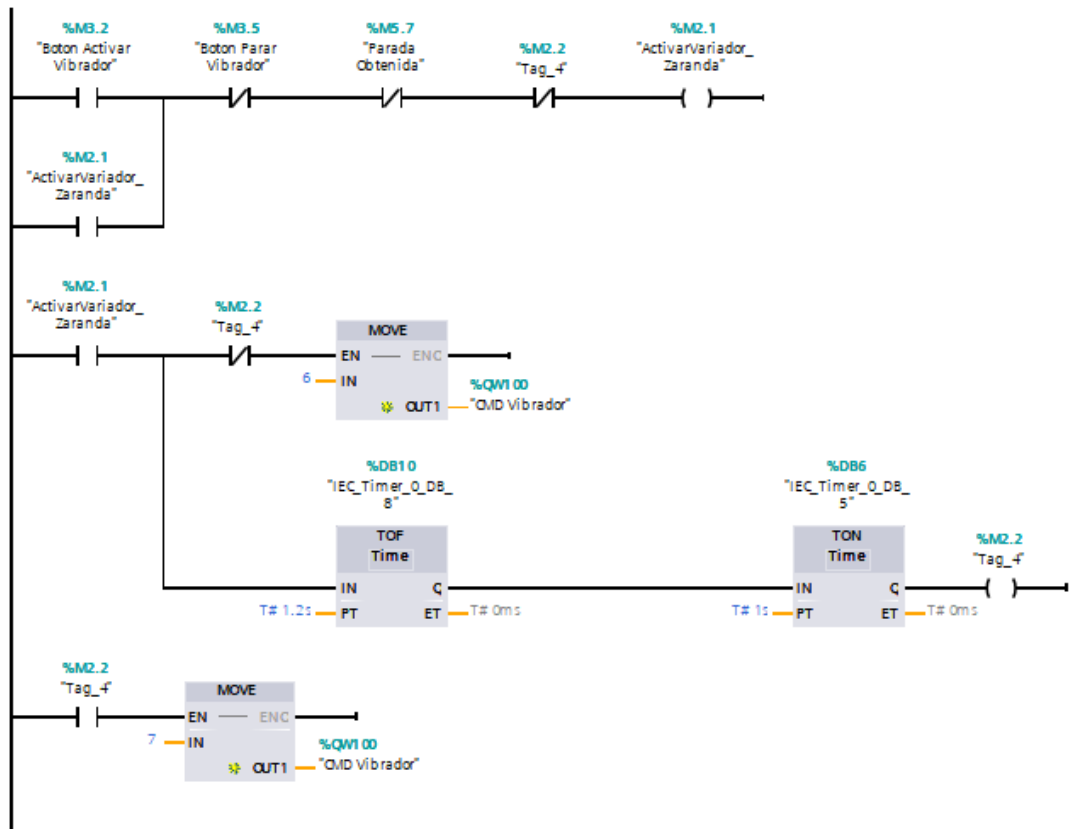
Segmento 5: Parada Rapida Variador Mezcla

Comentario



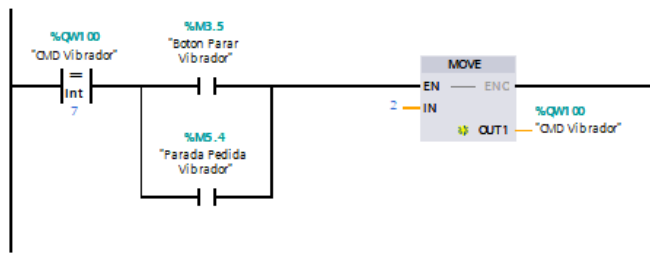
Segmento 6: Arranque Variador Zaranda

Comentario



Segmento 7: Parada Rapida Variador Vibrador Zaranda

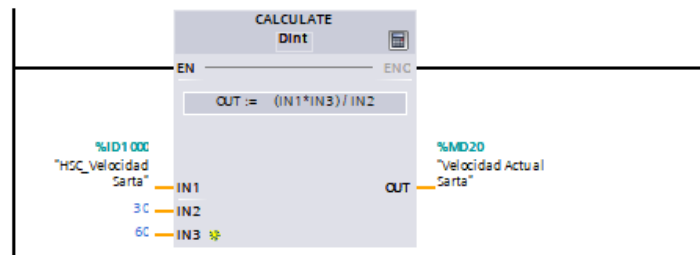
Comentario



- **Segmento 8:** Se lee, escala y almacena la velocidad de la sarta de perforación para posteriormente ser visualizada en la HMI.

Segmento 8: Recepcion de Velocidad Actual de Sarta

Comentario



Función ConversionSensor4-20mA (FC1):

En esta función se normaliza y escala la señal recibida de los sensores que funcionan de 4 mA a 20 mA, la función se debe modificar según los rangos de medición de cada instrumento.

Conversion_Sensor4-20mA				
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
1	Input			
2	Entrada_Analogica	Int		
3	Ymax	Real		
4	Ymin	Real		
5	Output			
6	Salida_Sensor	Real		
7	InOut			
8	<Agregar>			
9	Temp			
10	Entrada_Normalizada	Real		

► Título del bloque:

▼ Segmento 1:

Comentario

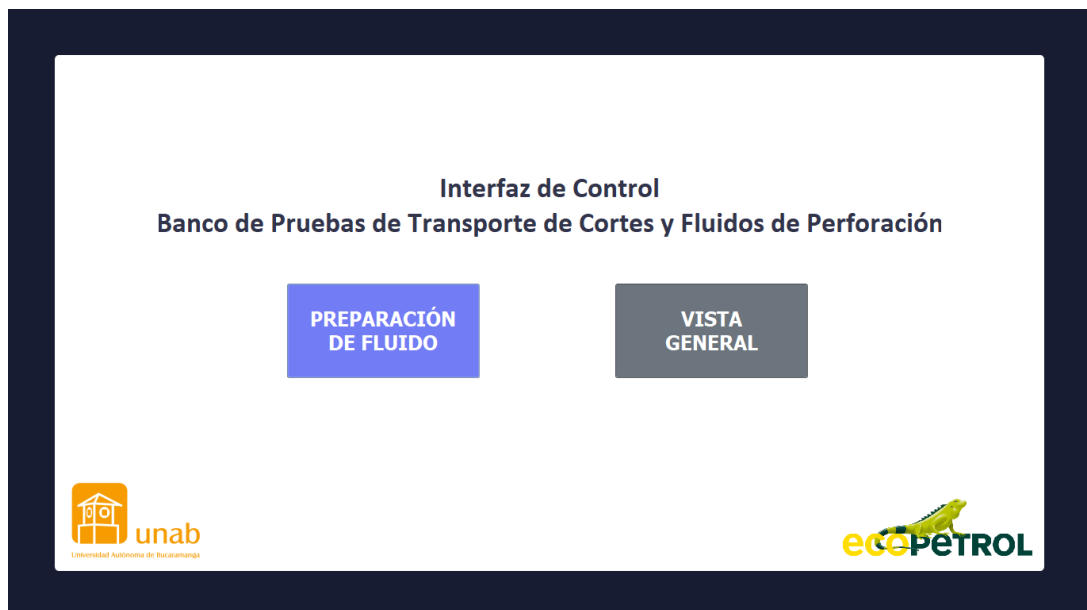
ANEXO C. VISTAS DE LA INTERFAZ HMI

Seguidamente, se muestran las imágenes diseñadas para la interfaz HMI:

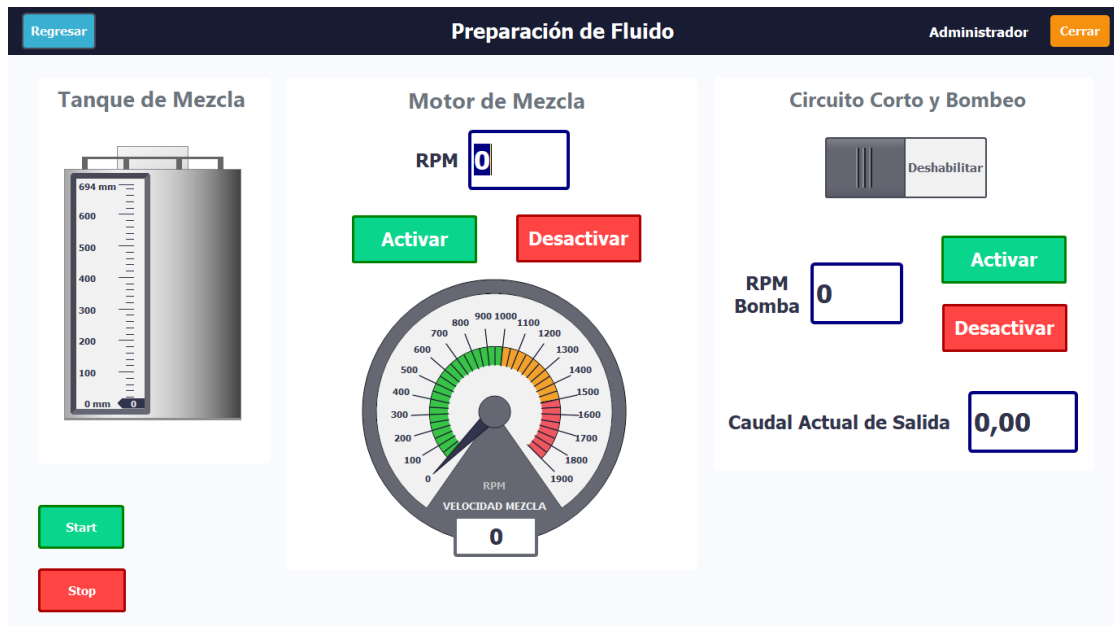
- **Vista 1 – 3:** Pantalla de inicio de la HMI, selección de vista para preparación de fluido o vista de control general del banco y vista para preparación de fluido de perforación.



Vista 1.

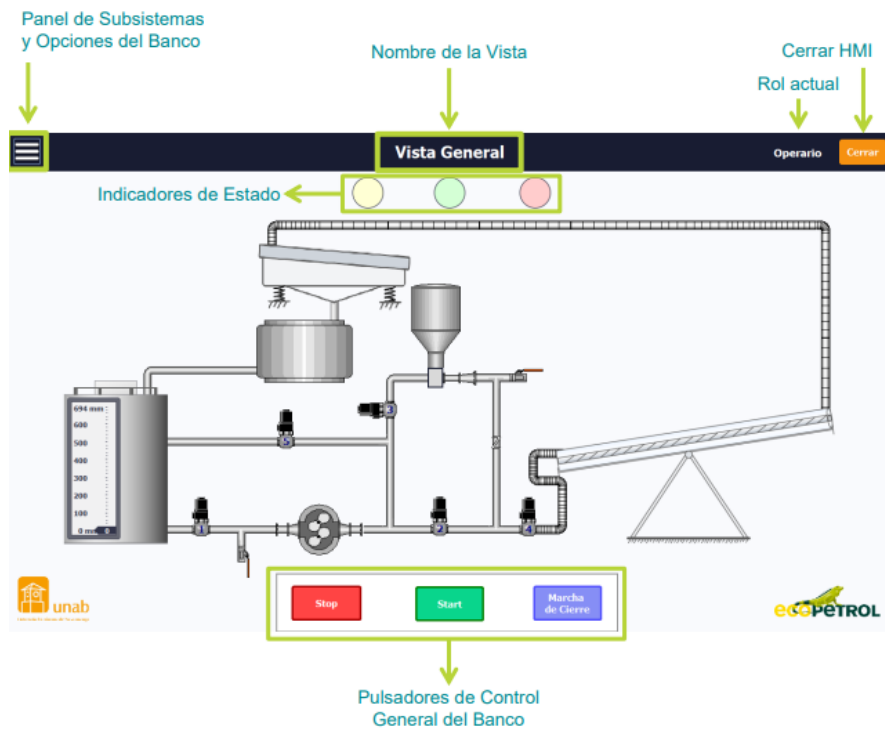


Vista 2.



Vista 3.

- **Vista 4:** Vista general para el control del banco de pruebas; el usuario puede visualizar de manera gráfica el banco de pruebas y la mayoría de sus componentes.

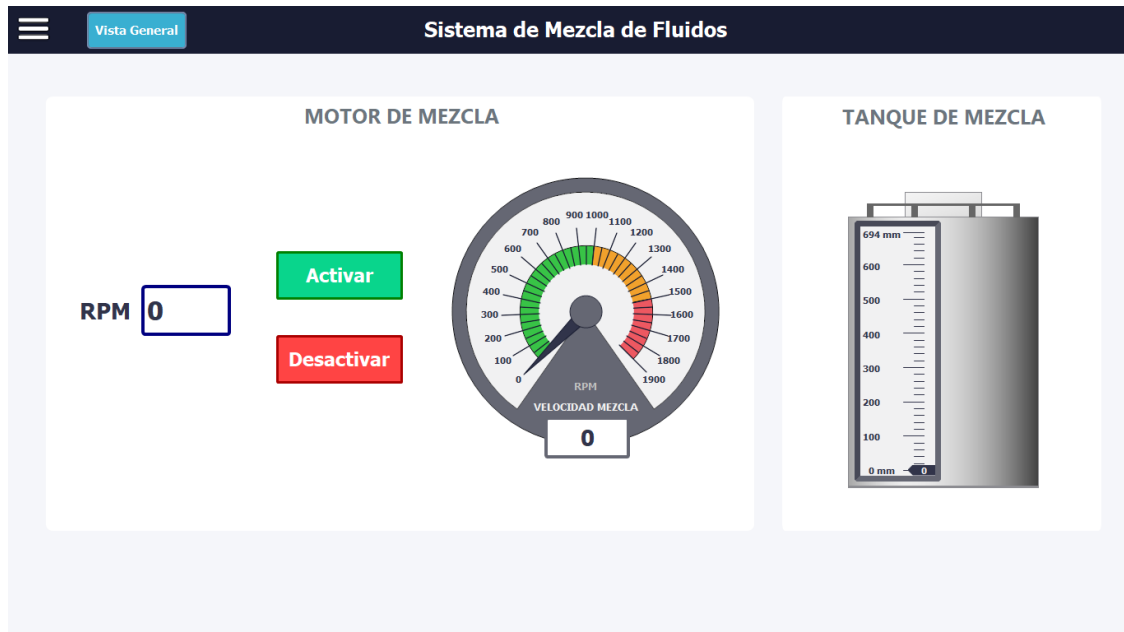


Vista 4.

- **Vista 5 - 7:** Vista de control del sistema anular con control de inclinación automático, vista de control del sistema de mezcla de fluidos y vista para el control del sistema de separación de cortes.



Vista 5.

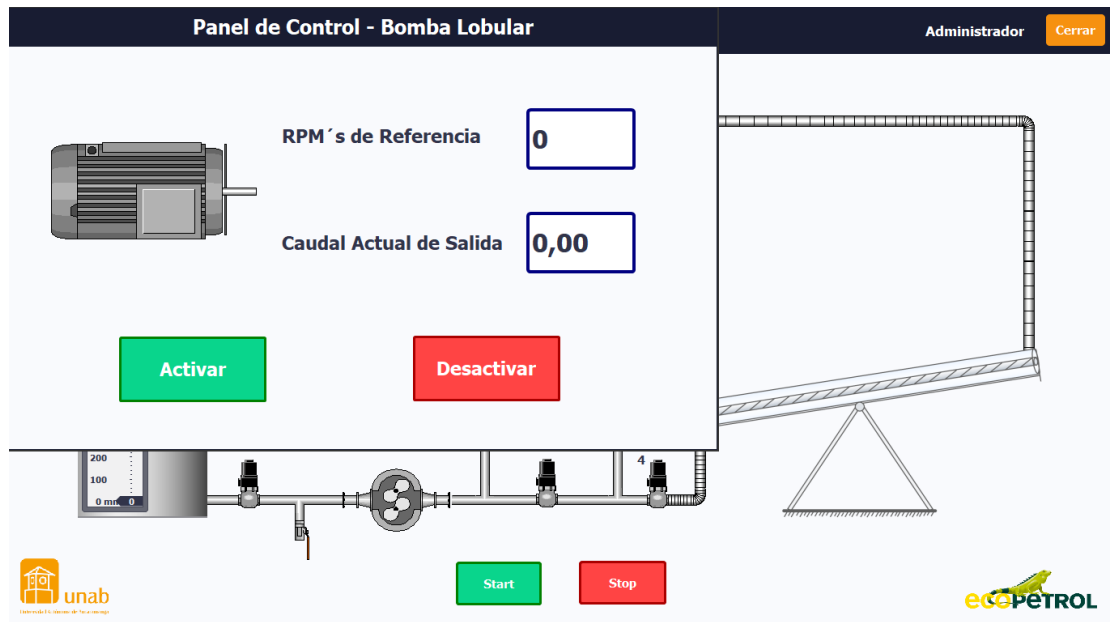


Vista 6.

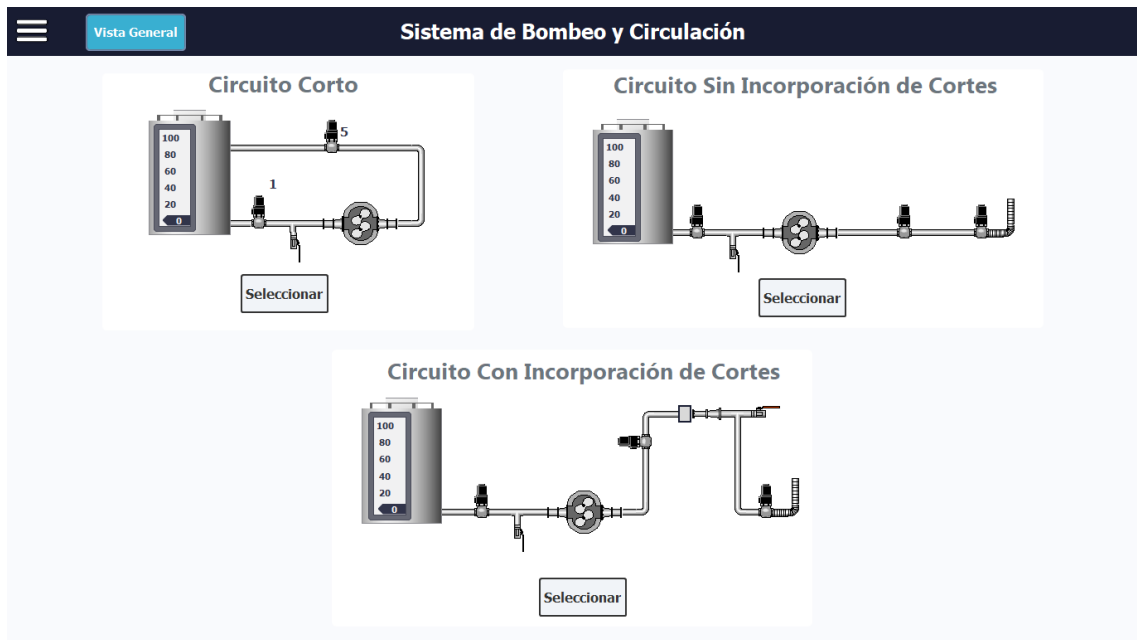


Vista 7.

- **Vista 8 - 9:** La vista de control del sistema de bombeo y circulación permite de una forma muy sencilla conmutar las válvulas del sistema de tal forma que se formen cualquiera de los tres circuitos presentados los cuales pueden ser utilizados para diferentes fines.

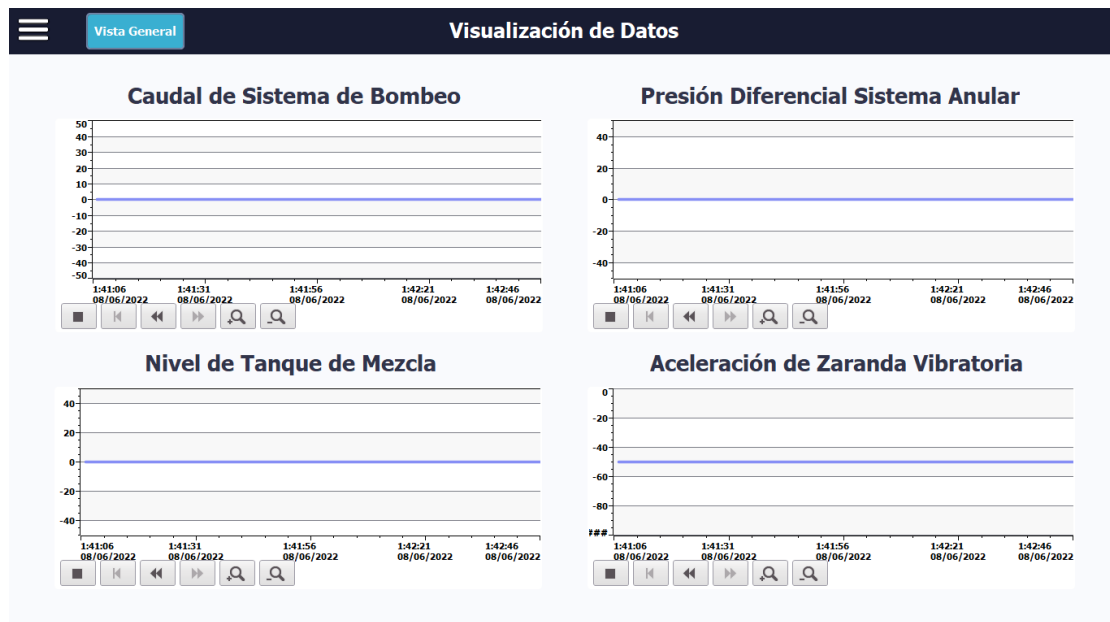


Vista 8.



Vista 9.

- **Vista 10:** La Interfaz cuenta con una vista diseñada especialmente para la visualización de la variación de los datos de los sensores instalados en el banco a través del tiempo.



Vista 10.

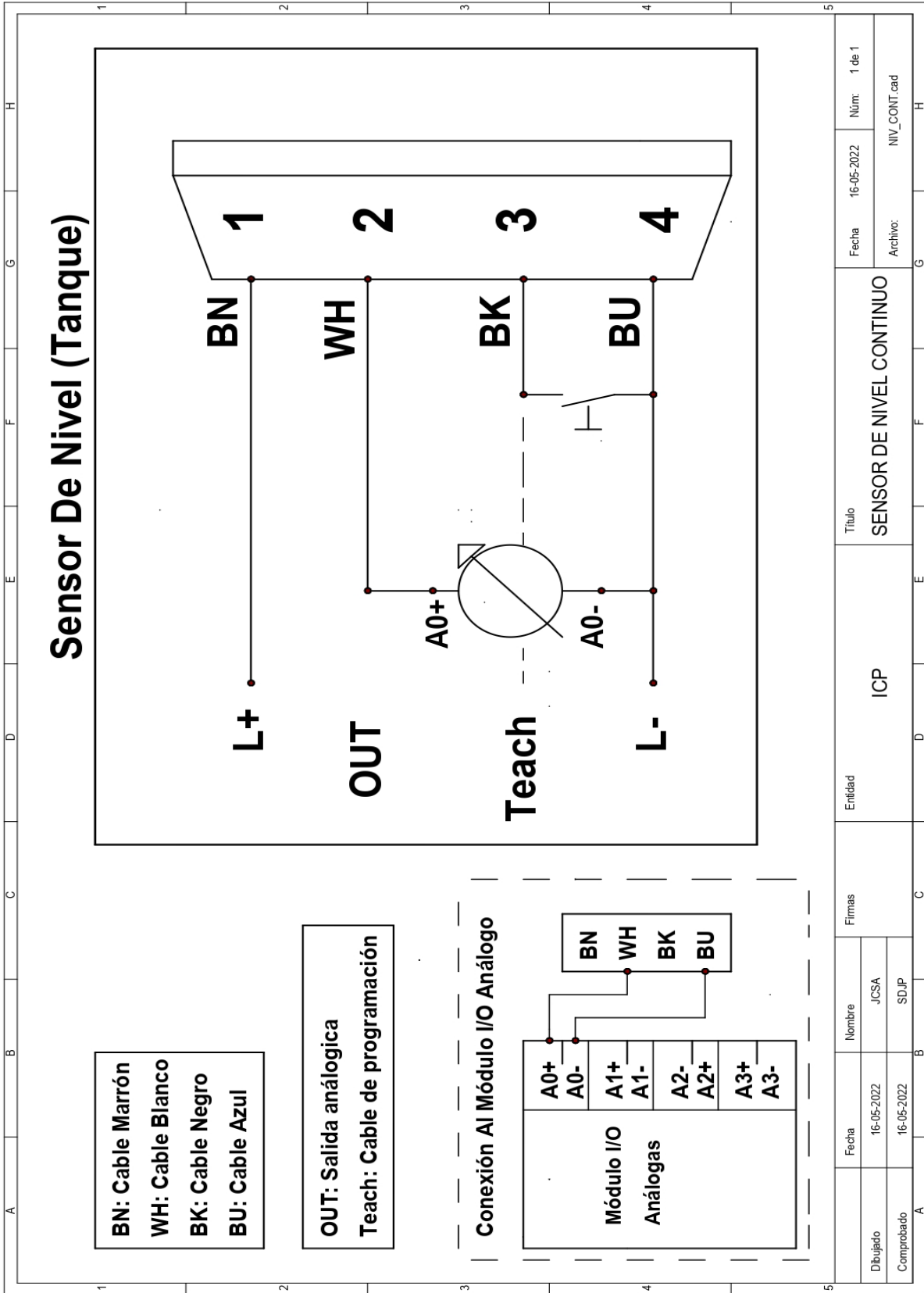
- **Vista 11:** En esta pestaña el usuario se encontrará con varios paneles, cada uno de ellos referente a un sensor instalado en el banco, en cada panel hay dos campos de entrada de datos de valor mínimo y valor máximo de medición del sensor, estos valores son encontrados en la hoja de datos del equipo. En la interfaz, estos valores pueden ser cambiados en el caso de cambiar la referencia del sensor previamente instalado.

The screenshot shows a web interface titled "Calibración de Sensores". At the top, there is a navigation bar with a menu icon, a "Vista General" button, the title "Calibración de Sensores", the user role "Administrador", and a "Cerrar" button. Below the navigation bar, there are four panels, each representing a different sensor type. Each panel has a title and two input fields labeled "Min" and "Max".

Sensor	Min	Max
Sensor de Nivel Continuo	0,00	694,00
Sensor de Caudal	0,00	20,00
Sensor de Presión Diferencial	0,00	3,50
Acelerómetro	-50,00	50,00

Vista 11.

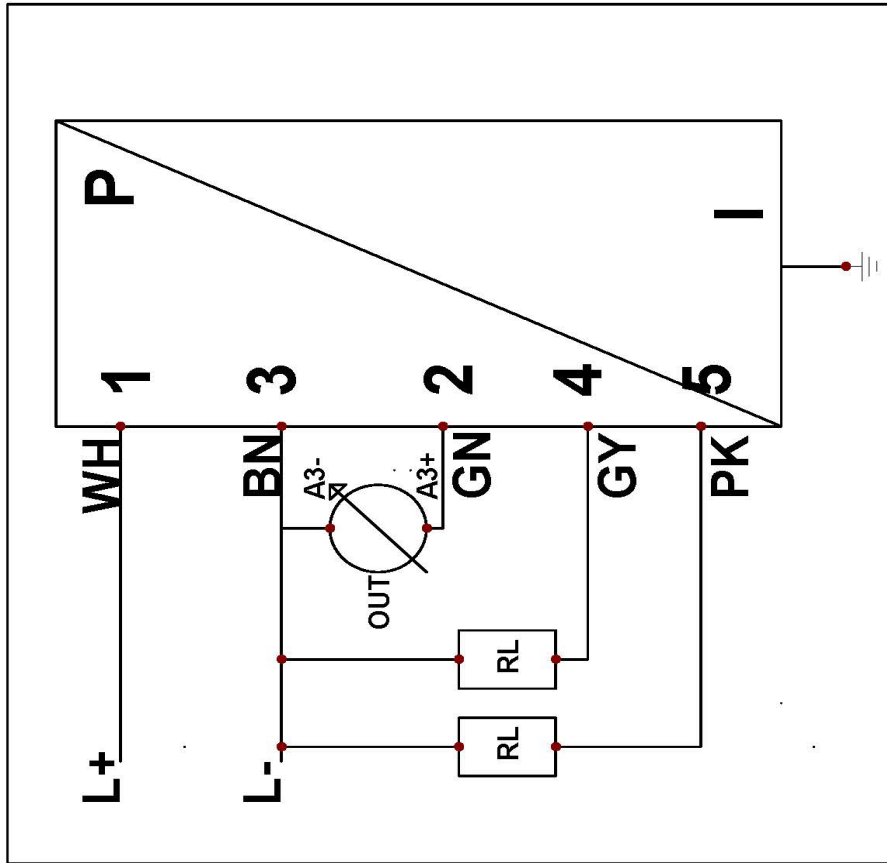
ANEXO D. PLANOS DE CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN



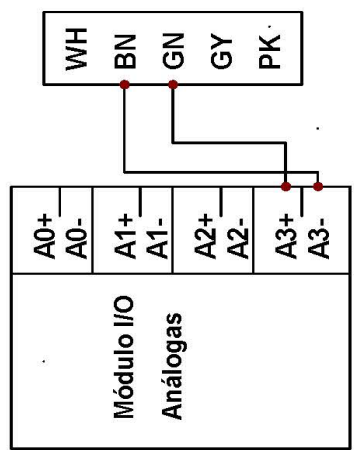
Sensor Diferencial De Presión

WH: Cable Blanco
 BN: Cable Marrón
 GN: Cable Verde
 GY: Cable Gris
 PK: Cable Rosado

OUT: Señal Diferencial Presión



Conexión Al Módulo I/O Análogo

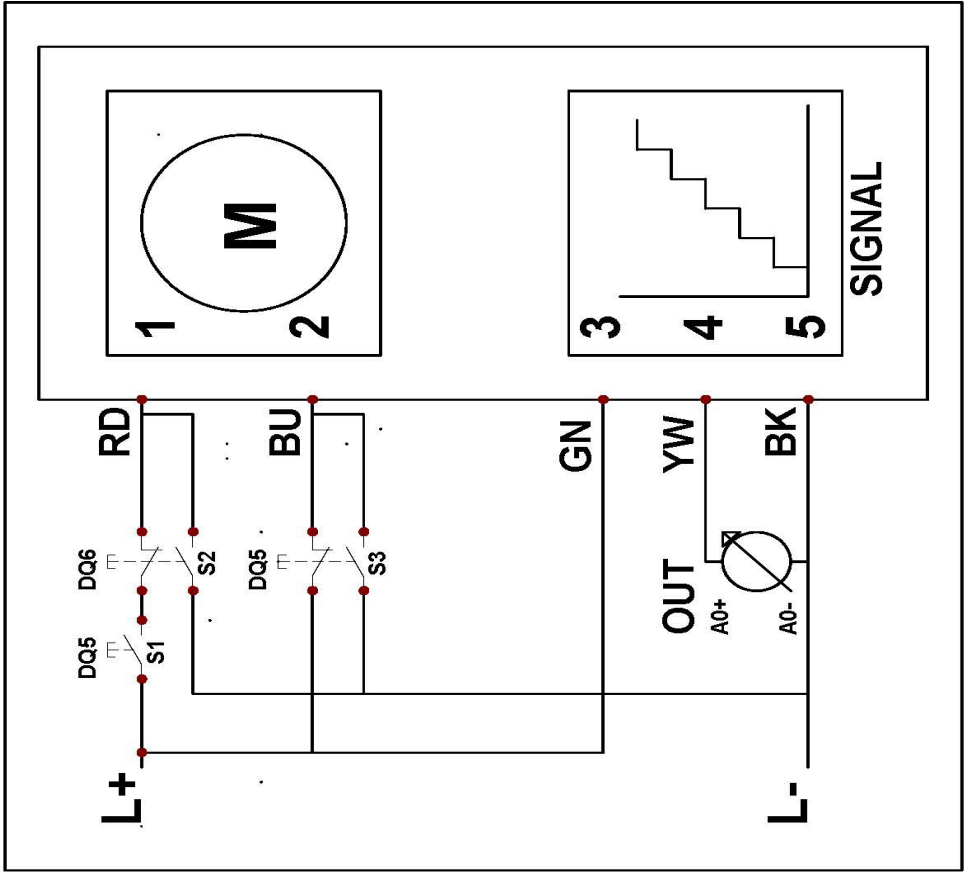
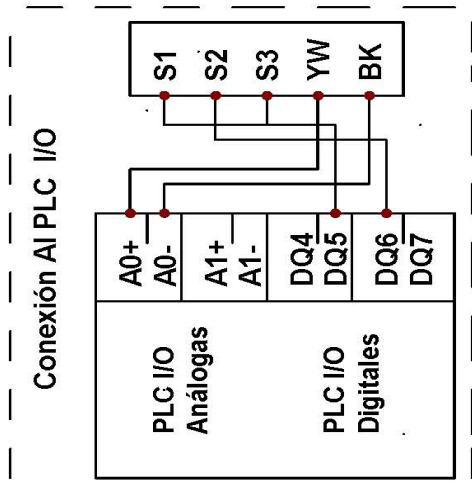


Fecha		Firmas		Entidad		Titulo		Fecha	Num:	
Dibujado	16-05-2022	JCSA		ICP		SENSOR DELTA PRESIÓN		16-05-2022	1 de 1	
Comprobado	16-05-2022	SDJP						Archivo:	SENS_PRD	

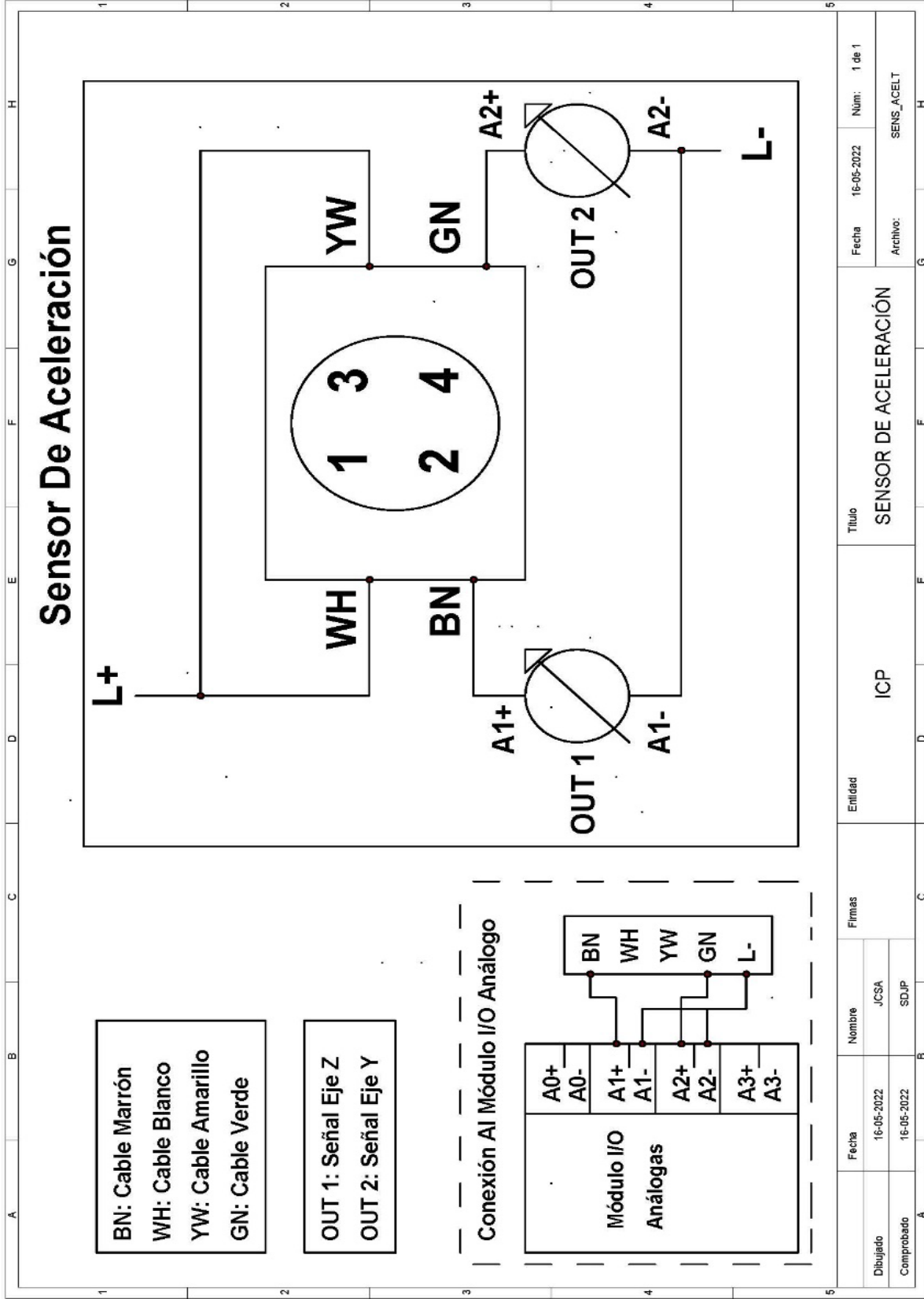
Actuador Lineal

RD: Cable Rojo
 BU: Cable Azul
 GN: Cable Verde
 YW: Cable Amarillo
 BK : Cable Negro

OUT: Señal Posición Actuador

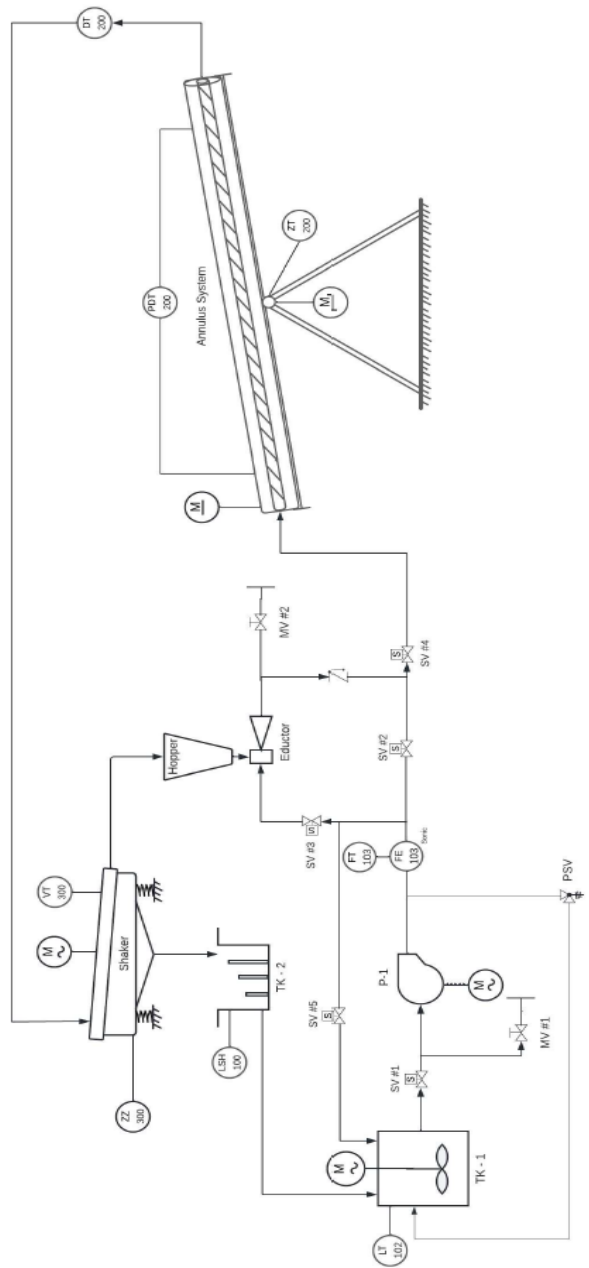
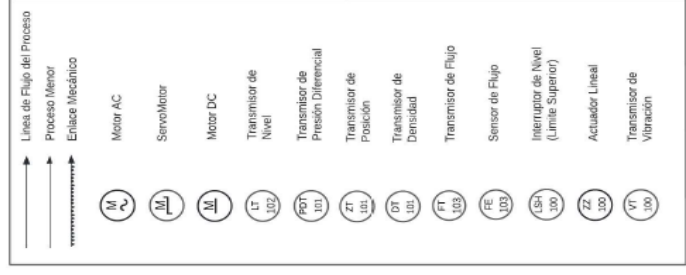


Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha	Núm:
Dibujado	16-05-2022	JCSA	ICP	ACTUADOR LINEAL	16-05-2022	1 de 1
Comprobado	16-05-2022	SDJP			Archivo:	ACT_LIN



Fecha	16-05-2022	Fecha	16-05-2022	Título	SENSOR DE ACELERACIÓN	Num:	1 de 1
Dibujado	JCSA	Archivo:	SENS_ACELT				
Comprobado	SDJP						

Diagrama P&ID



Fecha		Título	
18-05-2022	18-02-2022	ICP	DIAGRAMA P&ID BANCO
Nombre		Entidad	
DSJP	JCSA		
Firmas		Archivo:	
		PLAN-DIAGRAM-P&ID-BANCO	
Fecha		Núm:	
18-05-2022		1 de 1	
Comprobado			

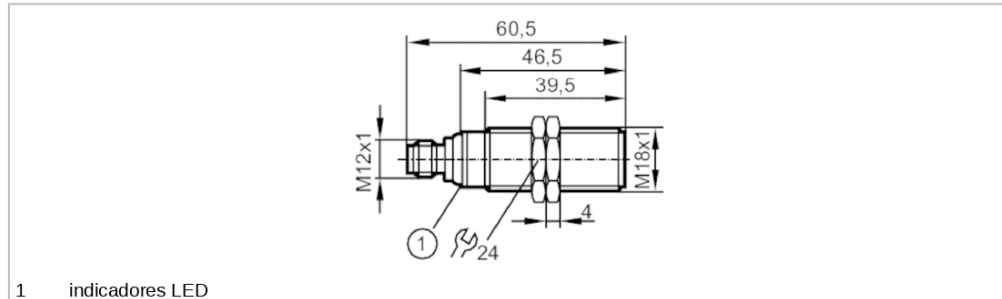
ANEXO E. DATASHEETS DE INSTRUMENTACIÓN

- Sensor de Nivel Continuo:

UGT507

Sensor ultrasónico

UGB01200O10G/US



Características del producto	
Alcance [mm]	80...1200; (Target: 200 x 200 mm)
Carcasa	Tipo con rosca
Dimensiones [mm]	M18 x 1 / L = 60,5
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación [V]	10...30 DC; ("supply class 2" según cULus)
Consumo de corriente [mA]	< 35
Clase de protección	III
Protección contra inversiones de polaridad	sí
Retardo a la disponibilidad [s]	< 0,3
Frecuencia del transductor [kHz]	200
Entradas/salidas	
Número de entradas y salidas	Número de salidas analógicas: 1
Entradas	
Entrada de sincronización	no
Entrada múltiplex	no
Salidas	
Número total de salidas	1
Número de salidas analógicas	1
Salida analógica de corriente [mA]	4...20
Carga máx. [Ω]	500
Protección contra cortocircuitos	sí
Resistente a sobrecargas	sí

UGT507



Sensor ultrasónico

UGB01200010G/US

Rango de detección		
Alcance	[mm]	80...1200; (Target: 200 x 200 mm)
Zona ciega	[mm]	80
Ángulo de apertura cilíndrico	[°]	14; (±2)
Variación máx. del ángulo de 90° entre sensor/objeto	[°]	± 4
Precisión / variaciones		
Compensación de temperatura		sí
Histéresis	[%]	< 1
Deriva del punto de conmutación	[%]	-2,5...2,5
Error de linealidad de la salida analógica	[%]	< 1
Observaciones sobre precisión / variación		Los valores indicados se alcanzan tras un tiempo de calentamiento de como mínimo 20 minutos.
Resolución	[mm]	2
Condiciones ambientales		
Temperatura ambiente	[°C]	-20...70
Temperatura de almacenamiento	[°C]	-30...80
Grado de protección		IP 67
Homologaciones / pruebas		
CEM	EN 61000-4-2 ESD	4 kV CD / 8 kV AD
	EN 61000-4-3 radiado HF	3 V/m
	EN 61000-4-4 Burst	2 kV
	EN 61000-4-6 HF conducido	3 V
	EN 55011	clase A
Resistencia a vibraciones	EN 60068-2-6 Fc	(10-55) Hz 1 mm de amplitud, periodo de oscilación 5 min., 30 min. por cada eje con resonancia o 55 Hz
Resistencia a choques	EN 60068-2-27 Ea	30 g 11 ms semisinusoidal; respectivamente 3 choques en cada sentido de los 3 ejes de coordenadas
MTTF	[años]	211
Homologación UL	Ta	-20...70 °C
	alimentación de tensión	Class 2
	Número de registro UL	E174191
Datos mecánicos		
Peso	[g]	79,5
Carcasa		Tipo con rosca
Dimensiones	[mm]	M18 x 1 / L = 60,5
Nombre de la rosca		M18 x 1
Materiales		inox (1.4404 / 316L); PA; Vitrocerámica con polvo epoxídico
Par de apriete	[Nm]	50
Indicaciones / elementos de mando		
Indicación	Estado de conmutación	1 x LED, amarillo
	eco	1 x LED, verde

UGT507



Sensor ultrasónico

UGB01200010G/US

Accesorios

Componentes incluidos	tuerkas de fijación: 2, Acero inoxidable
-----------------------	--

Notas

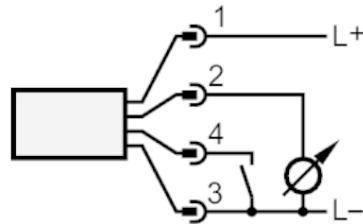
Notas	tensión de alimentación "supply class 2" según cULus
Cantidad por pack	1 unid.

Conexión eléctrica

Conector: 1 x M12



Conexión



4: Teach

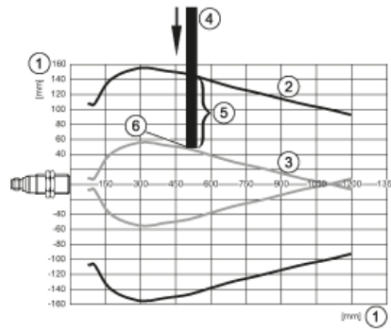
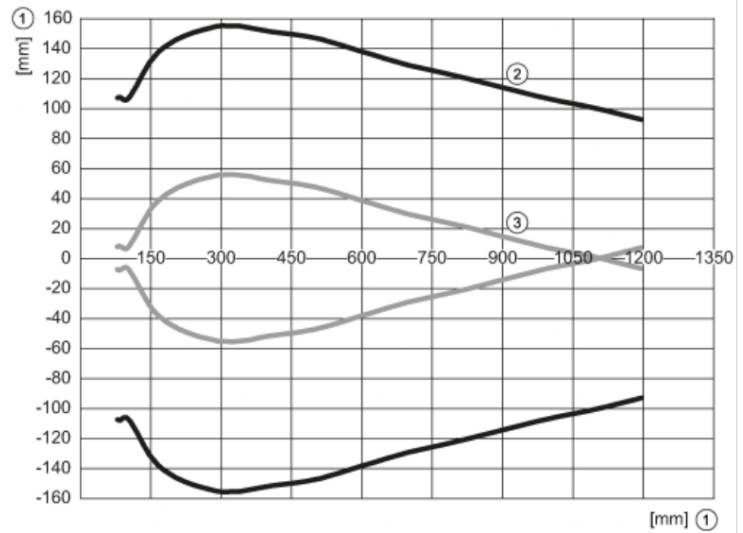
UGT507

Sensor ultrasónico

UGB01200010G/US



Diagramas y curvas



- 1: Distancia
- 2: Rango de detección
- 3: curva de aproximación
- 4: Target 200 x 200 mm
- 5: 50 % del target en la zona de detección
- 6: punto de conmutación

• **Acelerómetro:**



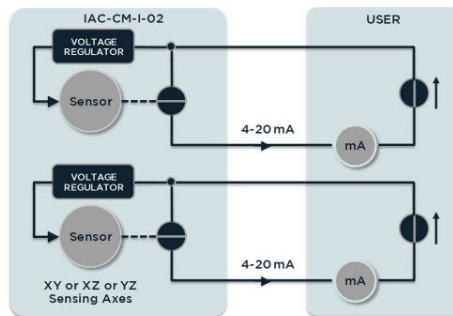
INDUSTRIAL ACCELEROMETER FOR CONDITION MONITORING



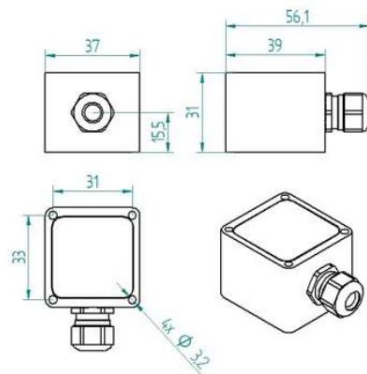
PROPERTIES

- 2-axis
- Wide bandwidth (0 - 10kHz)
- Embedded 4 - 20mA signal conditioning
- Self-powered current loop
- Galvanically isolated
- Protected against false polarization
- Compact and rugged design
- IP67 ingress protection grade

BLOCK DIAGRAM



DIMENSIONS



NOTE

When mounted with sensing axis vertical all units will indicate 1g offset due to gravity



SPECIFICATIONS - ALL MODELS

OUTPUT/ CHANNEL	Output Range	4-20mA	
	Supply Voltage	12-30V	
	Bandwidth (-3dB)	0-10 kHz	
	Non-linearity	0.5% F.S. typ. - 1.5% F.S. max.	
	Sensitivity Error	2%	
	Transverse Sensitivity	2% typ. - 5% max.	
	Offset dispersion	±1g typ. - ±2g max.	
	Destruction limit	1000g	
ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS	Temperature Range	Operating From -40 to 80 °C	Non-Operating From -55 to 125 °C
	Sensitivity drift	±500ppm/°C	
	Offset drift	±50mg/°C	
	Ingress protection grade	IP67	
MECHANICAL DATA	Weight Without Cable	50 gram / 95 gram ⁽¹⁾	
	Case Material ⁽¹⁾	Aluminium (MIL-A-8625 Type II coating)	
	Mounting	3.2mm diameter holes (4x)	

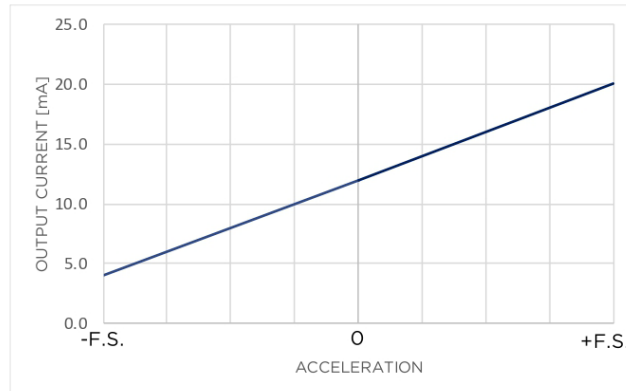
⁽¹⁾ Stainless Steel Casing and Cable Gland A4/AISI316 Grade Upon Request (e.g. for offshore/marine environment)

PERFORMANCES - BY MODEL

Range (g)	Typ. Sensitivity ⁽¹⁾ (mA/g)	Noise (µg/√Hz)
±25	0.257	40
±50	0.128	40
±100	0.064	45
±200	0.032	70

⁽¹⁾ Calibration data supplied with sensor

ELECTRICAL RESPONSE



V2.1

• **Sensor de Nivel Discreto:**

LEVEL SWITCHES

For liquids

eicos

■ External side mounting with compression gasket

Read before installing

• LA322E-40 LA322E-M12
• LF322E-40 LF322E-M12

eicos.net

AUXILIARY CONTACTOR (mini contactor)

Check the distances:

Direct connection
to the sensor

20m

Use 22R 5W
resistor* in series

40m

Use
24Vdc voltage

*For sale on accessories.eicos.us

Typical connection to contactor

Switch **NO/NC - SPST**

Output **Contact ON/OFF**

Enclosure rating **IP66**

Never connect the sensor to a motor, pump, lamp or any load over than 20W.

Always use a contactor or relay.

• See datasheets.eicos.us for more information •

The sensors work in all voltage and current ranges displayed in the table below:

Operating voltage	Max. switching power	Max. switching current	Peak current
110Vac	20VA	0.2A	0.5A @20ms
220Vac	20VA	0.1A	0.5A @20ms
5Vdc	2.5W	0.5A	1A @20ms
12Vdc	5W	0.5A	1A @20ms
24Vdc	10W	0.5A	1A @20ms

! ***24Vac:** Use with *Schneider relay coupler model RSLZVA1* or equivalent.
***Relay coupler (110Vac-220Vac):** Use *4K7 10W resistor* in series.

Term of Warranty For installations according to this guide:
 2 (two) years warranty. **INCORRECT INSTALLATION CANCELS THE WARRANTY.** All sensors have been tested and approved during the manufacture process.
Chemical products require tests by the customer to verify compatibility with the constructive material of the sensor.
Liquids with ferrous particles require technical analysis: the sensor has magnetic component inside.

Compression gasket in Ø 22mm hole

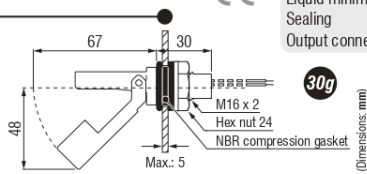
■ **Constructive materials**

- PPA Polyphthalamide (High mechanical and temperature resistance).
- PA Polyamide hex nut.

Thin-walled tanks



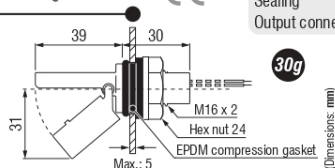
Technical specifications	LA322E-40	LA322E-M12
Constructive material	PPA	PPA
Color	Black	Black
Operating temperature range	-10°C to 125°C	-10°C to 125°C
Maximum operating pressure	2bar	2bar
Liquid minimum density (SG)	0.7	0.7
Sealing	NBR gasket	NBR gasket
Output connection	40cm cable	M12 connector



Narrow tanks



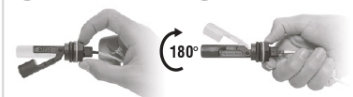
Technical specifications	LF322E-40	LF322E-M12
Constructive material	PPA	PPA
Color	Black	Black
Operating temperature range	-10°C to 125°C	-10°C to 125°C
Maximum operating pressure	2bar	2bar
Liquid minimum density (SG)	0.7	0.7
Sealing	EPDM gasket	EPDM gasket
Output connection	40cm cable	M12 connector



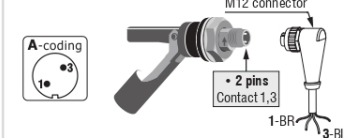
- Electrical contact: *reed switch 20W/VA*;
- External side mounting in Ø22mm hole;
- **NO** or **NC**, by rotating the sensor 180°;
- it detects increased or decreased level inside the tank.

■ **Operation**

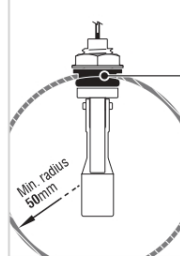
NO NORMALLY OPEN **NC** NORMALLY CLOSED



■ **M12 connection**



■ **Mounting inside tanks**



■ **Mounting inside pipes (communicating vessel)**



- **Sensor de Presión Diferencial:**

DMD 831



Differential Pressure Transmitter with Display and Contact for Fluids and Gases

- ▶ 2 piezoresistive stainless steel sensors
- ▶ differential pressure from 0 ... 1 bar up to 0 ... 70 bar
- ▶ display mode selectable: P+, P-, ΔP
- ▶ display and pressure ports rotatable



Technical Data

Input pressure range		1	2	3.5	7	20	35	70
Nominal pressure ¹	[bar]	1	2	3.5	7	20	35	70
Differential pressure range	[bar]							
	TD 1:1	0 ... 1	0 ... 2	0 ... 3.5	0 ... 7	0 ... 20	0 ... 35	0 ... 70
	up to		up to	up to	up to	up to	up to	up to
	TD 1:10	0 ... 0.1	0 ... 0.2	0 ... 0.35	0 ... 0.7	0 ... 2	0 ... 3.5	0 ... 7
¹ nominal pressure corresponds to the maximal permissible static pressure (one-sided)								
Analogue signal / Supply								
Standard		3-wire: 4 ... 20 mA			24 V _{DC} ± 10 %			
Permissible load		500 Ω						
Accuracy ²		± 1 % BFSL						
² accuracy according to IEC 60770 (non-linearity, hysteresis, repeatability)								
Contact								
Number, type		standard: 1 PNP			option: 2 independent PNP			
Max. switching current		125 mA, short-circuit proof						
Switching accuracy ²		± 0.5 % FSO						
Repeatability		± 0.1 % FSO						
Switching cycles		> 100 x 10 ⁶						
Delay time		0 ... 100 sec						
Programming								
Adjustability		analogue output / contact refers to: pressure "P+" or pressure "P-" or pressure difference turn-down: max. 1:10						
Thermal error ³ (offset and span) / Permissible temperatures								
Tolerance band		± 1.5 % FSO						
TC, average		± 0.2 % FSO / 10 K						
In compensated range		0 ... 70 °C						
Permissible temperatures		medium:		-40 ... 125 °C				
		electronics / environment:		-25 ... 85 °C				
		storage:		-40 ... 85 °C				
³ relating to nominal pressure range								
Electrical protection								
Short-circuit protection		permanent						
Reverse polarity protection		no damage, but also no function						
Electromagnetic compatibility		emission and immunity according to EN 61326						

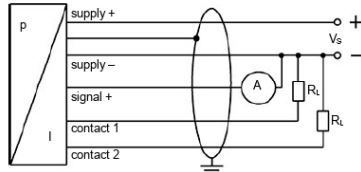
DMD 831

Differential Pressure Transmitter

Technical Data

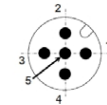
Mechanical stability		
Vibration	10 g RMS (20 ... 2000 Hz)	according to DIN EN 60068-2-6
Shock	100 g / 11 msec	according to DIN EN 60068-2-27
Materials		
Pressure port	stainless steel 1.4404 (316L)	
Housing	PA 6.6, Polycarbonate	
Seals	FKM	others on request
Diaphragm	stainless steel 1.4435 (316L)	
Media wetted parts	pressure port, seals, diaphragm	
Miscellaneous		
Display	4-digit, red LED-display, digit size 7 mm; range of indication -1999 ... +9999; accuracy 0.1 % +/- 1 digit; digital damping 0.3 ... 30 sec (programmable)	
Current consumption	max. 60 mA (without switching current)	
Weight	approx. 350 g	
Operational life	100 million load cycles	
Ingress protection (device)	IP 65	

Wiring diagram



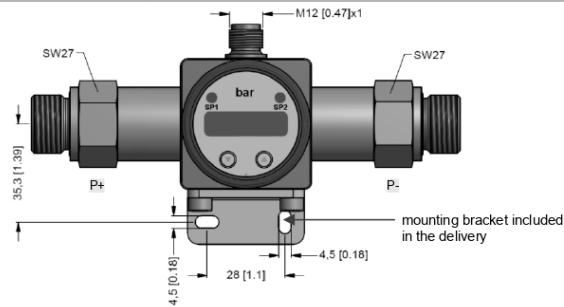
Pin configuration

Electrical connections	M12x1 (5-pin), plastic
Supply +	1
Supply -	3
Signal +	2
Contact 1	4
Contact 2	5
Shield	via pressure port

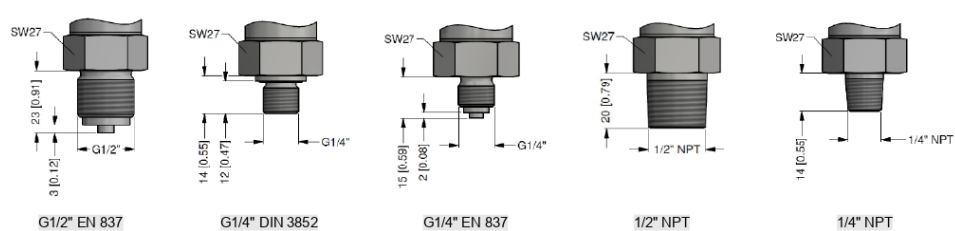


Mechanical connections (dimensions mm / in)

standard



option



© 2020 BDI SENSORS GmbH – The specifications given in this document represent the state of engineering at the time of publishing. We reserve the right to make modifications to the specifications and materials.

DMD831_E_061020

Tel.: +49 (0) 92 35 / 98 11- 0
Fax: +49 (0) 92 35 / 98 11- 11

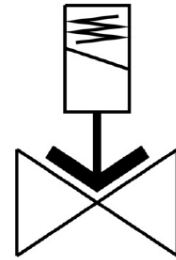
www.bdsensors.de
info@bdsensors.de

BD SENSORS
pressure measurement

- **Electroválvula:**

Electroválvula
VZWF-B-L-M22C-G1-275-1P4-6-R1
 Número de artículo: 1492122

FESTO



Hoja de datos

Característica	Valor
Forma constructiva	Válvula de diafragma accionamiento forzado
Tipo de accionamiento	Eléctrico
Principio de sellado	Blando
Posición de montaje	Imán en vertical
Tipo de fijación	Instalación en la tubería
Conexión de las válvulas de proceso	G1
Conexión eléctrica	Forma A Conector Según EN 175301-803 Forma rectangular
Diámetro nominal	27.5 mm
Función de la válvula	2/2 cerrada monoestable
Accionamiento manual auxiliar	Ninguna
Sentido de flujo	No reversible
Medio	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7;-;-] Gases inertes Aceite mineral Agua Líquidos neutros Más fluidos de trabajo bajo demanda
Presión nominal válvulas de proceso de asiento inclinado PN	40
Diferencia de presión	0 bar
Valores característicos de las bobinas	24 V DC: 11,0 W
Fluctuaciones de tensión admisibles	+/- 10 %
Símbolo	00992976
Presión del medio	0 bar ... 6 bar
Viscosidad máx.	22 mm ² /s
Temperatura del medio	-10 °C ... 80 °C
Temperatura ambiente	-10 °C ... 35 °C
Índice de fuga según EN 12266-1	A
Caudal Kv	11 m ³ /h
Caudal nominal normal	11750 l/min

- Educator:

011-X005J

REVISIONS				FILE NUMBER					
ECN NO.	REV	DESCRIPTION	DATE	DR. BY	APPD	011-X005J			
2	NOZZLE	SST TY316							
1	BODY	SST TY316							
ITEM	DESCRIPTION	MATERIAL							
PARTS LIST									
3	23 7/8	4	19 7/8	7	4	3	2	3	30
2	14 3/8	3 1/8	11 1/4	5	2 7/8	2 1/8	1 1/2	2	8
1 1/2	11	2 3/4	8 1/4	3 21/32	2 1/2	1 5/16	1 1/4	1 1/2	4
1	7 1/8	2 1/4	4 7/8	2 3/4	1 3/4	1	3/4	1	2
3/4	5 7/8	2	3 7/8	2 1/4	1 1/2	3/4	1/2	3/4	1
SIZE	A	B	C	D	E	F	G	H	WT
THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF SCHUTTE & KOERTING <small>TREVOSE, PENNSYLVANIA 19053</small> AND IS LENT WITHOUT CONSIDERATION OTHER THAN THE BORROWER'S AGREEMENT THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED, COPIED, LENT, OR DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY FURNISHED.				CERTIFIED FOR _____ DATE _____ ORDER NO. _____ BY _____ S&K ORDER NO. _____					
UNLESS OTHERWISE NOTED: DIMENSIONS ARE IN INCHES BOLT HOLES STRADDLE \varnothing 'S				DR. <u>R. VENZIE</u> DATE <u>2/2/01</u>		SCHUTTE AND KOERTING <small>TREVOSE, PA. 19053</small> OUTLINE/ASSEMBLY INVEST CAST EDUCATORS			
				CHKD _____ DATE _____ APP'D _____ DATE _____ APP'D _____ DATE _____					
FIG. NO. <u>26SH / 218P</u>				SIZE <u>A</u>		ORDER IDENT. NO. <u>011-X005J</u>		DRAWING NO. _____ REV. _____	
S.O. _____ B.M. _____ MADE FROM _____ FILMED _____				SCALE <u>NONE</u>		WEIGHT _____		SHEET <u>1</u> OF <u>1</u>	